

625
M54

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ
"ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ
НА ДОРОГУ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ"
для студентов спец. 0901

Минск 1985

Гудк 625.711.83

Рассмотрены и рекомендованы к изданию Редакционно-издательским советом института.

Составители: А.В. Жуков, профессор;
К.Б. Абрамович, доцент;
А.Р. Гороновский,
инженер.

Научный редактор Н.П. Вьрко, доцент.

Рецензенты: Л.Р. Мытько, доцент
(БПИ) ; И.А. Орехов,
ст. н. с. (БелДорНИИ).

По тематическому плану внутривузовских изданий учебно-методической литературы на 1985 год. Поз. 13.

© Белорус. ордена Трудового
Красного Знамени технол.
ин-т им. С.М. Кирова, 1985.



00000003469896

ВВЕДЕНИЕ

ИЖН

В методических указаниях приведена методика определения динамической нагруженности дороги, дано описание средств измерения, рассмотрена последовательность записи и обработки микропрофиля. Содержится программа расчета на ЭВМ "МИР-2" и числовой пример определения динамического давления на дорогу, основанный на применении спектральной теории поддрессовывания транспортных машин. Наряду с этим методом рассмотрено также применение упрощенной методики определения динамического взаимодействия транспортной системы с дорогой. Произведено сравнение результатов расчета, полученных при применении этих двух методик.

I. ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

При движении транспортной системы основным источником возмущающего воздействия являются неровности поверхности дороги. Технико-эксплуатационные показатели автомобилей, а также нагруженность дороги во многом определяются степенью соответствия качества подвески амплитудно-частотному составу возмущающих воздействий, что и обуславливает необходимость изучения [1, 2, 3].

Для оценки степени ровности и исследования динамических деформаций дорожных покрытий под воздействием автомобильного транспорта и природных факторов, а также для исследования колебательных процессов транспортных систем и многих других вопросов, связанных с эксплуатацией лесовозных дорог, необходимо иметь количественные характеристики микропрофиля.

Получение количественных характеристик базируется на экспериментальных замерах с применением прямых и косвенных методов записи микропрофиля.

Прямые методы предполагают непосредственную регистрацию высот неровностей относительно базовой прямой, осуществляемую двумя способами - дискретно и непрерывно. При косвенных методах записывается не микропрофиль, а величина, являющаяся преобразованием от него, например, ускорение некоторого колебательного звена автомобиля.

БИБЛИОТЕКА БГТУ
им. С. М. Кирова

Наиболее простыми являются прямые дискретные замеры с помощью рейки или геодезические замеры с помощью нивелира. При оценке ровности с помощью прямой трехметровой рейки, укладываемой на дорожное покрытие параллельно оси дороги, в качестве оценочной величины принимается максимальный просвет между рейкой и поверхностью тротуара. Однако измерение ровности трехметровой рейкой не отвечает современным требованиям ввиду низкой производительности и низкой точности замеров. Применение нивелира ограничивается большой трудоемкостью измерений профиля неровностей с его помощью.

Стремление механизировать процесс получения исходных данных по степени ровности дорожных покрытий, а также иметь непрерывный вид реализации привело к появлению различных приборов для автоматической записи.

Недостатком приборов, устанавливаемых на автомобиле, является то, что колебания его зависят от типа и технического состояния системы, от жесткости рессор, давления в шинах, нагрузки, скорости движения и других факторов, многие из которых меняются в зависимости от марок машин. Например, исследованиями, проведенными в США, установлено, что на показания рофметра (толчкомера), который крепится на автомобиле, оказывают влияние собственные колебания автомобиля. Описанные недостатки метода оценки ровности по колебаниям автомобиля препятствуют широкому его применению.

Из профилографов, работающих по принципу косвенной записи, наибольший интерес представляет прибор, созданный в МАДИ. Здесь преобразование от дорожного профиля осуществляет система записи, состоящая из динамического преобразователя профиля, электронного блока записи и магнитофона. Пересчет записанного сигнала в микропрофиль осуществляет система пересчета, которая состоит из магнитофона, электронного блока воспроизведения и пересчетного устройства на базе аналоговой вычислительной машины.

Динамический преобразователь представляет собой маятник, который поддерживается грузиной и имеет специальный магнитный демпфер. Отклонение маятника относительно внутренней рамы или колеса фиксируется датчиком индуктивного типа, сигнал с которого записывается на магнитную ленту. Электронный блок записи обеспечивает необходимую линейность работы кана-

ла записи. Результаты измерений обрабатываются в лабораторных условиях. Выходной сигнал пересчетного устройства в виде электрического напряжения постоянного тока и представляет собой в некотором масштабе микропрофиль. Скорость записи микропрофиля является постоянной и соответствует скорости движения буксирующего автомобиля.

Использование данного прибора для записи профиля неровностей дорожных покрытий возможно, однако на лесовозных дорогах оно затруднено вследствие непостоянства скорости движения буксирующего автомобиля. Особенность лесовозных дорог требует специального конструктивного исполнения прибора.

Для измерения микропрофиля автомобильных дорог нами разработана и изготовлена измерительная тележка. Тележка состоит из фермы, опирающейся на 14 колес диаметром 200 мм, расположенных в одной плоскости. Для обеспечения устойчивости движения имеются два поддерживающих колеса, расположенных с левой стороны фермы. В середине крепится измерительное колесо с реохордным датчиком и отметчиком измерительного пути. Оси опорных колес крепятся жестко вертикальными кронштейнами к швеллеру фермы. Конструкция фермы обеспечивает высокую жесткость тележки. Длина профилометра 5 м.

Из теоретических предпосылок следует, что наибольшую точность измерений можно получить при увеличении количества колес и длины тележки. Однако чрезмерно большое количество колес создает трудности в монтаже и демонтаже измерительной тележки. На основании анализа результатов измерений неровностей установлено, что при длине тележки 5 м и числе колес 14-16 точность измерения достаточна. Расстояние между колесами принято не везде одинаковым, т.к. опытным путем установлено, что оно дает большую точность измерений в сравнении с постоянным (одинаковым) расстоянием.

Измерительное колесо посредством вилки, на которой закреплен ползунок, шарнирно соединяется с вертикальной стойкой, жестко прикрепленной к швеллеру фермы. К вертикальной стойке крепится пружинное сопротивление, по которому перемещается ползунок, связанный со звеном измерительного колеса. Реохорд изготовлен из константановой проволоки, плотно намотанной на тонкий стержень из оргстекла. Реохордный датчик наиболее прост по принципу преобразования измеряемой величин-

Пны в электрическую. В нем скользящий контакт изменяет длину проводника, что вызывает изменение омического сопротивления плеча измерительного моста постоянного тока. Конструктивно приспособленный мост постоянного тока служит для измерения переменного омического сопротивления реохорда.

До начала проведения записи профиля неровностей дорожного покрытия проволочное сопротивление реохордного датчика Р разделяется скользящим контактом на две части, и с помощью переменного сопротивления Г мост уравнивается. При перемещении скользящего контакта вдоль проволоки балансировка моста нарушается на величину, пропорциональную величине перемещения, и фиксируется на ленте осциллографа КИ2-22. Для большей чувствительности датчика постоянные сопротивления плеч моста приняты равными, то есть

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \quad (1)$$

Сопротивление плеч и сопротивление цепи гальванометра Г выбраны из условия

$$R = 10R_G \quad (2)$$

При выполнении этого соотношения, предложенного Н. П. Раевским, ошибка измерений не превышает 1%. Сопротивления плеч изготовлены из манганиновой проволоки, намотанной на катушки из оргстекла.

Путь, пройденный тележкой, записывается на ленту осциллографа при помощи отметчика измерительного колеса, состоящего из прерывателя электрической цепи и специального упора, закрепленного на колесе. Прерыватель крепится к оси колеса и питается от батареи 1,5 В. При движении измерительной тележки специальный упор воздействует на переключатель и размыкает электрическую цепь при каждом обороте измерительного

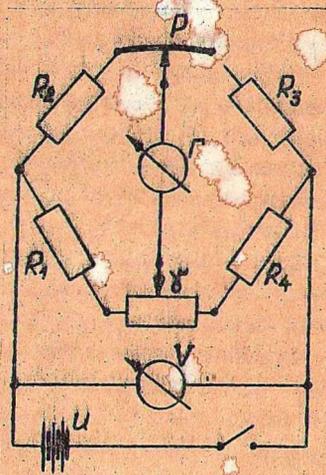


Схема измерительного моста

колеса, соответствующем 0,42 м записанного профиля неровностей. Масштабный коэффициент определяется предварительной тарировкой.

Запись микропрофиля производится на эксплуатируемых и вновь построенных автомобильных лесовозных дорогах. В процессе записи буксировка измерительной тележки осуществляется автомобилем. Оператор, осциллограф и блок питания находятся в кабине автомобиля.

Записывается микропрофиль следующим образом. После балансировки моста датчика измерительной тележки записывается на ленту осциллографа нулевая отметка, а затем непрерывно на всем протяжении каждого опытного участка производится запись микропрофиля.

Тщательная подготовка к проведению записи микропрофиля, а также небольшая равномерная скорость движения (4,5-5 км/ч) обеспечивают высокое качество осциллограмм.

Для контроля правильности работы датчика и для расшифровки осциллограммы тарировка производится на каждом опытном участке перед началом и после окончания записи.

2. ОБРАБОТКА МИКРОПРОФИЛЯ

Статистический анализ микропрофиля заключается в следующем. Проводим условную горизонтальную плоскость через дно самой глубокой впадины. Отклонения профиля неровностей по высоте от горизонтальной плоскости принимаем за случайную величину X и фиксируем эти отклонения через определенные отрезки горизонтального проложения [3]. Таким образом, по каждому опытному участку получаем первичный статистический материал или, как его называют, "Простой статистический ряд", представляющий собой первичную форму записи статистического материала.

Полученный числовой материал подвергается статистической обработке, которая заключается в следующем. Весь диапазон измерений X делится на интервалы, и подсчитывается количество значений m_i , приходящихся на каждый i -й интервал. Это число делим на общее число значений, полученных замерами от условной горизонтальной плоскости, и находим частоту P_i , соответствующую данному разряду. Полученные данные сводятся в таблицу. Математическое ожидание $M[X]$, дисперсия $D[X]$ и

Среднеквадратичная высота неровностей ϵ_n определяются по формулам:

$$M(X) = m_x = \sum_{i=1}^n \lambda_i A_i; D(X) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i - m_x)^2 D_i; \epsilon_n = \sqrt{D(X)}. \quad (3)$$

Для практических целей необходимо знать, колебания какой частоты и интенсивности может вызвать неровная дорога при движении транспортной системы с различной скоростью. Исчерпывающий ответ на эти вопросы можно получить, имея корреляционные функции и спектральные плотности, вычисленные по данным записанного микропрофиля опытных участков с различными типами покрытий.

2.1. Корреляционная функция

Микропрофиль дороги представляет собой стационарный случайный процесс. Каждый стационарный процесс можно рассматривать как продолжающийся во времени неопределенно долго, и при его исследовании в качестве начала отсчета можно выбрать любой момент времени. Одна единственная реализация нужной продолжительности может служить достаточным опытным материалом для получения характеристик случайной функции.

Вычисление корреляционной функции производится по формуле

$$R(\tau) = \frac{1}{n-n'} \sum_{i=1}^{n-n'} \lambda_i \lambda_{i+n}, \quad (4)$$

где $n = \frac{T}{\Delta}$ - число интервалов Δ , на которые разбивается время реализации T ; $n = 1, 2, 3, \dots, m$ - номер шага (m - максимальное число шагов); $\tau = \Delta \cdot n$; $\lambda_i = (X_i - m_x)$ - текущие центрированные значения ординат микропрофиля.

Для сравнительного анализа в теории случайных функций принято пользоваться безразмерным параметром, так называемой нормированной корреляционной функцией $\rho(\tau)$. Нормированная корреляционная функция воздействия определяется делением каждого значения корреляционной функции на ее значение при $\tau = 0$:

$$\rho(\tau) = R(\tau) / R(0), \quad (5)$$

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

Описание корреляционной функции аналитическим выражением сглаживает случайные отклонения, получившиеся в связи с недостаточностью или погрешностью измерения. Экспериментальные кривые нормированных корреляционных функций

Воздействия при единичных скоростях движения могут аппроксимироваться уравнениями вида

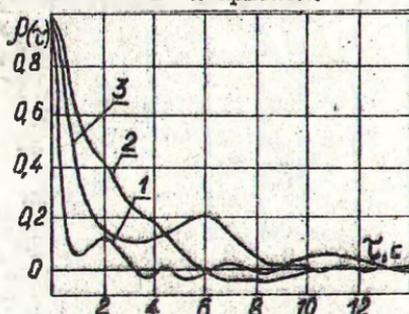
$$\rho(r) = e^{-\alpha_1 |r|} \cos \beta_1 r; \quad (6)$$

$$\rho(r) = A_1 e^{-\alpha_1 |r|} \cos \beta_1 r + A_2 e^{-\alpha_2 |r|} \cos \beta_2 r, \quad (7)$$

где α и β - коэффициенты корреляционной связи, характеризующие быстроту ее убывания между ординатами случайных неровностей при увеличении разности аргументов этих ординат. Данные коэффициенты зависят от длины неровностей и скорости движения, с увеличением скорости движения значения коэффициентов корреляционной связи возрастают, а с увеличением длины неровностей они уменьшаются. Методика определения коэффициентов корреляционной связи приведена в методическом пособии А. В. Жукова и М. З. Дубковой "Статистическая обработка микропрофиля дорог с использованием ЭВМ "МИР-2", ВТИ, 1963 г.

Ниже в качестве примера приведены нормированные корреляционные функции опытных дорожных участков: №1 и №2 - с гравийным покрытием, №3 - с асфальтобетонным покрытием.

Из графиков видно, что корреляционная функция участка №3 убывает более медленно, характер протекания плавный, что является вполне закономерным, так как этот участок имеет неровности гораздо большей длины, чем на участках 1 и 2. Коэффициенты корреляционной связи, полученные при аппроксимировании экспериментальных кривых с помощью уравнения (7), приведены в табл. I.



Нормированные корреляционные функции: 1-участок №1; 2-участок №2; 3-участок №3

Табл. I. Коэффициенты корреляционной связи

Номер участка	Тип покрытия	$\sigma_n \cdot 10^{-2},$ м	A_1		α_1		β_1		A_2		α_2		β_2	
			A_1	A_2	α_1	α_2	β_1	β_2	A_1	A_2	α_1	α_2	β_1	β_2
1	Гравийное	2,1	0,7	0,3	1,1	0,31	2,3	0,49						
2	Гравийное	2,39	0,84	0,16	0,22	0,76	0,27	2,18						
3	Асфальтобетонное	1,17	0,51	0,49	0,34	0,21	1,05	0,08						

2.2. Спектральная плотность

Корреляционная функция воздействия неровностей является временной статистической характеристикой. В качестве частотной характеристики применяется спектральная плотность. Для ее получения используется прямое преобразование Фурье.

При аппроксимировании корреляционной функции уравнением (7) выражение для определения спектральной плотности имеет вид

$$F(\omega) = R(v) \left(\frac{A_1 \alpha_1}{\beta} \frac{\omega^2 + \alpha_1^2 + \beta^2}{(\omega^2 + \alpha_1^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha_1^2 \beta^2} + \frac{A_2 \alpha_2}{\beta} \frac{\omega^2 + \alpha_2^2 + \beta^2}{(\omega^2 + \alpha_2^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha_2^2 \beta^2} \right), \quad (8)$$

где ω - частота.

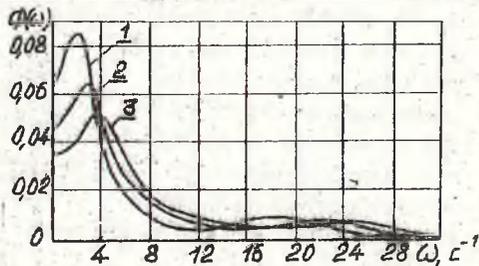
Коэффициенты корреляционной связи с увеличением скорости движения возрастают. Величину коэффициентов α и β для любой скорости движения v машины можно определить по их значениям при скорости движения $v = 1,0$ м/с, пользуясь соотношениями:

$$\alpha = \alpha' v ; \quad \beta = \beta' v, \quad (9)$$

где α' и β' - значения коэффициентов при единичной скорости движения ($v = 1,0$ м/с).

Ниже приведены спектральные плотности опытного участка №2 для различных скоростей движения.

Приведенные графики являются дорожными спектрами, показывающими, на какой частоте и с какой интенсивностью дорога возбуждает колебания движущейся транспортной системы. Характер кривых указывает на то, что



Спектральная плотность опытного участка №2:
1- $v = 8,3$ м/с; 2- $v = 11,1$ м/с; 3- $v = 13,9$ м/с

микрорельеф дороги возбуждает колебания не одной какой-либо частоты, а целый спектр колебаний. Ширина диапазона частот зависит от скорости движения и степени ровности покрытия. При увеличении скорости движения максимальные значения спектральной плотности смещаются в сторону больших значений

Частот, а их величина значительно снижается.

3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ДОРОГОЙ

Исследование сущности происходящих динамически процессов в дорожной конструкции позволит найти наиболее целесообразные пути снижения нагруженности дорожного покрытия и объяснить различные сложные явления, происходящие в нем.

С целью изучения процесса динамического взаимодействия транспортной системы на дорогу рассмотрим одномассовую систему, считая, что колесо не передает тягового усилия, подвеска линейна, движение установившееся. Расчетная схема вертикальных колебаний системы приведена ниже.

Давление на дорогу R_k является функцией времени и зависит от характера колебаний системы при движении ее по неровностям дороги. Воздействие на дорогу в случае рассматриваемой системы без учета упругости шин может быть выражено следующим образом [1]:

$$R_k = (G + G_H) + m_H \ddot{q} - (Z - q)C - (\dot{Z} - \dot{q})K, \quad (10)$$

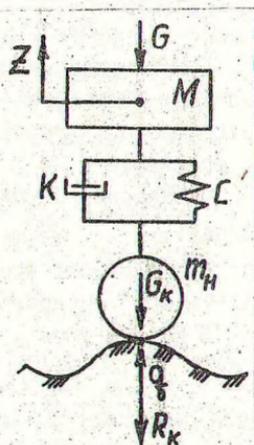
где q - вертикальное перемещение колеса; Z - вертикальное перемещение поддресоренной массы M ; C - вертикальная жесткость подвески; K - коэффициент сопротивления подвески; $G + G_H$ - вес поддресоренной и неподдресоренной частей.

Это уравнение после преобразования по Лапласу [3] примет вид

$$R_k(s) = (m_H s^2 + Ks + c)q(s) - (Ks + c)Z(s), \quad (II)$$

где $Z(s)$, $q(s)$ - лапласовы изображения соответственно координат Z и q ; $s = \sigma + i\omega$ - комплексная частота.

Передаточную функцию воздействия транспортной системы на дорогу получим в результате деления уравнения (II) на



Расчетная схема вертикальных колебаний.

Г $q(s)$:

$$W_R(s) = M_H s^2 + Ks + c - (Ks + c) W_Z(s), \quad (12)$$

где $W_Z(s) = \frac{c}{Ms^2 + Ks + c}$ - передаточная функция от дороги к вертикальному перемещению транспортной системы [3].

Частотная характеристика реакций дорожного покрытия

$$W_R(i\omega) = c - M_H \omega^2 + K i \omega - (K i \omega + c) c / (c - M_H \omega^2 + K i \omega). \quad (13)$$

Из уравнения (13) видно, что частотная характеристика реакций дороги зависит от параметр з подвески и частотных характеристик вертикальных колебаний поддресоренной системы. Следовательно, динамическая нагруженность дороги определяется характером колебательного процесса кузова транспортной системы.

Энергетический спектр реакции дороги

$$S_R(\omega) = |W_R(i\omega)|^2 \varphi(\omega). \quad (14)$$

Энергетические спектры реакции дорожного покрытия позволяют исследовать влияние на динамическую нагруженность дороги скорости движения, параметров подвески, дорожных условий.

Дисперсию реакций можно определить по выражению

$$\sigma_R^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S_R(\omega) d\omega. \quad (15)$$

В результате проведенных исследований установлено, что реакции дороги распределяются по нормальному закону [3, 47].

В этом случае функция плотности вероятности

$$f(R_k) = \frac{1}{\sigma_R \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(R_k - R_k)^2}{2\sigma_R^2}}, \quad (16)$$

где $m_R = M[R_k(t)]$ - математическое ожидание реакции дороги.

4. ОЦЕНКА КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ДОРОЖНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ

При решении ряда практических задач по исследованию динамики транспортных машин воздействие от дороги удобно выражать аналитически. Плавные естественные очертания дорожных неровностей дают право считать их форму синусоидальной или близкой к ней. Следовательно, если известна с некоторым приближением форма неровности, то размеры ее будут зависеть от двух параметров - высоты и длины, которые образуют при совместном рассмотрении систему случайных величин.

Данный подход к решению задачи осуществляется В.А. Добрыниным [4], который провел исследования по установлению

корреляционной связи между длинами и высотами неровностей для трелевочных волоков и лесных дорог. Исследования подтвердили целесообразность применения этой методики при решении задач по динамике лесотранспортных систем, а также для оценки динамической нагруженности дороги.

Для оценки корреляционной связи высот и длин неровностей вначале производится запись микропрофиля опытных участков дорог по вышеизложенной методике. Затем составляются корреляционные таблицы, в которые заносятся пары параметров неровности - высота и длина (берутся из осциллограмм, полученных при записи микропрофиля дорог). Кроме того, измеряется расстояние между неровностями по их вершинам и составляются сводные корреляционные таблицы для каждого типа покрытия (опытного участка), которые служат исходными данными для определения среднестатистических параметров неровностей и установления корреляционной связи между их длиной и высотой.

Среднестатистические характеристики высот и длин неровностей позволяют установить связь между ними, для чего по строкам и столбцам корреляционных таблиц определяются условные средние значения высот \bar{H}_j и длин \bar{S}_j неровностей, и определяется коэффициент корреляции

$$K_{SH} = \frac{\sum_{j=1}^n n_j \left(\frac{\bar{H}_j - \bar{H}}{C_H} \right) \left(\frac{\bar{S}_j - \bar{S}}{C_S} \right)}{n \sigma_H \sigma_S}, \quad (17).$$

где \bar{H}_j , \bar{S}_j - условные средние значения по строкам и столбцам корреляционной таблицы; \bar{H} , \bar{S} - значения высоты и длины неровности; σ_H , σ_S - среднеквадратичные отклонения высот и длин неровностей; C_H , C_S - величина разряда; n - объем ряда.

Зная среднестатистические характеристики для каждой величины (табл. 2) и коэффициент корреляции K_{SH} , нужно установить корреляционную зависимость между ними. Тип корреляционного уравнения обуславливается характером связи между случайными величинами.

Ниже представлен график зависимости высот неровностей от их длин. На график наносятся эмпирические точки, соответствующие условным средним значениям корреляционной таблицы (табл. 2). Анализ характера расположения точек показывает, что в рассматриваемом случае имеет место прямолинейная корреляционная связь (считая незначительные отклонения точек от прямой случайными). На это указывают и

Табл.2. Корреляционная таблица опытного участка №2

Длина неровнос- тей S, м	Высота неровностей H, мм										Σ	H	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			50
0,4		I		I								2	15,0
0,5	I		I		2	2						6	21,7
0,6			I		3	I	I					6	25,8
0,7	I	2		2	2			2				9	23,9
0,8		I		I						I		3	28,3
0,9			I	3	2	3	I					10	25,0
1,0				I	2		I					4	20,0
1,1							I					1	35,0
1,2			I	2		I						4	21,25
1,3				I	4		3					8	28,1
1,4				3		I		I	I			6	29,2
1,5					I	2	2				I	6	35
1,6								I				1	2 47,5
1,7						4	I					5	31
1,8					I	I	I		2	2	2	9	43,3
1,9						I						1	30
2,0					I	I				I		3	35
2,1				I			2					3	30
2,2						I	I					2	32,5
2,3					I	I		2				4	36,25
2,4					2	2	I			I		6	32,5
2,5						2		I				3	33,3
2,6											I	1	55
2,7						2		I		I		4	37,5
2,8					I		I					2	30
2,9													
3,0													
Σ	2	4	4	15	20	27	16	4	7	5	6	110	
Σ	06	065	08	17	14	16	16	21	16	21	17		

Численные значений коэффициента корреляции.

Корреляционное уравнение зависимости вероятного значения высоты неровности H от ее длины имеет вид [4]

$$H = \bar{H} + v' \sigma_H (S - \bar{S}) / \sigma_S \quad (18)$$

В некоторых случаях представляет интерес обратная зависимость случайных величин, т.е. длины неровности от ее высоты. Для этого в уравнении (18) достаточно поменять местами символы случайных величин и их основных отклонений:

$$S = \bar{S} + v' \sigma_S (H - \bar{H}) / \sigma_H \quad (19)$$

В выражения (18) и (19) подставляются численные значения статистических характеристик, и для каждого опытного участка записывается уравнение регрессии. Например, для опытного участка №2 (математическое ожидание высоты неровности $M[H] = 31,2$ мм, математическое ожидание длины неровностей $M[S] = 1,38$ м) уравнения регрессии имеют вид $H = 7,52 S + 19,3$; $S = 0,03 H + 0,51$.

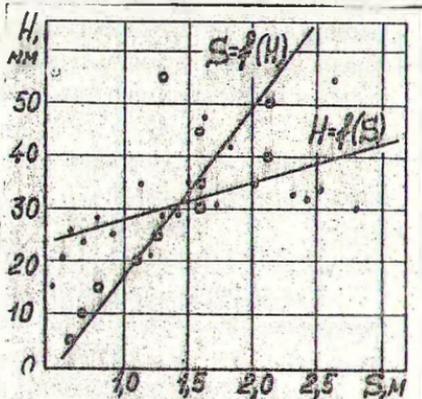
Используя связь длины неровностей с частотой, на которой проявляется максимум спектральной плотности, можно определить преобладающее значение длины для каждого опытного участка. Зная преобладающее значение длины неровности опытного участка, по зависимости (18) рассчитывается ее высота.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ДОРОГИ

Рассмотрим определение динамической реакции на дорогу при синусоидальной форме неровностей. При этом возмущающее воздействие

$$q = H \sin \omega t, \quad (20)$$

где H - высота неровностей; t - время; ω - частота возмущающего воздействия, равная $2\pi v / L_H$.



Прямые корреляционные зависимости между высотой и длиной неровностей опытного участка №2.

Как видно из уравнения (10), для определения давления транспортной системы на дорогу необходимо знать характер движения поддресорной массы M , т.е. следует найти перемещение Z . Дифференциальное уравнение, описывающее вертикальные колебания системы, имеет вид:

$$M\ddot{Z} + K\dot{Z} + CZ = K\dot{q} + Cq \quad (21)$$

Членом $K\dot{q}$, учитывая его незначительное влияние [2], можно пренебречь. Тогда

$$\ddot{Z} + 2h\dot{Z} + p^2Z = (CH/M) \sin \omega t, \quad (22)$$

где $2h = K/M$; $p^2 = C/M$; $h' = CH/M$.

Таким образом, уравнение вертикальных колебаний рассматриваемой системы имеет следующий вид;

$$\ddot{Z} + 2h\dot{Z} + p^2Z = h' \sin \omega t. \quad (23)$$

Считая, что колебания установившиеся, в расчет принимаем только вынужденные колебания. Выражение Z для установившихся колебаний имеет вид

$$Z = A \sin(\omega t - \alpha), \quad (24)$$

где α - разность фаз между вынужденными колебаниями и динамической силой, $\tan \alpha = 2\omega h / (p^2 - \omega^2)$; A - амплитуда вынужденных колебаний:

$$A = h' / \sqrt{(p^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2} \quad (25)$$

Производные \dot{q} , \ddot{q} , \dot{z} соответственно равны:

$$H\omega \cos \omega t; -H\omega^2 \sin \omega t; A\omega \cos(\omega t - \alpha).$$

Исходя из уравнения (10) и выражений (24) и (25),

формулу динамического давления на дорогу можно записать в следующем виде:

$$R_x(t) = (C - m\omega^2)H \sin \omega t - Ac \sin(\omega t - \alpha) - A\omega c \cos(\omega t - \alpha). \quad (26)$$

Выражение (26) для определения динамического воздействия транспортной системы на дорогу представляет собой сумму трех гармоник. Преобразуем это выражение, поскольку сумма нескольких гармонических колебаний с одинаковыми частотами будет гармоническим колебанием с той же частотой:

$$R_x(t) = B \sin(\omega t + \varphi), \quad (27)$$

где $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cos(\pi/2 + \alpha - \gamma)}$;

$$\varphi = \arctg \frac{B_4 \sin \delta + B_3 \sin(\alpha - \pi/2)}{B_4 \cos \gamma - B_3 \cos(\alpha - \pi/2)};$$

$$B_4 = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cos \alpha}; \quad \gamma = \arctg \frac{B_2 \sin \alpha}{B_1 - B_2 \cos \alpha}$$

$$B_1 = (C - m\omega^2)H; \quad B_2 = Ac; \quad B_3 = A\omega c.$$

Приведем пример определения динамического воздействия на дорогу прицепа-ропуса ТМЗ-802 по описанной методике. Примем следующие параметры расчетной модели:

$$C = 460 \text{ кН/м}; K = 24 \text{ кН.с/м}; M = 8 \text{ т}; m_H = 0,7 \text{ т.}$$

Автопоезд движется со скоростью $v = 78 \text{ м/с}$ (10 км/ч) по опытному участку №2: высота неровностей $H = 0,031 \text{ м}$, длина неровностей $L_H = 1,4 \text{ м}$.

После вычислений получим:

$$R_k = 9, \quad \sin(12,5 \pm 0,89).$$

Дисперсию процесса определяем по формуле

$$D = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx, \quad (28)$$

где $f(x)$ - плотность распределения процесса.

В нашем случае плотность распределения описывается выражением [5]

$$f(R_k) = 1 / (\pi \sqrt{B^2 - R_k^2}). \quad (29)$$

Поэтому формула для определения дисперсии динамического воздействия на дорогу примет вид

$$D_R = \frac{2}{\pi} \int_0^B \frac{R_k^2 dR_k}{\sqrt{B^2 - R_k^2}} \quad (30)$$

Проинтегрировав, получим:

$$D_R = 0,5 B^2. \quad (31)$$

В результате вычислений имеем $D_R = 44,5 \text{ кН}^2$.

Предложенная методика позволяет получать довольно достоверные результаты, ошибка по сравнению с применением спектральной теории поддресоривания находится в пределах 15%.

В приложении приведен пример определения на ЭВМ "МИР-2" спектральной плотности динамического воздействия на дорогу (формулы 8, 13, 14). Параметры расчетной схемы приняты такими же, как и в первом случае.

Дисперсия процесса в этом случае равна $D_R = 41,8 \text{ кН}^2$. Следовательно, разность результатов, полученных двумя методами определения динамического воздействия транспортного средства на дорогу, составляет 6%.

Таким образом, в разделах 3 и 5 изложено два метода определения динамической нагруженности дороги. Первый базируется на применении спектральной теории поддресоривания транспортных машин, второй - на представлении функции воздействия от дороги в виде аналитической зависимости. Такое

допущение приемлемо при решении определенного круга задач по исследованию вертикальных колебаний транспортных машин, например, при предварительном определении основных размерно-жесткостных параметров подвески, при сравнительной оценке динамических показателей машин и др. С целью получения более точных результатов необходимо применять методику, изложенную в разделе 3.

Приложение

Определение динамического давления на дорожку

$$\begin{aligned} & \text{"ВЫП"} \text{"ДЛ"} W=0 \text{"Ш"} 1 \text{"ДО"} 30 \text{"ВЫП"} (\Phi W=R \times (((A1 \times L1)/\pi) \times (W12+L112+B112) / ((W12+L112-B112)^2+4 \times L112 \times B112) + ((A2 \times L2)/\pi) \times (W12+L212+B212) / ((W12+L212-B212)^2+4 \times L212 \times B212)); \\ & WR=((M \times MH \times W14 - (N \times C + MH \times C + K12) \times W12) / ((MH \times K + N \times K) \times W13 - C \times K \times W) / ((C - M \times W12) / 2 + K12 \times W12)); \\ & SR=\Phi W \times WR; \text{"ВЫВ"} \text{"ТАБЛ"} 1, W, \Phi W, WR, SR) \text{"ДЕ"} R=0.00057; A1=0.84; A2=0.16; L1=0.61; L2=2.11; B1=0.75; B2=6.06; MH=0.7; M=8.0; K=24; C=460 \text{"КОН"} \end{aligned}$$

"ТАБЛИЦА" 1

W	ΦW	WR	SR
0	.100961 _{г-3}	0	0
1	.122074 _{г-3}	.674638 _{г 3}	.823560 _{г-1}
2	.317900 _{г-4}	.403587 _{г 4}	.128300 _{г 0}
3	.143443 _{г-4}	.155124 _{г 5}	.222515 _{г 0}
4	.100897 _{г-4}	.511197 _{г 5}	.515782 _{г 0}
5	.964620 _{г-5}	.160447 _{г 6}	.154771 _{г 1}
6	.975380 _{г-5}	.502162 _{г 6}	.489799 _{г 1}
7	.786270 _{г-5}	.135474 _{г 7}	.106520 _{г 2}
8	.536160 _{г-5}	.185186 _{г 7}	.992893 _{г 1}
9	.363739 _{г-5}	.139512 _{г 7}	.507460 _{г 1}
10	.259173 _{г-5}	.988020 _{г 6}	.256069 _{г 1}
11	.194164 _{г-5}	.754268 _{г 6}	.146451 _{г 1}
12	.151485 _{г-5}	.617839 _{г 6}	.935934 _{г 0}
13	.121972 _{г-5}	.533076 _{г 6}	.650210 _{г 0}
14	.10652 _{г-5}	.477705 _{г 6}	.480820 _{г 0}
15	.846940 _{г-6}	.440447 _{г 6}	.373033 _{г 0}
16	.723980 _{г-6}	.415287 _{г 6}	.300660 _{г 0}
17	.626980 _{г-6}	.398761 _{г 6}	.250015 _{г 0}
18	.548922 _{г-6}	.388874 _{г 6}	.213462 _{г 0}
19	.485057 _{г-6}	.384384 _{г 6}	.186449 _{г 0}
20	.432059 _{г-6}	.384587 _{г 6}	.166164 _{г 0}
21	.387541 _{г-6}	.389058 _{г 6}	.150775 _{г 0}
22	.349741 _{г-6}	.397569 _{г 6}	.139046 _{г 0}
23	.317349 _{г-6}	.410023 _{г 6}	.130121 _{г 0}
24	.289356 _{г-6}	.426460 _{г 6}	.123400 _{г 0}
25	.264989 _{г-6}	.446943 _{г 6}	.118435 _{г 0}
26	.243634 _{г-6}	.471630 _{г 6}	.114906 _{г 0}

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А.В., Абрамович К.Б. К вопросу определения динамического давления автомобиля на дорогу.-В сб.: Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов. Мн., 1973.-217с.
2. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля.-М., 1972.-390с.
3. Силаев А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных систем.-М., 1972.-192с.
4. Добрынин Ю.А. Исследование вертикальной динамики колесного трактора на трелевке леса в условиях рубок промежуточного пользования:-Дис. канд. техн. наук.-Л., 1973.-170с.
5. Светлицкий В.А. Случайные колебания механических систем.-М., 1976.-216с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Измерение микропрофиля автомобильных дорог....	3
2. Обработка микропрофиля	7
3. Взаимодействие транспортного средства с дорогой	11
4. Оценка корреляционной связи между параметрами дорожных неровностей	12
5. Определение динамической нагруженности дороги	15
Приложение	19
Литература	20

Составители: Анатолий Васильевич Нуков,
Казимир Болеславович Абрамович, Андрей Романович Горонковский

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ
"ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ
СИСТЕМЫ НА ДОРОГУ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ"

Редактор И.В.Старовойтова. К. ректор О.Ю.Ромаева.

Подписано в печать 17.07.85. Формат 60x84¹/16.

Печать офсетная. Усл.печ.л.1,28. Усл.кр.-отт.1,28. Уч.-изд.л.1;1.

Тираж 200 экз. Заказ 451. Бесплатно.

Отпечатано на роталпринте Белорусского ордена Трудового
Красного Знамени технологического института им.С.М.Кирова.

220630 Минск, Сведлова, 13.