

Для установления линейной связи между коэффициентом ровности ($K_{\text{ров}}$) и показателем ровности (\bar{S}) вычислен коэффициент корреляции (γ). Полученная величина ($\gamma = 0,56$) указывает на наличие значительной положительной связи и является достоверной, о чем свидетельствует критерий Стьюдента ($t_{\text{эмс}} = 12,7 > t_{\text{теор}} = 1,96$ для числа степеней свободы $K = n - 2 = 247$ и уровня значимости $P = 0,05$).

Анализ распределения частот в корреляционной таблице по классам (шкалам ровности) показывает, что в 56% случаев оценки "хорошо", "удовлетворительно" и "неудовлетворительно" совпадают и в 44% случаев — не совпадают. Ровность с оценкой "удовлетворительно" по шкале Белдорнии попадает в интервал "хорошо" шкалы ЦДСЛ в 30% случаев для сопряженных классов 226-315 и I,0I-I,6 и в 10% случаев — в интервал "неудовлетворительно" для классов 54I-720 и I,2I-I,9.

Несоответствие оценок в этих классах объясняется отличием микропрофиля на полосах наката от микропрофиля по оси полосы движения и различием воздействия дороги на регистрирующие приборы. В одном случае (метод Белдорнии) измеряется общее воздействие на колеса автомобиля неровностей правой и левой колеи, во втором (метод Сомадорнии) — воздействие на колесо прицепа только неровностей по оси полосы движения.

Проведенные испытания позволяют сделать следующие выводы.

1. Между приборами Белдорнии и ЦДСЛ существует значительная связь (коэффициент корреляции $\gamma = 0,56$).
2. Приборы типа ПКРС дают завышенные результаты ровности, так как тележка буксируется по оси полосы движения.
3. Для получения реальных показаний ровности с помощью прибора ПКРС необходимо буксировать его последовательно по правой и левой колеи и брать средние результаты показаний.

А.В.Жуков, К.Б.Абрамович, И.А.Орехов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ДОРОГ НА СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Энергия, подведенная к ведущим колесам транспортной системы, расходуется на преодоление сопротивлений дороги и воздуха.

Сила сопротивления качению P_f — одна из составляющих сопротивление дороги — имеет немаловажное значение и в общем виде может быть определена по формуле

$$P_f = f \sum_{k=1}^n R_{kl}, \quad (I)$$

где f — коэффициент сопротивления качению;
 R_{ki} — нормальная реакция от поверхности дороги, действующая на i -тое колесо системы;
 n — число колес транспортной системы.

Исследованиями / 1, 2 / установлено, что на силу сопротивления качению наибольшее влияние оказывают ровность дорожных покрытий и скорость движения.

Исходя из особенностей груза лесовозных транспортных систем, а также случайного характера расположения неровностей на дорогах, возникает необходимость уточнения величины силы сопротивления качению.

Принимая коэффициент сопротивления качению неизменным, рассмотрим зависимость силы сопротивления качению от степени ровности покрытия, скорости движения системы и ее параметров.

Сила динамического давления колес транспортной системы на дороге может быть выражена через перемещения ее неподрессоренных масс:

$$R_k(t) = \sum_{i=1}^n [\xi_i(t) - q_i(t)] C_{wi} + [\xi_i(t) - q_i(t)] K_{wi}, \quad (2)$$

где $\xi_i(t)$ — вертикальные перемещения неподрессоренных масс i -го колеса;

$q_i(t)$ — вертикальные перемещения точки контакта соответствующего колеса системы при движении по неровностям дороги;

C_{wi} — вертикальная жесткость шин i -го колеса;

K_{wi} — коэффициент сопротивления шин i -го колеса.

На основании уравнений (1) и (2) можно записать

$$P_f(t) = f \sum_{i=1}^n [\xi_i(t) - q_i(t)] C_{wi} + [\xi_i(t) - q_i(t)] K_{wi}. \quad (3)$$

Способ определения перемещений $\xi(t)$ зависит от вида возмущающих сил и сложности динамической системы.

При движении транспортной системы по дороге ее случайным микропрофилем перемещение $\xi(t)$ может быть определено методом численного интегрирования с помощью ЭЦВМ / 3 / или же методом спектральной теории поддрессирования / 4 /.

Расчеты показали, что колебания абсолютной величины полной силы сопротивления качению весьма значительны, причем наибольшие силы сопротивления возникают для колес прицепа-ропуска.

На рис. 1 приведено распределение величины силы $P_f = f(t)$ от колес задней оси тягача МАЗ-509 и от колес прицепа-ропуска, вычисленные с помощью ЭЦВМ "М-220" для установившегося движения и участка дороги с реальным микропрофилем (бульжная мостовая, $\sigma_H \approx 1,2$ см). Динамическая модель с шестью степенями свободы, использованная при

исследованиях, учитывала гибкость пакета хлыстов, подрессоренные и неподрессоренные массы, силы упругого и вязкого сопротивления в звеньях подвески автопоезда. Подвеска при этом принималась линейной. Кроме того, учитывалась также связь колебаний тягача и прицепа-ропуска, запаздывание воздействия на оси и другие факторы.

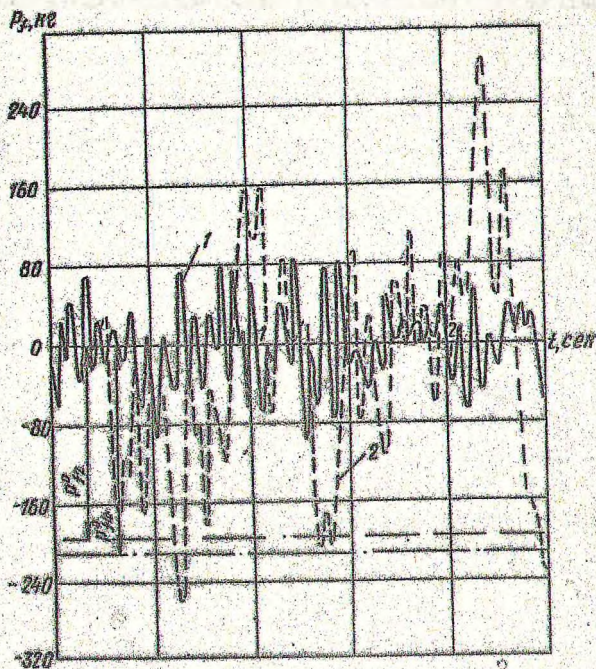


Рис. 1. Кривые сил сопротивления качению колес лесовозного автопоезда МАЗ-509 + ТМЗ-803 при движении со скоростью 70 км/ч по участку дороги с булыжным покрытием ($f = 0,02$): 1 — $P_z = f(t)$; 2 — $P_{z_4} = f(t)$

Коэффициент динамичности максимальной силы сопротивления качению $K_z = P_z + P_f / P_{z_4}$ для автопоезда с полной нагрузкой при движении со скоростью 70 км/ч по дороге с булыжным покрытием составлял для соответствующих осей: $K_{z_1} = 1,5$; $K_{z_2} = 1,78$; $K_{z_3} = 3,22$; $K_{z_4} = 3,09$.

Подобные расчеты для участков дорог с гравийным покрытием показали, что силы P_f имеют несколько меньшие значения, однако их

величина зависит от степени ровности покрытия. Так, например, для двух участков дорог с гравийным покрытием, имеющих σ_n равную 1,05 и 1,5 см, коэффициент K_{f2} составил соответственно 1,2 и 1,5.

Зависимость силы сопротивления качению (P_f) от скорости движения автопоезда (V) изменяется по-разному и определяется в основном частотным составом возмущающих сил.

На рис. 2, а показаны зависимости максимальных значений P_f и среднеквадратичных отклонений сил сопротивления качению (σ_{P_f}) от скорости движения автопоезда (покрытие бумажное).

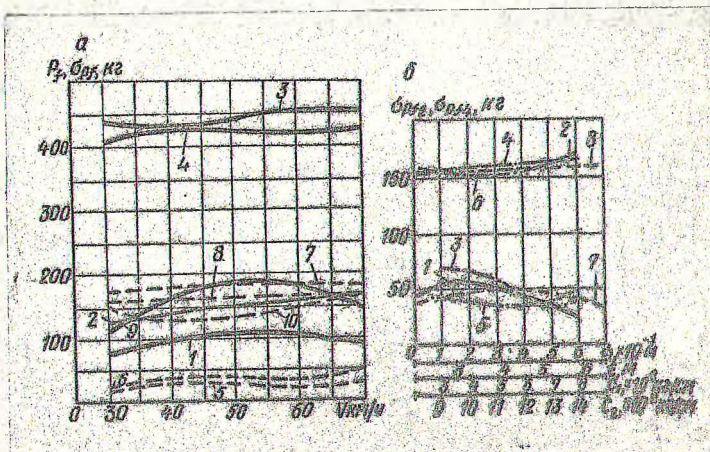


Рис. 2. Зависимости динамических сил сопротивления качению от скорости движения (а) и параметров автопоезда (б) $V = 50$ км/ч:

- а) 1 — $P_{f, \max}$; 2 — $P_{f, \max}$; 3 — $P_{f, \max}$; 4 — $P_{f, \max}$;
 5 — σ_{P_f} ; 6 — σ_{P_f} ; 7 — σ_{P_f} ; 8 — σ_{P_f} ;
 9 — $P_{f, \max}$ $\sigma = 0,5$ м; 10 — $P_{f, \max}$ ($\sigma = 0$)

- б) 1 — $\sigma_{P_f} = f(a)$; 2 — $\sigma_{P_f} = f(b)$; 3 — $\sigma_{P_f} = f(c)$;
 4 — $\sigma_{P_f} = f(d)$; 5 — $\sigma_{P_f} = f(e)$;
 6 — $\sigma_{P_f} = f(\sigma)$; 7 — $\sigma_{P_f} = f(C_1)$; 8 — $\sigma_{P_f} = f(C_2)$

Кривые 1-4 характеризуют изменения сил $P_{f, \max}$, $P_{f, \max}$, $P_{f, \max}$, $P_{f, \max}$, кривые 5-8 — σ_{P_f} для соответствующих осей автопоезда. Из рисунка видно, что в диапазонах скоростей от 30 до 60 км/ч наблюдается некоторое увеличение как $P_{f, \max}$, так и σ_{P_f} , что объясняется однородностью энергетического спектра возмущения для данной дороги при указанных скоростях движения.

При $V = 30$ км/ч силы сопротивления качению уменьшаются. При этом необходимо отметить, что характер зависимости силы P_f от V может нарушиться, если изменить, например, расстояние от задней оси тягача до оси коника a . При изменении a в небольшом диапазоне

не вид зависимости $P_f = f(V)$ становится иным. Для случая $d=0,5$ м и $d=0$ на рис. 2, а приведены кривые 9 и 10 (исходное значение $d = 0,28$ м).

Значительное влияние на величину изменения сил сопротивления качению оказывают и параметры транспортной системы (расстояние от оси тягача до оси коника d , расстояние от центра тяжести пакета хлыстов до задней оси тягача ξ , а также жесткости C_1 и C_2 рессор передней и задней осей тягача МАЗ-509 и суммарная жесткость полуприцепа ТМЗ-803). На рис. 2, б показаны зависимости среднеквадратичных значений динамических сил сопротивления качению задних колес тягача и прицепа-ропуска от d , ξ , C_1 и C_2 .

При исследованиях установлено также в количественном и качественном отношении влияние на силы P_f таких параметров, как гибкость и демпфирование пакета хлыстов.

Для определения сил сопротивления качению может быть использована и спектральная теория поддрессоривания. В этом случае из уравнения (3) общеизвестным методом / 4 / получаем спектральную плотность динамической силы сопротивления качению от вертикальных колебаний нормальной реакции дороги:

$$S_{P_f}(\omega) = |K_{ш} i\omega + C_{ш} - (K_{ш} i\omega + C_{ш}) W_{\xi}(\omega)|^2 \cdot \Phi(\omega), \quad (4)$$

где $W_{\xi}(i\omega)$ — амплитудно-фазовая частотная характеристика вертикальных колебаний неподдрессоренной массы колеса системы;

$\Phi(\omega)$ — спектральная плотность воздействия.

С помощью данного метода были получены спектральные плотности сил сопротивления качению колес седельного автопоезда (на рис. 3, а

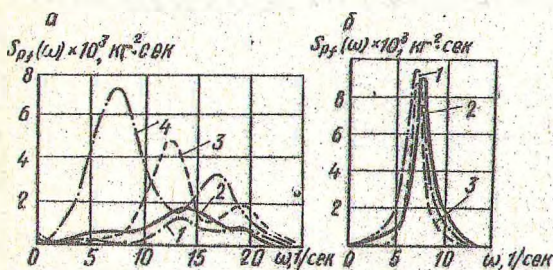


Рис. 3. Энергетические спектры сил сопротивления качению колес задней оси полуприцепа при движении автопоезда с нагрузкой 10,5 т по участкам грунтовых дорог: а — $\sigma_h = 5,36$ см, 1 — $V=10$; 2 — $V=15$; 3 — $V=30$; 4 — $V=60$ км/ч; б — $\sigma_h = 4,8$ см $V=15$ км/ч; 1, 2 — экспериментальные кривые для правого (1) и левого (2) двойных колес; 3 — расчетная кривая для правого двойного колеса

приведены кривые $S_{pf}(\omega)$ для колес задней оси полуприцепа). Анализ спектральных плотностей показывает, что каждой скорости движения соответствует своя кривая $S_{pf}(\omega)$ с явно выраженными двумя максимумами вследствие запаздывания воздействия. При этом их положение обусловлено собственной частотой колебаний системы и характером изменения спектральных плотностей воздействия.

На рис. 3, б приведена спектральная плотность $S_{pf}(\omega)$ (кривая 3), полученная отдельно для правых сдвоенных колес полуприцепа. Данная кривая имеет один максимум, что объясняется частотными особенностями спектра воздействия участка дороги и совпадением максимумов от вертикальных и поперечно-угловых колебаний системы.

На основании графиков спектральной плотности могут быть построены кривые распределения амплитуд сил сопротивления качению системы / 3, 4 /. Для примера на рис. 4 приведены указанные кривые распределения для рассматриваемого седельного автопоезда. Из рисунка видно, что кривые распределения амплитуд сил P_c при движении по асфальтобетонной и грунтовой дороге с увеличением скорости движения становятся ниже, т.е. вероятность возникновения амплитуд колебаний сил

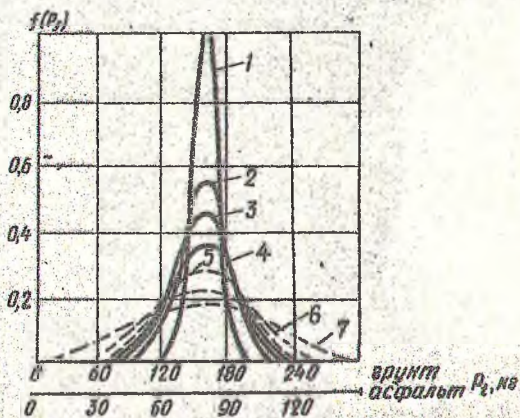


Рис. 4. Кривые распределения амплитуд сил сопротивления качению от колес задней оси полуприцепа для различных скоростей движения:
 1, 2, 3, 4 — асфальт; 5, 6, 7 — грунт
 (1 — $V = 10$; 2, 5 — $V = 15$; 3, 6 — $V = 30$; 4, 7 — $V = 60$ км/ч)

сопротивления качению, по величине близких к силам сопротивления от статической нагрузки на ось, уменьшается. Так, при движении по

участку дороги с грунтовым покрытием при $V = 15$ км/ч вероятность появления силы P_f величиной от 100 до 110 кг составляет 15,86%, а при скорости 60 км/ч — 7,97% (см. кривые 5 и 7).

Для оценки точности применяемой методики расчета были проведены экспериментальные исследования, в процессе которых измерялись величины динамических давлений от колес седельного автопоезда при различных скоростях движения на дорогах с асфальтобетонным, грунтовым, булыжным и гравийным покрытиями.

На основании экспериментальных данных, полученных путем соответствующей обработки и пересчета, построены спектральные плотности динамических сил сопротивления качению колес автопоезда. На рис. 3, б приведены экспериментальные (1, 2) и теоретическая (3) кривые $S_{pp}(\omega)$ для задней оси полуприцепа. Общая оценка точности расчетно-теоретических исследований проводилась сравнением экспериментальных и расчетных кривых распределения по критерию согласия Пирсона $P(\chi^2)$. Вероятность $P(\chi^2)$ для различных случаев составила 0,97-0,94, что говорит о согласованности опытных данных с теоретическими.

Таким образом, проведенные исследования позволили уточнить величину коэффициента динамичности K_f для осей тягача (МАЗ-509) и полуприцепа (ТМЗ-803), а также некоторые параметры транспортной системы, что очень важно при расчете дорожных одежд.

Л и т е р а т у р а

1. Б и р у л я А. К. Проектирование автомобильных дорог, ч. I. М., 1961. 2. Ч у д а к о в Е. Д. Теория автомобиля. М., 1950. 3. Ж у к о в А. В., Л е о н о в и ч И. И. Колебания транспортных машин. Минск, 1973. 4. С и л а е в А. А. Спектральная теория поддрессирования транспортных машин. М., 1972.

В.Е.Карышев

ФАКТИЧЕСКИЕ МЕЖРЕМОНТНЫЕ СРОКИ СЛУЖБЫ АСФАЛЬТО- БЕТОННЫХ И ВИТУМОМЕНЕРАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДОРОГАХ БЕЛОРУССИИ

Важнейшим показателем службы конструкций дорожных одежд являются их межремонтные сроки, которые характеризуют длительность периода надежной эксплуатации дорог и последовательность проведения различных ремонтов.

В Белоруссии с 1961г. приняты средние нормы сроков службы дорожных одежд, разработанные Совюздорнии. Срок службы асфальтобетон-