

А. В. Жуков, К. Б. Абрамович

ОЦЕНКА ЗАТРАТ МОЩНОСТИ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ДОРОГЕ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ РОВНОСТИ

Как известно, покрытие автомобильных лесовозных дорог не является идеально ровным. Даже при сдаче дорог в эксплуатацию на них имеются первоначальные неровности, допускаемые технологией строительства. В процессе эксплуатации под воздействием движения лесовозных автопоездов и природных факторов увеличивается величина и количество неровностей, отрицательно влияющих на технико-эксплуатационные показатели работы транспорта.

При движении по дороге с неровностями на поверхности покрытия лесовозный автопоезд совершает вынужденные колебания в продольной и поперечной вертикальных плоскостях.

Известно, что вертикальные и продольно-угловые колебания не связаны с поперечно-угловыми [1]. Принимая упрощенную расчетную схему колебаний эквивалентной лесовозному автопоезду МАЗ-509П+2-Р-15, мощность, затрачиваемую на колебания в продольной и поперечной плоскостях, рассматриваем отдельно.

С целью упрощения расчетной схемы и последующих вычислений продольно-угловыми колебаниями лесовозного автопоезда пренебрегаем, учитывая большую базу его и, следовательно, незначительную их величину в сравнении с вертикальными [2].

Ввиду того что прицеп-ропуск не имеет упругих элементов подвески, в расчет принимаем только подвеску тягача [2,1]. Забаздывание воздействия на оси прицепа-ропуска не учитываем.

С учетом принятых допущений вертикальные колебания автопоезда будут описываться одним дифференциальным уравнением движения (при этом неподрессоренные массы не учитываются в связи с их малостью в сравнении с поддрессоренными; характеристика подвески линейна).

Выражения кинетической, потенциальной энергии и диссипативной функции имеют следующий вид:

$$T = \frac{1}{2} M \dot{z}^2;$$

$$П = \frac{1}{2} C_{\Sigma} (z - q)^2;$$

$$R = \frac{1}{2} K_{\Sigma} \dot{z};$$

где M — масса системы, определяется суммированием массы тягача и массы пакета хлыстов, приходящегося на автомобиль;

z — вертикальное перемещение центра тяжести массы M ;
 C_{Σ} — суммарная линейная жесткость подвески тягача;
 K_{Σ} — суммарный коэффициент сопротивления подвески тягача.

На основании уравнения Лагранжа получаем следующее уравнение, описывающее вертикальные колебания автопоезда:

$$M\ddot{z} + K_{\Sigma}\dot{z} + C_{\Sigma}z = C_{\Sigma}q, \quad (1)$$

где q — перемещение, вызванное неровностями дороги.

После некоторых преобразований и с учетом синусоидального профиля неровностей уравнение (1) запишется следующим образом:

$$\ddot{z} + 2h\dot{z} + P^2z = h_n \sin \omega t,$$

где $2h = \frac{K_{\Sigma}}{2M}$ — коэффициент затухания;

$P = \sqrt{\frac{C_{\Sigma}}{M}}$ — частота колебаний;

$h_n = \frac{HC_{\Sigma}}{M}$ — коэффициент возмущения (H — высота неровностей);

ω — частота воздействия.

Суммарная линейная жесткость C_{Σ} и суммарный коэффициент сопротивления подвески тягача K_{Σ} определяются из выражений:

$$C_{\Sigma} = \frac{2C_{p_1}C_{ш_1}}{C_{p_1} + C_{ш_1}} + 2\frac{2C_{p_2}C_{ш_2}}{C_{p_2} + 2C_{ш_2}};$$

$$K_{\Sigma} = \frac{2K_{p_1}K_{ш_1}}{K_{p_1} + K_{ш_1}},$$

где C_{p_1} и C_{p_2} — жесткости передней и задней рессор;

K_{p_1} и K_{p_2} — коэффициенты сопротивления амортизаторов передней и задней подвески осей;

$C_{ш_1}$ и $C_{ш_2}$ — жесткости шин.

Средняя мощность, затрачиваемая на преодоление неровностей дорожного покрытия, будет

$$N = \frac{1}{2} K_{\Sigma} b^2 \omega^2, \quad (2)$$

где b — амплитуда колебаний.

Частота воздействия

$$\omega = \frac{2\pi v}{L_n},$$

где v — скорость движения автопоезда;

L_n — средняя длина неровностей.

Согласно общеизвестному решению уравнения (1), амплитуда вынужденных вертикальных колебаний автопоезда определится выражением

$$b = \frac{h_n}{\sqrt{(P^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2}}. \quad (3)$$

Поперечно-угловые колебания лесовозного автопоезда с учетом перечисленных выше допущений описываются уравнением

$$\ddot{\varphi} + 2h_{\varphi} \dot{\varphi} + P^2 \varphi = q_n \sin \omega t,$$

где $2h_{\varphi} = \frac{Kd^2}{2I}$ — коэффициент сопротивления поперечно-угловым колебаниям;

$P = \sqrt{\frac{0,5C_p l_1^2 - G_a H_a}{I}}$ — частота колебаний;

$q = \frac{\alpha_n C_p l_1^2}{2I}$ — коэффициент поперечного возмущения.

В выражениях коэффициентов h_{φ} , q и частоты P

d — расстояние между амортизаторами;

I — момент инерции подрессоренной массы автопоезда в поперечной плоскости;

l_1 — расстояние между рессорами;

α_n — угол, образуемый неровностью дороги;

G_a — вес автопоезда;

H_a — расстояние от центра тяжести автопоезда до оси поперечного крена.

Амплитуда поперечно-угловых колебаний и мощность находятся по аналогичным уравнениям (2), (3).

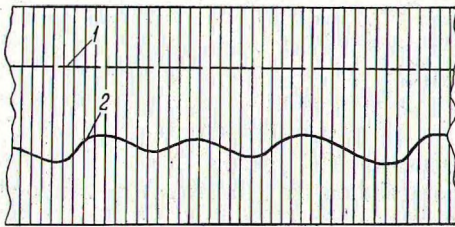


Рис. 1. Образец оциллограммы профиля неровностей:

1 — путь; 2 — профиль неровностей.

С целью установления достоверности предлагаемой методики определения мощности, затрачиваемой лесовозным автопоездом на преодоление неровностей дорожного покрытия, была проведена экспериментальная проверка теоретических исследований на Городокской лесовозной дороге Витебского леспрохоза. Экспериментальные исследования на дорогах с реальным микрорельефом дают наиболее объективные результаты.

Методика инструментальных исследований предусматривала регистрацию следующих параметров: тягового усилия автопоезда, текущей скорости движения и профиля неровностей гравийного дорожного покрытия. Для проведения испытаний был сформирован автопоезд (МАЗ-509П+2-Р-15). Он загружен хлыстами в объеме 21 м^3 . Подобраны 2 прямолинейных горизонтальных участка длиной 300 м каждый. Один опытный участок с волнообразными неровностями гравийного дорожного покрытия, другой — с относительно ровной поверхностью покрытия. Опытный участок с неровной поверхностью был подобран с учетом минимальной разницы микропрофиля между правой и левой колеями.

Для получения количественных характеристик микропрофиля до начала проведения испытаний была проведена запись профиля дорожных неровностей (рис. 1) специальной измерительной тележкой. Микропрофиль характеризовался длиной, высотой и формой чередующихся неровностей.

Движение автопоезда осуществлялось с установившейся скоростью до въезда на опытные участки и на всем их протяжении выдерживалось равномерным. Измерение тягового сопротивления производилось с помощью тензометрического динамографа КЭД конструкции ВИСХОМа. Путь, проходимый автопоездом, фиксировался датчиком числа оборотов ведомого колеса. Регистрация комплекса показаний производилась на ленту осциллографа Н-700.



Рис. 2. Общий вид лесовозного автопоезда МАЗ-509П+2-Р-15 (буксирование осуществляется тягачом МАЗ-509П).

Динамометрирование производилось с помощью второго автомобиля-тягача МАЗ-509П с постоянной скоростью 15 км/час (рис. 2). Для достижения необходимой точности всех изменений измеряемых величин выполнялось требование повторности проведения опытов. Обработка осциллограмм тягового сопротивления (рис. 3) производилась методом вариационной статистики.

Определение средней мощности на участках с волнообразной и относительно ровной поверхностью дорожного покрытия заключалось:

- в определении среднего усилия $P_{\text{ср}}$ по вариационному ряду,
- в вычислении средней скорости движения $V_{\text{ср}}$ по отметкам пути (2, K_s) и времени (1, K_t).

На основании полученных данных вычисление средней мощности производилось по известной формуле

$$N = \frac{P_{\text{ср}} V_{\text{ср}}}{75}$$

В соответствии с изложенной методикой производилась обработка записанных осциллограмм на опытных участках с различной степенью ровности, получена величина расходуемой

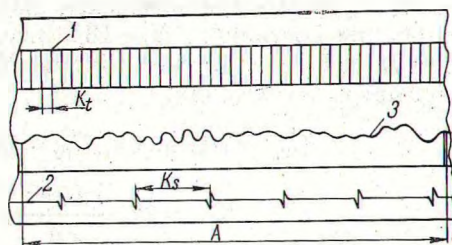


Рис. 3. Осциллограмма тягового сопротивления:

1 — отметки времени; K_t — масштаб времени; 2 — отметки пути; K_s — масштаб линии отметок пути; 3 — кривая тягового сопротивления.

мощности автопоездом в зависимости от численных характеристик профиля неровностей.

На основании экспериментальных исследований получены следующие характеристики профиля неровностей, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика профиля неровностей

Опытный участок	H , см	L_n , м
1	5,09	1,2
2	2,50	1,5

Профиль неровностей приближенно может быть выражен синусоидой

$$q = H \cdot \sin \omega t.$$

Результаты обработки экспериментальных исследований сведены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальные данные по опытным участкам

Опытный участок	$M' = P_{\text{ср}}$, кг	σ , кг	m , кг	α_0 , %	$N_{\text{ср}}$, л. с.
1	1428	328	26,18	1,86	83,77
2	1257	410	24,37	1,94	70,30

В табл. 2: $M' = \frac{\sum V_p}{n}$ — среднее арифметическое тягового сопротивления;

$\sigma = \sqrt{\frac{\sum P_x^2}{n-1}}$ — среднее квадратическое отклонение вариационного ряда;

$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ — ошибка среднего арифметического;

$\alpha_0 = \frac{100m}{M'}$ — ошибка среднего арифметического по отношению к m .

По данным теоретических исследований, затраты мощности на колебания составили: $N_1 = 18,6$ л. с., $N_2 = 6,16$ л. с. (N_1 — опытный участок № 1, N_2 — опытный участок № 2). В расчетах приняты следующие параметры автопоезда:

$$C_{p_1} = 203 \text{ кг/см}, C_{p_2} = 634 \text{ кг/см}, C_{\text{ш}} = 800 \text{ кг/см},$$

$$K_{p_1} = 12 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{см}}, K_{\text{ш}} = 24 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{см}}.$$

В результате проведенных исследований получены фактические величины затраты мощности на колебания в реальных дорожных условиях. Сравнение результатов исследований показывает, что расхождение между теоретическими и экспериментальными данными находится

в допускаемых пределах и составляет 7,65% (с учетом принятых допущений).

Таким образом, сравнение затрат мощности на колебания, полученных расчетным и опытным путем, показывает возможность использования приведенной методики для приближенной оценки затрат мощности на колебания при известных характеристиках микропрофиля.

Исследование вопросов эксплуатации автопоездов в конкретных дорожных условиях позволит разработать мероприятия, повышающие эффективность эксплуатации лесовозных автомобилей и дорог.

Литература

- [1] Р. В. Ротенберг. Подвеска автомобиля и его колебания. М., 1960. [2] Б. Г. Гастев, И. В. Мельников. Основы динамики лесовозного подвижного состава. М., 1967.