

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ С ГРАВИЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ

При эксплуатации транспортных систем под действием внешних возмущающихся сил, которые проявляются вследствие неровностей на дороге, возникают колебания их подрессоренных и непрорессоренных масс транспортных систем. При определенных условиях колебания интенсивно возрастают, что приводит к увеличению динамической нагруженности элементов транспортных систем и, следовательно, дополнительному динамическому воздействию на дорогу.

Для оценки воздействия автомобильного транспорта на дорогу, а также оценки колебаний транспортных систем необходимо знать наряду с характеристиками динамической системы также и характеристики источника возмущений, которыми являются неровности на поверхности дорожного покрытия.

Микропрофиль неровностей дороги, обуславливающий колебательные процессы подвижного состава, рассматривается как стационарная случайная функция [1, 2]. Основными характеристиками ровности покрытия являются дисперсия $D[H]$, среднеквадратичное отклонение ординат неровностей от среднего значения G_n , корреляционная функция $R(\tau)$ и спектральная плотность $\Phi(\omega)$.

Для перехода от случайной функции $F(S)$, описывающей профиль неровностей, к функции воздействия необходимо поделить горизонтальную координату S на скорость v . В этом случае функция $H(t)$ будет функцией времени. При единичной скорости движения ($v = 1,0$ м/сек) ось абсцисс будет одновременно и осью S и осью t .

Получение статистических характеристик микропрофиля (источника возмущений) автомобильных дорог можно разделить на два этапа: первый — измерение профиля неровностей и второй — математическая обработка полученных данных.

Запись микропрофиля производилась на наиболее характерных

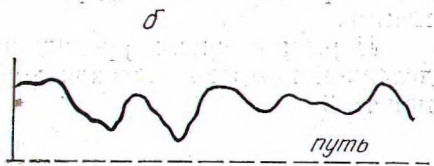
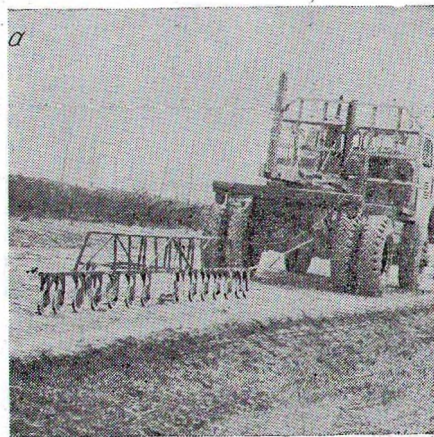


Рис. 1. Запись микропрофиля дороги: а) регистрация микропрофиля с помощью измерительной тележки; б) образец осциллограммы.

участках автомобильных дорог с гравийным покрытием специальной измерительной тележкой. На рис. 1 представлен образец осциллограммы профиля неровностей, записанного на опытном участке.

Вычисление статистических характеристик микропрофиля выполнялось в следующей последовательности. На полученной осциллограмме записанного профиля неровностей дорожного покрытия проводилась условная горизонтальная линия через дно самой глубокой впадины. От условной горизонтальной линии измерялись вертикальные отклонения профиля неровностей через 20 см. Измеренные таким образом ординаты высот неровностей сводились в вариационный ряд, и для каждого опытного участка вычислялась средняя величина высоты неровностей, дисперсия и среднеквадратичное отклонение. Затем производилось центрирование графика профиля неровностей, после чего вычислялись корреляционная функция микропрофиля дороги и спектральная плотность.

В результате первичной обработки осциллограмм опытных участков дорог получены основные числовые характеристики профиля неровностей (табл. 1).

Табл. 1. Основные числовые характеристики дорожных неровностей

№ участка	Ширина проезжей части, м	Длина участка, м	Числовые характеристики	
			$D [H] \text{ см}^2$	$\sigma_H \text{ см}$
1	10	376	0,80	0,89
2	10	167	1,05	1,03
3	8	141	1,55	1,20
4	10	243	3,46	1,86
5	10	167	4,24	2,06
6	8	354	5,40	2,32
7	10	230	6,34	2,52
8	10	141	11,90	3,50
9	10	164	26,44	5,09

Корреляционная функция исследуемых участков дорог вычислялась на ЭЦВМ «Минск-22» по формуле

$$R(\tau) = \frac{1}{N+1-m} \sum_1^{N+1-m} H_n H_{n+m}, \quad (1)$$

где $N = \frac{L}{\Delta}$ — число интервалов Δ , на которые разбивается опытный участок; (L — длина опытного участка); $H_n H_{n+m}$ — текущие значения ординат микропрофиля (при $n=0, 1, 2, 3, \dots, m=0, 1, 2, 3, \dots$).

Численные значения корреляционной функции определялись для различных значений τ и единичной скорости движения. Для контроля сопоставлялось численное значение корреляционной функции при $\tau=0$ с дисперсией каждого дорожного участка, вычисленной методом моментов.

Нормированная корреляционная функция воздействия определялась делением каждого значения корреляционной функции на ее значение при $\tau=0$

$$\rho(\tau) = \frac{R(\tau)}{R(0)}, \quad (2)$$

где $R(\tau)$ — корреляционная функция;
 $R(0)$ — дисперсия.

Таким методом были определены нормированные корреляционные функции исследуемых участков дорог. На рис. 2 в качестве примера приведены графики нормированных корреляционных функций опытных участков № 2 и 5.

Экспериментальные кривые нормированных корреляционных функций воздействия при единичных скоростях движения почти во всех случаях аппроксимировались выражениями вида

$$\rho(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau, \quad (3)$$

$$\rho(\tau) = A_1 e^{-\alpha_1|\tau|} \cos \beta_1\tau + A_2 e^{-\alpha_2|\tau|} \cos \beta_2\tau. \quad (4)$$

Например, для дорожного участка № 5 (рис. 2) нормированная корреляционная функция удовлетворяет выражению

$$\rho(\tau) = e^{-2,464|\tau|} \cos 1,843\tau, \quad (5)$$

для участка № 2

$$\rho(\tau) = 0,94e^{-0,040|\tau|} \cos 0,029\tau + 0,06 e^{-0,081|\tau|} \cos 0,369\tau. \quad (6)$$

Для получения статистических характеристик воздействия в частотной области используется прямое функциональное преобразование Фурье

$$\Phi(\omega) = 2 \int_0^{\infty} R(\tau) \cos \omega\tau d\tau. \quad (7)$$

Выражение для определения спектральной плотности воздействия в случае, соответствующем формуле (3), имеет вид

$$\Phi(\omega) = R(0) \frac{2\alpha(\alpha^2 + \beta^2 + \omega^2)}{\omega^4 + 2(\alpha^2 - \beta^2)\omega^2 + (\alpha^2 + \beta^2)^2}, \quad (8)$$

где ω — круговая частота.

Для других скоростей движения машины величина коэффициентов корреляционной связи α и β определяется по значениям этих коэффициентов при единичной скорости движения по формулам:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha v, \\ \beta_1 &= \beta v, \end{aligned} \quad (9)$$

где v — скорость движения.

В качестве примера приведен график спектральной плотности воздействия опытного участка № 5 для различных скоростей движения (рис. 3).

Как видно из табл. 1, обследованные участки дорог отличаются различными величинами дисперсий высот неровностей. Наибольшей дисперсии соответствует участок дороги с выбоинами и волнообразными неровностями. Высота выступов и глубина впадин на этом дорожном участке значительно больше, чем на других.

Анализ графиков корреляционных функций опытных участков показывает, что все корреляционные кривые характеризуются резким спадом. Участки со сравнительно ровной поверхностью дорожного покрытия имеют более пологий спектр протекания кривых.

Как видно из графиков (см. рис. 2), время корреляционной связи τ различно у разных участков. Оно зависит от скорости движения и длины неровностей. Так, по данным исследований, время корреляционной связи для участков дорог со сравнительно ровной поверхностью

покрытый изменяется до 50 и более *сек*, в то время как дороги с резко выраженными неровностями ($G_n = 2,06—5,09 \text{ см}$) τ имеют верхний предел 0,63 *сек*.

Вид аналитических выражений корреляционных функций зависит от соотношения коэффициентов α и β . Совершенно очевидно (рис. 2), что при больших значениях α преобладает убывание функции, а при малых α преобладает колебание за счет большего влияния коэффициента β .

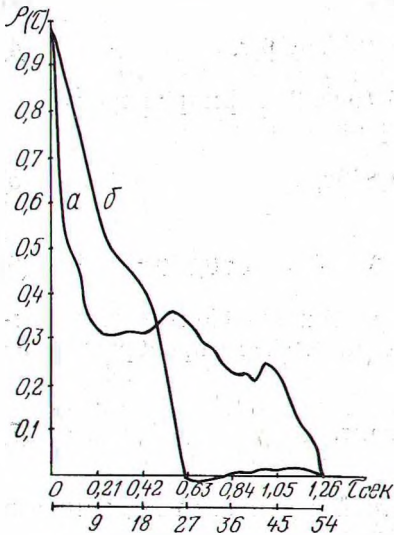


Рис. 2. Нормированные корреляционные функции опытных участков:
а — второго; б — пятого.

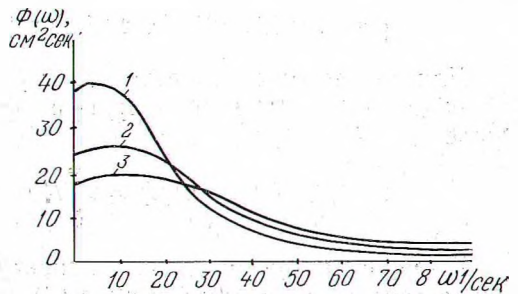


Рис. 2. Спектральная плотность воздействия микропрофиля опытного участка № 5 при различной скорости движения:
1 — $v_a = 20 \text{ км/ч}$; 2 — $v_a = 30 \text{ км/ч}$; 3 — $v_a = 40 \text{ км/ч}$.

Исследования показывают, что спектральная плотность воздействия, как и корреляционная функция, является убывающей. Из анализа графиков спектральной плотности следует, что при малых значениях коэффициентов α и β начальные значения спектральной плотности воздействия больше и кривая более резко возрастает до максимального значения, а затем резко падает. Большим значением коэффициентов и соответствует меньшее значение начальной величины спектральной плотности и кривая нарастает более плавно.

При малых значениях скоростей движения характерным является рост начальных величин спектральной плотности. С увеличением скорости движения величина спектральной плотности уменьшается, кривая протекает более плавно.

Кривые спектральной плотности обеспечивают необходимую информацию о поведении транспортных систем на дорогах. Например, для участка № 5 (рис. 3) при скорости движения 20 км/ч неблагоприятной является частота воздействия дороги, равная $5 \frac{1}{\text{сек}}$. При увеличении частоты ω воздействие на систему становится меньшим, и при частоте, равной $50 \frac{1}{\text{сек}}$, спектральная плотность составляет всего 6,76 $\text{см}^2 \cdot \text{сек}$.

При возрастании скорости движения условия движения транспортных систем значительно улучшаются. Так, при $v = 30 \text{ км/ч}$, $\Phi(\omega)_{\text{max}} = 26 \text{ см}^2 \cdot \text{сек}$, а при $v = 40 \text{ км/ч}$ — 19,3 $\text{см}^2 \cdot \text{сек}$, в то время как при $v =$

$= 20 \text{ км/ч}$ $\Phi(\omega)_{\text{max}} = 38,6 \text{ см}^2 \cdot \text{сек}$. При частоте ω больше $50 \frac{1}{\text{сек}}$ характер

изменения $\Phi(\omega)$ от скорости движения зависит незначительно.

Аналогичные выводы по качественному анализу сделаны также относительно других опытных участков дорог.

Литература

- [1] А. А. Силаев. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин. М., 1963. [2] И. Г. Пархилковский. Спектральная плотность распределения неровностей микропрофиля дорог и колебания автомобиля. Автомобильная промышленность, № 10, 1961.