

М П С - С С С Р

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи.

А.М.Березовский

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПЛАВНОСТИ ХОДА
ВАГОНОВ

(05.433.Подвижной состав и тяга поездов).

(Диссертация написана на русском языке).

44/902

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук.

Днепропетровск
1971 г.

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Рижском филиале Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки УССР, член корреспондент АН УССР, доктор технических наук профессор В.А.Лазарян.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Е.Н.Никольский.

Кандидат технических наук, доцент Г.П.Бурчак.

Ведущая организация - Рижский вагоностроительный завод.

Автореферат разослан

1971 г.

Защита диссертации состоится *декабрь* 1971 года на заседании Учёного совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта (г.Днепропетровск ЮО, ул.Университетская, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв пр.
гор.Днепропет
инженеров железн

Учёный с
доцент Н.Г.Ви

НТБ
ДНУЖТ

М П С - С С С Р
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи.

А.М.Березовский

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПЛАВНОСТИ ХОДА
ВАГОНОВ**

(05.433.Подвижной состав и тяга поездов).

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук.**

**Днепропетровск
1971 г.**

НТБ
ДНУЖТ

44/9 а

Непрерывный рост пассажирского грузопотока ставит перед железнодорожным транспортом все возрастающие задачи, выполнение которых должно быть достигнуто не только увеличением количества подвижного состава, но и также значительным повышением скоростей движения. Освоение считавшихся в недавнем прошлом авиационных скоростей 200-250 км/час представляет качественный скачок в развитии железнодорожного транспорта, связанный со значительным улучшением ходовых качеств вагона и обеспечением необходимого комфорта для пассажиров.

Работами советских учёных А.Н.Волкова, М.Г.Бабаджяна, А.В.Бордукова и др. показано, что наблюдаемые во время движения вагона вибрации оказывают вредное физиологическое влияние на людей, вызывая их утомление, различные отклонения в нормальной деятельности организма, а при длительном хроническом воздействии - и патологические изменения.

Кроме того, колебания вагона является источником инерционных сил, нагружающих детали вагонов и пути, вызывая их износ и усталостное разрушение.

Поэтому борьба за снижение и контроль интенсивности колебаний вагонов является весьма актуальной задачей.

Одним из главных критериев комфортабельности и качества пассажирских вагонов является показатель плавности хода, по которому оценивается интенсивность колебаний вагона. Для дальнейшего совершенствования конструкций вагонов и повышения комфортабельности путём снижения интенсивности колебаний необходимо иметь возможность быстро и точно оценить плавность хода при проектировании и испытаниях.

НТБ
ДНУЖТ

Известные методы определения плавности хода вагонов пригодны в случае, если ускорение кузова изменяется во времени по закону, близкому к синусоидальному. В действительности колебания кузова имеют более сложный, случайный характер.

Опыт проведения испытаний научно-исследовательскими организациями показал, что колебания вагона являются случайными функциями времени, которые обусловлены, главным образом, случайными возмущающими факторами пути.

Поэтому возникает необходимость в разработке такого способа оценки плавности хода, который был бы пригоден для любых процессов и выражался через их основные статистические характеристики.

Подобный способ должен позволить, во-первых, более качественно оценить плавность хода вагона расчётным путём ещё на стадии его проектирования и, во-вторых, автоматизировать определение плавности хода в процессе испытаний с помощью средств электронной измерительной и вычислительной техники, а следовательно, повысить точность и расширить возможности эксперимента с целью сравнения различных вариантов при выборе оптимальных параметров рессорного подвешивания.

В соответствии с поставленной задачей, в данной работе рассмотрены и решены следующие вопросы.

Рассмотрены и проанализированы существующие методы оценки плавности хода вагонов и их недостатки.

Исследованы основные статистические характеристики колебательных процессов кузовов вагонов - законы распреде-

НТБ
ДНУЖТ

ления и спектральные плотности, произведена приближенная оценка стационарности этих процессов.

С учётом реальных свойств процессов ускорений разработан статистический метод оценки плавности хода вагонов, который позволяет выразить показатель плавности через дисперсию и спектральную плотность ускорения.

Предложен интегральный метод определения плавности хода вагонов с учётом реального эксплуатационного распределения скоростей движения.

В соответствии с разработанным статистическим методом определения плавности хода вагонов сконструирован прибор, устраняющий большие затраты ручного труда, а также значительно повышающий точность определения показателя плавности хода. Произведен эксперимент по сравнению обычного ручного и нового машинного способа определения плавности хода, подтвердивший возможность сохранения используемой в настоящее время оценочной шкалы плавности хода вагонов.

В первой главе даётся анализ применяемых методов оценки плавности хода вагонов.

Показатель плавности хода вагонов, в основном, принято определять либо в единицах Шпердинга, либо в часах утомления:

$$W = 0,896 \sqrt[10]{\sum_i \sum_j P_{ij} \alpha_{ij}^3 C_{ij}^{10}(f_{ij}) f_{ij}^{-1}}, \quad (1)$$

$$T = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{\sum_i \sum_j \frac{t_{ij}}{t_{ij}}}, \quad \text{где} \quad (2)$$

НТБ
ДНУЖТ

- W - показатель плавности хода по Шперлингу;
 T - время до наступления усталости;
 a_{ij} - i -ый разряд амплитуд ускорений с частотой
 j -го разряда;
 f_j - частота j -го разряда;
 $C(f)$ - коэффициент, учитывающий частоту колебаний и
направление действия ускорения;
 P_{ij} - вероятность i -го разряда амплитуд в j -ом
интервале частоты;
 t_{ij} - время действия амплитуд i -го разряда в j -ом
интервале частоты;
 τ_{ij} - время до наступления усталости при воздействии
на человека ускорений с i -ым уровнем и j -ой
частотой, которое определяется из следующего выражения

$$\tau_{ij} = \frac{1 - 0,71 K(f_j) a_i}{K(f_j) a_i - 0,028} \quad (3)$$

где $K(f)$ - коэффициент, учитывающий частоту колебаний
и направление действия ускорения.

В соответствии с этими выражениями процесс изменения ускорений рассматривается, как набор чередующихся синусоидальных полувольт с различной частотой. Однако, подобным образом реальный процесс колебаний вагонов не всегда возможно представить, так как колебания кузова вагона являются случайным процессом, в котором присутствует в одно и то же время сигналы с гаммой частот, суммирующиеся между собой со случайными амплитудами и фазами. Процесс колебаний приближается по виду к синусоидальному, если его

спектр содержит основную энергию в сравнительно узкой полосе частот, т.е. является узкополосным, и существенно отличается от синусоидального при спектрах широкополосных. Само понятие амплитуды для широкополосного процесса теряет свой смысл, в связи с чем при обработке осциллограмм реальных ускорений замеры исходных величин, входящих в формулы определения плавности хода в большой степени зависят от субъективного выбора амплитудных значений процесса.

Очевидно, что имеющая место при этом субъективная ошибка окажется тем больше, чем больше обрабатываемый процесс отличается от синусоидального.

Проведенный в работе эксперимент показал, что субъективная ошибка оценки плавности хода по Шперлингу составляет $7+8\%$, в то время как нормативные значения оценок заданы с точностью $\sim 2\%$. При этом следует также отметить, что ошибка в $7 + 8\%$ по показателю плавности хода эквивалентна ошибке по ускорению в $20+25\%$. Естественно, что подобная точность не может удовлетворить конструкторов и исследователей, производящих оценку ходовых качеств вагонов.

Во второй главе приведены результаты экспериментального исследования статистических характеристик процессов колебаний вагонов электро- и дизель-поездов. Исследование статистических характеристик колебаний вагонов является необходимой предпосылкой для разработки статистического метода оценки плавности хода и аппаратуры для его практической реализации. К статистическим характеристикам процессов, в первую очередь, относятся дисперсия, од-

номерная плотность распределения и спектральная плотность. Для практических приложений важно также знать, обладает ли исследуемый процесс свойствами стационарности и эргодичности, что позволяет оценить указанные выше статистические характеристики по конечной реализации процесса.

Одномерная плотность распределения была получена с помощью многоканального анализатора АИ-100-1 и установок магнитной записи - воспроизведения типа М-5. Применяемая аппаратура позволила обработать реализации длительностью 100-200 и более сек, разбив диапазон исследуемого сигнала на 40-50 разрядов, благодаря чему законы распределения получены с большой точностью. По полученным законам распределения на ЭЦВМ БЭСМ-2 были рассчитаны их числовые характеристики. Проверка гипотезы совпадения экспериментального закона с теоретическим, который, исходя из физических соображений, был предварительно принят нормальным, проводилась графическим сравнением, а также сравнением коэффициентов асимметрии и эксцесса теоретического и экспериментального законов. Кроме того, была произведена проверка влияния на показатель плавности хода наблюдаемых отличий экспериментальных законов от нормального. Эта проверка производилась в предположении об узкополосности процессов. В этом случае можно показать, что

$$\frac{W_3}{W_n} = 10 \sqrt{\frac{F_n(0)}{F_3(0)}} \quad , \text{ где}$$

НТБ
ДНУЖТ

- $W_э, W_н$ - показатели плавности хода соответственно для экспериментального и нормального законов распределения;
- $F_э(0), F_н(0)$ - значения экспериментальной и нормальной плотностей распределения при значении аргумента, равном нулю.

Проведенная проверка подтвердила близость экспериментальных распределений к нормальному закону. Достаточно хорошее графическое совпадение экспериментальных законов распределения с нормальным подтвердилось также значениями коэффициентов асимметрии и эксцесса, которые практически для всех исследуемых процессов были близки к нулю. Проведенная дополнительная проверка показала, что ошибка в определении показателя плавности хода от замены экспериментальных распределений нормальным не превышает 1%. Это свидетельствует о том, что имевшие место отличия в распределениях не существенны и ими можно пренебречь.

Спектральный анализ был проведен спектроанализатором, работающим на принципе измерения дисперсии сигнала на выходе перестраиваемого узкополосного фильтра, который выполнен в виде модели системы из двух колебательных контуров с критической связью. С помощью этого спектроанализатора были получены спектры ускорения кузова в частотном диапазоне до 20 гц для пяти разных вагонов электро- и дизель-поездов.

Оценка степени широкополосности спектров была произведена по параметру γ , характеризующему распределение максимумов случайного нормального процесса.

НТБ
ДНУЖТ

$$\nu = \sqrt{1 - \frac{\sigma_1^4}{\sigma^2 \sigma_2^2}} \quad , \text{ где} \quad (4)$$

$\sigma^2, \sigma_1^2, \sigma_2^2$ - являются соответственно нулевым, вторым и четвертым моментами от спектральной плотности $S(f)$.

Как известно, распределение максимумов нормального случайного процесса описывается законом Райса, который характеризуется параметром широкополосности ν . При значениях $\nu < 0,4$ процесс можно считать узкополосным, а его распределение максимумов близким к закону Рэлея, который является частным случаем закона Райса при $\nu = 0$. Кроме того, была определена также относительная энергетическая ширина спектра φ .

$$\varphi = \frac{\left[\int_0^{\infty} S(f) df \right]^2}{S_{\max} \int_0^{\infty} f S(f) df} \quad (5)$$

Результаты анализа показали, что спектральные плотности, как правило, образованы на фоне непрерывного размытого спектра одним или несколькими всплесками на частотах, соответствующих главным видам колебаний вагона и периодическим составляющим возмущающего воздействия. Основная энергия колебаний сосредоточена в полосе частот от 0,6 до 3,2 гц, а более высокочастотные составляющие выражены сравнительно слабо. Параметр широкополосности ν , как правило, колеблется в пределах 0,4-0,7 и, следовательно, в большинстве случаев процессы ускорения не являются узкополосными.

НТБ
ДНУЖТ

Анализ спектральных плотностей процессов ускорения, относительно стабильный их вид на различных участках однородного пути при постоянной скорости движения позволил произвести приближенную оценку стационарности, исследуя изменение дисперсии по длине пути.

Оценка дисперсии стационарного процесса, полученная по реализации конечной длительности, является случайной величиной, математическое ожидание которой равно истинному значению дисперсии D

Статистическая погрешность, возникающая вследствие конечности реализации, определяется относительным среднеквадратическим отклонением δ . Известно, что

$$\delta = \frac{\sigma_D}{D} = \frac{1}{\sqrt{\Delta f T}}, \quad \text{где} \quad (6)$$

σ_D - среднеквадратическое отклонение оценки дисперсии

Δf - эффективная ширина спектра;

T - длительность реализации.

Очевидно, что если вариации дисперсии ускорений по участкам испытательной трассы не будут существенно выходить за пределы, определяемые выражением (6), то это можно будет считать косвенным свидетельством стационарности процесса, позволяющим распространить оценку плавности хода, полученную на участке конечной длины, на другие участки, однотипные с опытным по своему строению и содержанию.

Экспериментальные значения δ , полученные для разных T , показали, что наблюдается некоторая нестационарность процесса ускорения, которая, однако, не вносит существенной

НТБ
ДНУЖТ

ошибки при определении плавности хода.

Проведенный анализ показал также, что для получения статистически достоверного результата, время измерения следует принимать порядка 300 сек и более. При этом ошибка в оценке плавности хода, обусловленная нестационарными свойствами процессов ускорения не превышает 3%.

В третьей главе разрабатывается статистический метод оценки плавности хода. Вначале рассматривается способ определения плавности хода для узкополосного случайного процесса. Известно, что энергия такого процесса сосредоточена в сравнительно узкой полосе частот с центральной частотой f_0 . Тогда, как следует из (1), показатель плавности хода для узкополосного процесса определится как

$$W = 0,896 C(f_0) f_0^{-0,1} \sqrt[10]{\sum_i a_i^2 P_i}, \quad (7)$$

или

$$W = 0,896 C(f_0) f_0^{-0,1} \left[\int_0^\infty a^2 dP \right]^{0,1} \quad (8)$$

Из теории случайных функций известно также, что амплитуды нормального узкополосного процесса распределены по закону Рэлея с плотностью вероятностей

$$q(a) = \frac{a}{\sigma^2} e^{-\frac{a^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

Тогда с учётом того, что $dP = q(a) da$, получим

$$W = 0,896 C(f_0) f_0^{-0,1} \left[\int_0^\infty \frac{a^4}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{a^2}{2\sigma^2}\right) da \right]^{0,1}; \quad (10)$$

НТБ
ДНУЖТ

здесь σ - среднеквадратическое значение процесса ускорения. Интеграл уравнения (10) выражается через полную гамма-функцию. Упростив решение (10), получим:

$$W = C_1(f_0) D^{0,45} \quad , \text{ где} \quad (11)$$

$D = \sigma^2$ - дисперсия процесса,

$$C_1(f) = 1,02 C(f) f^{-0,1} \quad (12)$$

Полученный результат показывает, что показатель плавности хода узкополосного процесса ускорения выражается через его дисперсию и коэффициент, зависящий от центральной частоты. Если теперь представить широкополосный спектр в виде суммы узкополосных составляющих шириной Δf , то для каждой такой составляющей может быть найден показатель плавности хода W_j

$$W_j^{\frac{1}{0,45}} = [C_1(f_j)]^{\frac{1}{0,45}} D_j \quad (13)$$

Учитывая, что $D_j = 2 S(f_j) \Delta f$, где $S(f)$ - спектральная плотность процесса, получим

$$W_j^{\frac{1}{0,45}} = 2 [C_1(f_j)]^{\frac{1}{0,45}} S(f_j) \Delta f \quad (14)$$

Если произвести суммирование всех $W_j^{\frac{1}{0,45}}$ по всему спектру, получим:

$$W_z^{\frac{1}{0,45}} = 2 \sum_j [C_1(f_j)]^{\frac{1}{0,45}} S(f_j) \Delta f \quad (15)$$

откуда

$$W_z^{\frac{1}{0,45}} = 2 \int q^2(f) S(f) df = D q \quad , \quad (16)$$

где

$$q^2(f) = [C_1(f)]^{\frac{1}{0,15}} \quad (17)$$

Отсюда следует, что суммирование показателей плавности для разных частотных составляющих в степени $\frac{1}{0,15}$, позволяет выразить суммарный показатель плавности хода через дисперсию процесса ускорения, откорректированного некоторой линейной системой с частотной характеристикой $q(f)$, отражающей влияние частоты колебаний на самочувствие человека, которую в дальнейшем целесообразно называть физиологическим фильтром. Полученный результат хорошо согласуется с последними экспериментальными исследованиями по воздействию случайных вибраций на человека.

Показатель плавности хода в часах утомления также может быть выражен через статистические характеристики процесса ускорения. Согласно выражениям (2), (3) и (9) время утомления T , определяется следующим образом

$$T^{-1} = \int_{a_{min}}^{a_{max}} \frac{K(f)a - 0,028}{1 - 0,71K(f)a} \cdot \frac{a}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{a^2}{2\sigma^2}\right) da \quad (18)$$

Решение интеграла (18) может быть найдено в виде ряда и после соответствующих преобразований получим

$$T^{-1} = -0,028 + \sum_1^n C_n D_x^{\frac{n}{2}} \quad (19)$$

где C_n - коэффициенты ряда. $C_n = 1,38 \Gamma\left(\frac{n+2}{2}\right)$;

D_x - дисперсия процесса ускорений на выходе физиологического фильтра с частотной характеристикой

$K(f)$;

$n = 1, 2, 3, \dots$

Выражение (19) справедливо в пределах $0,035 \leq C_n \leq 0,43 \text{ см/сек}^2$

Аналогично рассмотренному выше статистическому методу оценки плавности хода в единицах Шперлинга, время утомления также определяется дисперсией процесса ускорения на выходе физиологического фильтра с частотной характеристикой $K(f)$.

Сравнение частотных характеристик $q(f)$ и $K(f)$, пронормированных по своему максимальному значению, показало, что они совпадают с достаточной для практики точностью ($\pm 5\%$). Это позволило аппроксимировать их одним выражением и установить аналитическую связь между показателем Шперлинга и временем утомления для случайных колебаний вагонов:

$$T^{-1} = -0,028 + \sum_1^n C_n \left(\frac{K_{\max}}{q_{\max}} \right)^n W^{\frac{n}{0,5}} \quad (20)$$

где K_{\max} и q_{\max} - максимальные значения частотных характеристик физиологических фильтров $K(f)$ и $q(f)$.

В практике вагостроения плавность хода вагонов оценивается дискретно при постоянных скоростях движения в диапазоне от малых скоростей до максимальных. Как правило, наихудшей плавностью хода вагоны обладают при максимальных скоростях движения. В то же время исследование распределения скоростей движения показало, что доля времени эксплуатации на максимальных скоростях мала, в связи с чем эти скорости не должны быть определяющими при оценке плавности хода вагонов. Очевидно, что степень утомления пассажира будет зависеть от распределения скоростей движения и поэтому представляется целесообразным ввести обобщенную интегральную

оценку плавности хода, получаемую на основе среднестатистического эксплуатационного распределения скоростей $q(V)$.

Определение интегрального показателя плавности хода сводится к рассмотрению кусочно-стационарной функции, состоящей из стационарных участков, соответствующих постоянным скоростям движения V

$$W_{05} = 0,896 C(f) f^{-0,1} \left[\int_0^{v_{max}} \int_0^{\infty} a^3 q(a, v) da dv \right]^{0,1} \quad (21)$$

где

$$q(a, v) = q(v) q(a/v) \quad (22)$$

$q(a, v)$ - совместная плотность распределения a и v ;

$q(a/v)$ - условная плотность распределения a от v

Решение (21) даёт

$$W_{05}^{10} = \int_0^{v_{max}} W^{10}(v) q(v) dv \quad (23)$$

где $W(V)$ - зависимость показателя плавности хода от скорости движения.

Аналогичная интегральная оценка может быть получена для показателя плавности хода, выраженного временем утомления.

$$T_{05} = \left[\int_0^{v_{max}} T^{-1}(v) q(v) dv \right]^{-1} \quad (24)$$

здесь $T(V)$ - зависимость времени утомления от скорости движения.

Полученные интегральные оценки показателя плавности хода позволяют уточнить результат воздействия колебаний на человека в реальных условиях движения.

НТБ
ДНУЖТ

На основе полученных выше теоретических результатов был разработан прибор для измерения плавности хода вагонов, рассмотренный в IV главе.

Поскольку нормированные частотные характеристики $Q(f)$ и $K(f)$ практически совпадают, они были аппроксимированы одним выражением

$$Q_n(f) = \frac{1,15f}{\sqrt{1+4,04f^2}} \cdot \frac{\sqrt{1+0,1f^2}}{\sqrt{(1-0,0364f^2)^2+0,045f^2}} \quad (25)$$

Это обеспечило возможность одновременного измерения W и T одним прибором.

В соответствии с полученными выражениями для показателей плавности хода прибор для их измерения состоит из физиологического фильтра и измерителя среднеквадратического значения сигнала на его выходе. Фильтр с частотной характеристикой (25) образован операционным усилителем с RC - мостом в цепи обратной связи. Время интегрирования, определяемое с высокой точностью с помощью кварцевого генератора и счётчика импульсов, может задаваться в пределах до 1000 сек, что обеспечивает высокую статистическую достоверность результата.

Прибор обеспечивает одновременное измерение 8 процессов непосредственно во время движения испытуемого вагона, что дает возможность быстро получить данные при различных режимах движения, на разных участках пути, сравнить результаты при различном демпфировании и т.д.

Начиная с 1969г. разработанный прибор успешно используется при динамических испытаниях электро- и дизель-поез-

НТБ
ДНУЖТ

дов, проводимых Рижским филиалом ВНИИ вагоностроения.

При внедрении прибора в практику испытаний необходимо было подтвердить возможность использования общепринятой шкалы оценок плавности хода. С этой целью было проведено сравнение показателей плавности хода, полученных путём измерения прибором и ручной обработки одной и той же записи ускорения длительностью 200 сек. По своему характеру процесс ускорения был достаточно близок к узкополосному ($\nu = 0,5$). Для обеспечения надёжности сравнения ручная обработка проводилась 10-ю людьми. Это позволило получить среднестатистические данные, а также оценить разброс, характеризующий субъективную ошибку при ручной обработке.

С оригинальной магнитной записи ускорения были изготовлены 10 осциллографических копий, каждая из которых, предварительно разделённая на 10 двадцатисекундных участков, обрабатывалась одним человеком. Оригинальная запись также по 10 двадцатисекундным участкам была обработана с помощью прибора. Результаты обработки приведены на рис. I.

Как видно из рис. I, различие между математическим ожиданием значений показателя плавности хода W_{ij} (i - номер оператора, j - номер 20-секундной реализации) при ручной обработке и его значениями W_{mj} при измерении прибором значительно меньше субъективного разброса, получаемого при ручной обработке. Разница между средним суммарным показателем плавности хода $W_{p\Sigma}$, полученным ручной обработкой 10 двухсотсекундных осциллограмм, и суммарным показателем $W_{m\Sigma}$, измеренным прибором, составила около +3%.

НТБ
ДНУЖТ

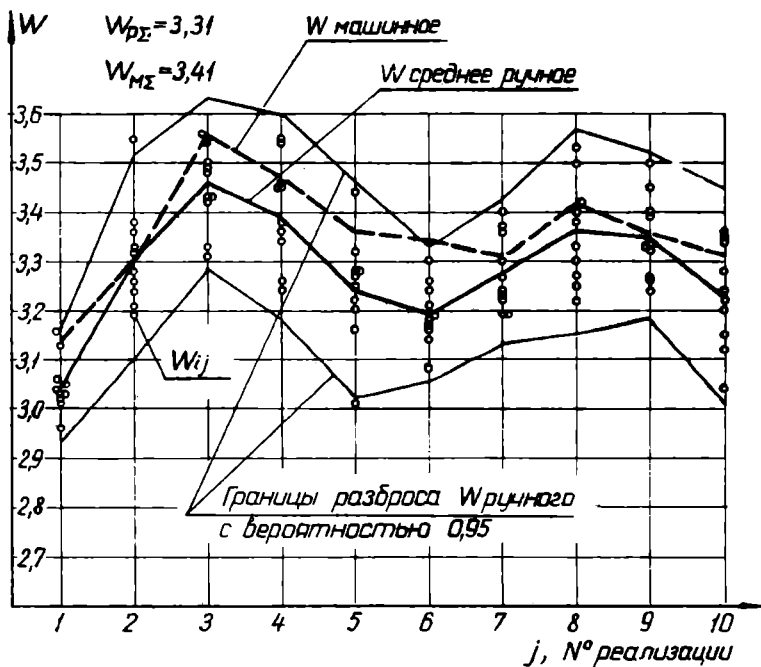


Рис. 1 Сравнение результатов машинной и ручной обработок.

НТБ
ДНУЖТ

Полученные результаты подтверждают пригодность шкалы оценок и существующих нормативов при использовании предложенного статистического метода и прибора для оценки плавности хода вагонов.

В ы в о д ы

1. Применяемые методы оценки плавности хода вагонов, рассчитанные на ручную обработку синусоидальных или узкополосных процессов, трудоёмки, дают большую погрешность, определяемую субъективными качествами обработчика, и не позволяют получить достоверной оценки плавности хода при широкополосных процессах ускорения. Отсутствие строгого математического определения показателя плавности хода для процессов ускорения с произвольным спектром затрудняет также автоматизацию оценки ходовых качеств вагонов.

2. Экспериментальные исследования процессов ускорения кузова различных типов поездов показали, что эти процессы являются случайными функциями времени и с достаточной для практики точностью могут рассматриваться как нормальные и стационарные.

Спектральные плотности процессов ускорения, зависящие от свойств вагона, пути и скорости движения поезда, в общем случае имеют несколько всплесков на частотах, соответствующих главным видам колебаний вагона и периодическим составляющим возмущающего воздействия, и, как правило, не являются узкополосными.

3. На базе имеющихся физиологических экспериментов и проведенного исследования свойств процессов ускорения

НТБ
ДНУЖТ

кузова разработан статистический метод оценки плавности хода вагонов для процессов с любым спектральным составом. Разработанный статистический метод оценки плавности хода позволяет выразить ходовые качества вагона как в условных единицах Шперлинга, так и в часах утомления, через спектральную плотность процесса ускорения с учётом чувствительности человеческого организма к частотному составу колебаний. Показано, что показатель плавности хода может быть определен по дисперсии процесса ускорения, скорректированного "физиологическим" фильтром, отражающим чувствительность человека к частоте колебаний.

4. Нормированные частотные зависимости, учитывающие чувствительность человека к частоте колебаний для различных критериев и методов оценки плавности хода, весьма близки, что позволяет их аппроксимировать одной частотной характеристикой универсального физиологического фильтра. Это даёт возможность установить связь между различными показателями плавности хода через среднеквадратическое значение ускорения на выходе "физиологического" фильтра с нормированной частотной характеристикой и автоматизировать их одновременное определение.

5. Предложена интегральная оценка плавности хода вагонов с учетом эксплуатационного распределения скоростей движения. Интегральная оценка даёт возможность существенно уточнить суммарный эффект воздействия колебаний вагона на пассажиров в реальных условиях эксплуатации.

6. На базе предложенного статистического метода разработан прибор для автоматической оценки плавности хода ваго-

нов, позволяющий производить оценку ходовых качеств одновременно по восьми каналам непосредственно в процессе испытаний. Прибор обеспечивает измерение объективного показателя плавности хода с малой аппаратурной погрешностью и с большой статистической достоверностью благодаря непрерывному счету в течение сотен секунд.

7. Значения показателей плавности хода, полученные статистическим методом, находятся в границах разброса ручной обработки, в связи с чем сохраняются прежние нормативы оценки плавности хода вагонов и обеспечивается сопоставимость с результатами ранее проведенных испытаний вагонов.

8. Разработка точного математического определения показателя плавности хода вагонов при процессах ускорения с любым спектральным составом позволила решить проблему объективного измерения этого показателя и создает возможность оценки плавности хода расчетным путем на стадии проектирования.

Результаты данной работы внедрены при испытаниях и исследованиях, проводимых Рижским филиалом ВНИИ вагоностроения и Рижским вагоностроительным заводом. За разработку прибора для измерения плавности хода автор награжден серебряной медалью ВДНХ СССР.

НТБ
ДНУЖТ

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Березовский А.М., Грапис О.П. Автоматический способ определения плавности хода вагонов с использованием типовой аппаратуры для анализа случайных процессов. Транспортное машиностроение. Вып.3. Москва, 1966.
2. Березовский А.М. Метод оценки плавности хода вагонов при широкополосных случайных процессах. Труды ВНИИВ. Вып.7, Москва, 1968.
3. Березовский А.М. Оценка плавности хода вагонов в часях утомляемости по статистическим характеристикам процесса изменения ускорений. Труды ВНИИВ. Вып.9. Москва, 1969.
4. Березовский А.М., Халупович Х.Г. Исследование спектров и законов распределения колебаний вагонов электро- и дизель-поездов. Труды ВНИИВ. Вып.8. Москва, 1969.
5. Березовский А.М., Халупович Х.Г. Статистический метод оценки плавности хода вагонов. Сб. Производство и испытание транспортных конструкций. Том 2. Звайгана. Рига, 1970.
6. Березовский А.М., Грапис О.П., Халупович Х.Г. Устройство для определения плавности хода пассажирских транспортных средств. Авторское свидетельство № 264813 класс 42, 7/70. 1969.
7. Березовский А.М., Бутаков Г.В., Халупович Х.Г., Балтер И.И. Вопросы нормирования вибраций пассажирских вагонов. Сб. Вибрационная техника. Т.2. Москва, 1970г.
8. Балтер И.И., Березовский А.М. и др. Статистические методы оценки динамики и прочности вагонов с применением

магнитной записи и автоматизированной обработки данных. Сб. "Производство и испытание транспортных конструкций". Том 2. Звайгзне. Рига, 1970.

9. Балтер И.И., Халупович Х.Г., Березовский А.М. Аппаратура для исследования случайных вибраций на подвижном составе железнодорожного транспорта. Сб. Вибрационная техника. Т.2. Москва, 1970.

Отдельные результаты работы докладывались:

1. На III Всесоюзной конференции по применению ЭВМ при проектировании, испытании и эксплуатации электропоездов. Рига, институт электроники и вычислительной техники АН ЛССР. 1969.
2. На семинаре по вибрационной технике. Московский дом научно-технической пропаганды имени Ф.Э.Дзержинского. Москва, 1970.
3. На семинаре по механике ДИИТа, Днепропетровск, ДИИТ, 1970.

БТ 10545. Подписано в печать 15.IX.71 г.

Зак. № 1532. Тираж 140. Объем 1,5 п.л.
Днепропетровск, 1971 г. Рот-шт 03 ДМетИ.