

МПС СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

На правах рукописи

КОРМЩИКОВ М. Н.

**МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЯ ЭКИПАЖА,  
ДВИЖУЩЕГОСЯ ПО НЕРОВНОСТЯМ ПУТИ**

[05.22.07 — Подвижной состав и тяга поездов]

Автореферат

диссертации, представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК  
1975

НТБ  
ДНУЖТ

М П С С С С Р

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА

---

На правах рукописи

КОРМИЩИКОВ М. Н.

МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЯ ЭКИПАЖА,  
ДВИЖУЩЕГОСЯ ПО НЕРОВНОСТЯМ ПУТИ

/05.22.С7 - 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

1975

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА  
Дніпропетровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

НТБ  
ДНУЖТ

682/а

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров  
железнодорожного транспорта.

Научный руководитель:  
заслуженный деятель науки УССР,  
академик АН УССР, доктор технических  
наук, профессор

ЛАЗАРЯН В.А.

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук, профессор  
доктор технических наук, профессор  
кандидат технических наук

ЛЬВОВ А.А.

ПАФИТ Е.М.

ЗАЛЕСКИЙ А.И.

Ведущее предприятие:  
указано в решении Ученого Совета

Автореферат разослан "

1975 года

Защита диссертации состоится "

1975 г.

в " " часов на заседании Ученого Совета Днепропетров-  
ского института инженеров железнодорожного транспорта  
/г. Днепропетровск-320010, ул. Университетская, 2/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета  
доцент

ТРЕТЬЯК Е.А.-

НТБ  
ДНУЖТ

Возрастающее значение железнодорожного транспорта в системе народного хозяйства требует решения ряда задач, связанных с увеличением скоростей движения и веса поездов. К их числу относится задача определения сил, действующих на колесные пары и кузова вагонов и, как следствие, определение оптимального рессорного подвешивания и конструкции вагонов. К настоящему времени проведены многочисленные теоретические исследования воздействия неровностей пути на движущиеся экипажи, предложены модели для исследования упругих колебаний вагона, получены расчетные данные, показавшие, что наибольший интерес вызывают колебания на частотах  $1 + 20$  Гц.

Использование аналоговых вычислительных машин и ЭЦВМ расширяет возможности в решении задач по определению динамических характеристик экипажей и позволяет сравнительно просто и наглядно получать их формы колебания, переходные процессы при ударах на стыках рельсов, выбирать характеристики рессорного подвешивания для какого-либо условного воздействия со стороны рельсов. Но, как известно, реакция движущегося экипажа изменяется с изменением входного воздействия. Поэтому для изучения вертикальной динамики экипажей необходимо располагать достоверными сведениями об этом воздействии, т.е. о характере неровностей пути. В настоящее время неровности пути изучены мало. Но это не является свидетельством недостаточного внимания этому вопросу. В связи с техническими трудностями, возникающими при измерении прогиба рельсов под влиянием движущегося экипажа, до недавнего времени изучались не динамические, а статические неровности пути, включающие изолированные неровности. Такой подход, с одной стороны, сдерживал дальнейшие теоретические исследования динамики подвижного состава, а с другой — тормозил разработку и внедрение эффективных мер по устранению влияния наиболее опасных форм неровностей. Для того, чтобы восполнить пробел, вызванный отсутствием средств измерения перемещений в инерциальной системе координат, экспериментаторы производят измерения ускорений на элементах тележек и обрессорен-

НТБ  
ДНУЖТ

ной части экипажа и по полученным результатам определяют входное воздействие и оценивают верность заложенных в расчёт упругих и инерционных характеристик. Такой метод недостаточно точен, ибо, чем выше частота, тем более она подчеркнута в спектре ускорения по сравнению со спектром перемещения. Наличие в спектре сигнала высокочастотных составляющих с большим уровнем не позволяет выделять колебания с низкими частотами, которые представляют наибольший интерес при изучении прочности экипажей.

Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию методов определения динамического профиля пути и параметров колебания движущегося экипажа. Основной целью этих исследований является разработка такого метода, который позволил бы определять динамические неровности пути и реакции элементов экипажа на их воздействие при всех используемых на практике скоростях движения.

В работе анализируются существующие методы определения перемещений при динамическом возбуждении конструкций, показана перспективность использования сейсмических датчиков для определения перемещений в условиях движущегося транспорта, выявлены преимущества метода двукратного интегрирования сигнала ускорения. Дан сравнительный анализ существующих интеграторов. В качестве критерия оценки предложено использовать помехозащищенность интеграторов. Показано, что известные интеграторы имеют одинаковую помехозащищенность, которая недостаточна для использования их в системах измерения перемещений. Разработан новый тип интеграторов - параллельные RC-интеграторы. Проанализированы характеристики параллельных RC-интеграторов. Показано, что помехозащищенность таких интеграторов достаточна для использования их в системах измерения перемещений. Предложен метод дальнейшего увеличения помехозащищенности параллельных RC-интеграторов.

В работе большое внимание уделено проверкам прибора, использующего принцип двукратного интегрирования сигнала ускорения, с целью определения возможности его применения в условиях движущегося транспорта. Приведены результаты измерения динамических неровностей пути разработанным методом.

В первой главе поставлена задача и анализируются методы ее решения.

НТБ  
ДНУЖТ

Задача по экспериментальному исследованию колебаний экипажа, движущегося по неровностям пути, может быть разделена на

- исследование динамических неровностей пути с целью определения входного воздействия на экипаж и

- экспериментальные исследования колебаний обрессоренной части движущегося экипажа с целью сопоставления с результатами расчёта и проверки теоретических предпосылок.

Для решения указанной задачи необходимо определять перемещения в диапазоне частот приблизительно от 0,25 Гц до 100 Гц при воздействии случайного входного сигнала.

Существующие системы измерения перемещений по принципу измерения можно разделить на два класса. В измерительных системах, относящихся к первому классу, измерения производятся относительно неподвижных координат. Такие системы не пригодны для решения поставленной задачи.

Второй класс составляют измерительные системы, использующие датчики инерционного действия. Выходной сигнал датчика пропорционален перемещению исследуемого объекта при использовании виброметра или скорости и ускорения для велосиметра и акселерометра соответственно. Интегрируя выходной сигнал велосиметра и акселерометра, можно получить величину, пропорциональную перемещению объекта в месте установки датчика.

Прямой подход при использовании виброметров приводит к значительным габаритам датчика. Например, виброметр с собственной частотой 0,25 Гц имеет статический прогиб около 4 м. Применение методов электрической коррекции позволяет уменьшить габариты и устранить ряд недостатков, присущих виброметрам. Однако при этом возникает требование стабильности характеристик виброметра во времени и при изменении условий эксплуатации, которые выполнить весьма сложно.

Более перспективным является метод определения перемещений путем интегрирования сигналов на выходе велосиметра или акселерометра. Но, как показывает опыт, характеристики велосиметра отличаются нестабильностью. Поэтому основное внимание было сосредоточено на интегрировании сигналов акселерометров. Чувствительность акселерометра к перемещению

$$\rho = \frac{\rho^2}{\rho^2 + 2\nu\rho + \omega_0^2}$$

НТБ  
ДНУЖТ

Для диапазона частот, у которого верхняя частота значительно ниже собственной частоты инерционного элемента, чувствительность можно представить в виде

$$\rho = \frac{p^4}{\omega_0^4}$$

При двукратном интегрировании сигнала акселерометра

$$\frac{p^4}{\omega_0^4} \cdot \frac{1}{p^4} = \frac{1}{\omega_0^4}$$

чувствительность системы к перемещению постоянна.

Методы интегрирования уже применялись при исследовании железнодорожного транспорта. Например, для исследования траектории центра масс колесной пары вагона в МИИТ'е использовались сейсмоприемники ВБП совместно с переуспokoенными гальванометрами ГВ-В-З. Благодаря большой приведенной длине и большому периоду собственных колебаний ( $T_0 = 1,6$  сек), угловые отклонения маятника при перемещении объекта, на котором установлен сейсмоприемник, с амплитудами от 0,1мм до 150мм и периодами от 0,01 сек. до 1 сек. не выходят за пределы линейности. Сигнал на выходе сейсмоприемника пропорционален скорости смещения. В переуспokoенном гальванометре происходит однократное интегрирование сигнала, в результате чего зарегистрированный сигнал пропорционален смещению объекта в месте установки сейсмоприемника.

В ЦНИИ МПС разработан метод измерения траектории движения колеса, заключающийся в вычислении разности между перемещением обрессоренной части вагона и сжатием рессорного комплекта. При правильном измерении обеих составляющих можно считать, что указанная разность равна динамической неровности пути. Для определения перемещения кузова используется метод двукратного интегрирования сигнала ускоренимера, установленного на кузове.

Рассмотрены применяемые в других областях техники измерительные системы, использующие принципы двукратного интегрирования сигналов акселерометра. В работе показано, что активная нагрузка, включенная на выходе интегрирующих RC-контуров в этих системах, снижает коэффициент передачи и постоянную времени интегратора, а каскадное соединение интегрирующих RC-контуров без разделительных элементов с большим входным сопротивлением, используемое в ряде зарубежных разработок, вносит дополнительную погрешность.

Во второй главе рассматриваются особенности работы интеграторов в системе измерения перемещения и анализируются описанные в литературе интеграторы.

Основной помехой для измерительных интеграторов являются составляющие сигнала с частотой ниже диапазона интегрирования. Поэтому помехозащищенность интегратора будет тем выше, чем меньше коэффициент передачи интегратора на частотах помех и чем он больше на нижней частоте диапазона интегрирования. С этой точки зрения описанные в литературе критерии оценки качества измерительных интеграторов не являются удовлетворительными. Предлагается качество таких интеграторов оценивать коэффициентом помехозащищенности  $\gamma(p)$ , представляющим отношение коэффициентов передачи интегратора на нижней частоте диапазона интегрирования  $K(p_n)$  и на постоянном токе  $K(o)$

$$\gamma(p) = \frac{K(p_n)}{K(o)}$$

Нижняя частота определяется допустимой погрешностью интегрирования. В качестве погрешности интегрирования принята относительная комплексная погрешность  $\varepsilon(p)$ , представляющая отношение

$$\varepsilon(p) = \frac{\frac{1}{p\tau} - K(p)}{\frac{1}{p\tau}}$$

где  $\frac{1}{p\tau}$  — коэффициент передачи идеального интегратора,  $K(p)$  — коэффициент передачи реального интегратора.

Комплексная погрешность даёт более ёмкое представление о качестве интегрирования, чем принятая в литературе погрешность по амплитуде

$$j = \frac{\frac{1}{\omega\tau} - |K(p)|}{\frac{1}{\omega\tau}},$$

так как включает как погрешность по амплитуде, так и погрешность по фазе

$$|\varepsilon(p)|^2 = j^2 + (1-j)\varphi^2,$$

где  $\varphi$  — абсолютная фазовая погрешность реального интегратора в радианах.

При равенстве нулю погрешности по фазе комплексная погрешность равна погрешности по амплитуде и наоборот. В интегрирующем RC-контуре фазовая погрешность превосходит погрешность по амплитуде.

Результаты измерения траектории центра масс колесной пары обрабатываются с целью получения либо амплитуд перемещения,

либо спектральной плотности амплитуд. В первом случае игнорирование фазовой погрешности может привести к серьезным искажениям результата измерения, во втором — фазовый сдвиг не вносит дополнительную погрешность.

Анализ интегрирующего RC-контура, интегратора с параметрической компенсацией погрешности, интегратора с обратной связью по напряжению, интегратора с параллельной обратной связью и инерционного звена в режиме интегратора показал, что коэффициент помехозащищенности этих интеграторов равен их комплексной погрешности  $\eta(p) = \epsilon(p)$ . Такая помехозащищенность недостаточна для интегрирования сложных сигналов, содержащих постоянную составляющую.

Ослабление помех включением разделительных RC-контуров приводит к увеличению погрешности на нижних частотах диапазона интегрирования. Для того, чтобы дополнительная ошибка от разделительного контура была на порядок ниже относительной комплексной погрешности интегратора, необходимо постоянную времени разделительного RC-контура выбирать на порядок больше постоянной времени интегратора. Практически использовать такие схемы невозможно из-за переходных процессов в разделительных RC-контурах.

В третьей главе рассматриваются интеграторы с коэффициентом передачи в виде суммы членов геометрической прогрессии, знаменатель которой равен коэффициенту передачи интегрирующего RC-контура

$$K(p) = \frac{1}{p\tau+1} + \frac{1}{(p\tau+1)^2} + \frac{1}{(p\tau+1)^3} + \dots + \frac{1}{(p\tau+1)^n}$$

В пределе, при  $n \rightarrow \infty$ , коэффициент передачи стремится к  $\frac{1}{p\tau}$ , т.е. выполняются условия идеального интегрирования. Приведенное выражение для коэффициента передачи можно реализовать двумя видами схем: схемой с параллельным включением цепей и схемой с лестничным соединением интегрирующих RC-контуров. Такие интеграторы предложено называть "параллельными RC-интеграторами".

Интегратор с параллельным соединением цепей состоит из "n" цепей, каждая из которых реализует один член выражения для коэффициента передачи  $K(p)$ . Выражение  $\frac{1}{(p\tau+1)^2}$  реализуется в виде "S" каскадно включенных интегрирующих RC-контуров, разделенных повторителями напряжения с большим входным и малым выходным сопротивлениями. По входу цепи включены параллельно. Выход цепей

включен на сумматор, с выхода которого снимается проинтегрированный сигнал. Количество реализованных в схеме членов прогрессии определяет порядок интегратора. Интегратором первого порядка является интегрирующий RC-контур.

Коэффициент передачи двух соседних по порядку цепей можно представить в виде

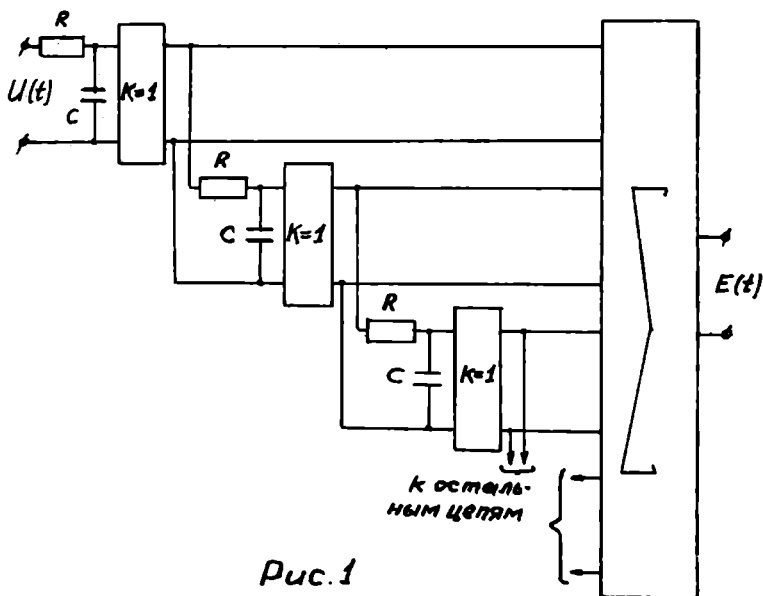
$$\frac{1}{(\rho\tau+1)^s} + \frac{1}{(\rho\tau+1)^{s+1}} = \frac{1}{(\rho\tau+1)^s} \cdot \frac{\rho\tau+2}{\rho\tau+1}$$

Четырехпольник с коэффициентом передачи  $\frac{\rho\tau+2}{\rho\tau+1}$  реализуется трехэлементным RC-контуром с равными значениями величин резисторов. Интегратор второго порядка подобным образом реализуется без сумматора.

Коэффициент передачи параллельного RC-интегратора можно представить также в виде

$$K(p) = \frac{1}{\rho\tau+1} \left\{ 1 + \frac{1}{\rho\tau+1} \left[ 1 + \frac{1}{\rho\tau+1} (1 + \dots) \right] \right\}$$

Реализацией этого выражения является схема с лестничным соединением интегрирующих RC-контуров по входу и сумматором на выходе (рис. 1).



Рассматриваемая схема сохраняет все достоинства предыдущей, но значительно проще.

Коэффициент передачи интегратора  $n$ -го порядка кратности " $\ell$ " можно представить в виде

$$K(p)_n = \frac{1}{(p\tau+1)^{\ell}} + A \frac{1}{(p\tau+1)^{\ell+1}} + B \frac{1}{(p\tau+1)^{\ell+2}} + \dots + \frac{1}{(p\tau+1)^{\ell+m}}$$

и принципиально выполнить такой же схемой, как и для однократного интегратора. Коэффициенты  $A$ ,  $B$  и т.д., как и разброс коэффициентов передачи повторителей напряжения, учитываются при выборе величин суммирующих резисторов. Многократное интегрирование одной схемой уменьшает количество используемых элементов схемы.

Коэффициент передачи по постоянному току параллельного RC-интегратора равен порядку интегратора. Для сравнения интеграторов различных порядков одной и той же кратности характеристики интеграторов необходимо нормировать. В работе нормирование производится по точке сопряжения интегрирующего RC-контура с координатами  $K(\omega)=1$ ;  $\omega\tau_{en}=1$ .

Нормированная относительная комплексная погрешность параллельного RC-интегратора порядка " $n$ " равна

$$\varepsilon(p)_n = \frac{n^n}{(p\tau_{en}+n)^n}$$

Относительная комплексная погрешность двукратного интегратора составляет  $2\varepsilon(p)_n$ .

Нормированный коэффициент помехозащищенности

$$\eta(p)_n = \frac{(p\tau_{en}+n)^n - n}{n^n p\tau_{en}} \varepsilon(p)_n$$

Для  $n = 1$  (интегрирующий RC-контур)

$$|\eta(p)_1| = |\varepsilon(p)_1|$$

Для  $n > 1$  в рабочем диапазоне частот

$$|\eta(p)_n| > |\varepsilon(p)_n|,$$

т.е. коэффициент помехозащищенности параллельного RC-интегратора выше, чем у ранее рассмотренных интеграторов. На рисунке 2 приведена зависимость комплексной помехозащищенности параллельных RC-интеграторов I + 4 порядков от погрешности интегрирования (кривые I + 4 соответственно).

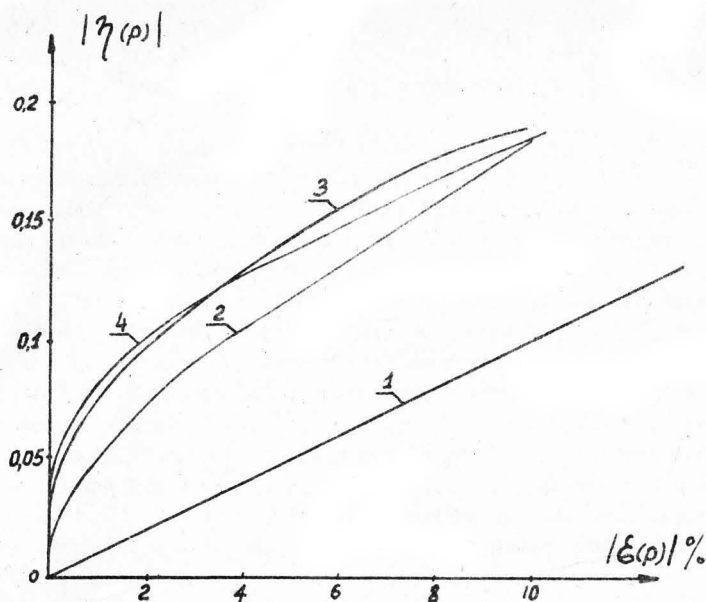


Рис. 2

У параллельных RC-интеграторов, в отличие от интеграторов, описанных в литературе, погрешность по фазе меньше погрешности по амплитуде. Если приблизительно уравнивать эти величины, то при той же комплексной погрешности нижняя частота диапазона интегрирования уменьшается. Коэффициент передачи на нижней частоте увеличивается, следовательно, увеличивается помехозащищенность интегратора. Такую операцию можно выполнить путём изменения соотношения значений сопротивления резисторов трехэлементного контура. Коэффициент передачи параллельного RC-интегратора порядка "2η" с коррекцией характеристик можно представить выражением

$$K(p)_{2\eta} = \frac{1}{m} \cdot \frac{p\tau + m}{(p\tau + 1)^2} \left\{ 1 + \frac{1}{(p\tau + 1)^2} \left[ 1 + \frac{1}{(p\tau + 1)^2} (1 + \dots) \right] \right\}$$

Коэффициент

$$m = \frac{R_1 + R_2}{R_1}.$$

назван коэффициентом коррекции. Для интегратора второго порядка при оценке качества интегрирования комплексной погрешности максимальная помехозащищенность достигается при  $m = 1,85$  (рис. 3).

Если результаты измерения будут представлены в виде спектральной плотности, то фазовые искажения можно не рассматривать и оценивать качество измерений только погрешностью воспроизведения амплитуд. Эта погрешность в диапазоне рабочих частот может принимать как положительные, так и отрицательные значения, в зависимости от принятого значения коэффициента коррекции. При значении  $m = 1,65$  можно достигнуть коэффициента помехозащищенности  $|f(\rho)| > 0,5$  при погрешности измерения по амплитуде не более  $\pm 4\%$  (рис. 4). Такая помехозащищенность реализуется при  $\omega\tau < 1$ . Даже при  $\tau = 1$  сек. (что легко выполнимо) нижняя частота диапазона интегрирования составляет 0,16 Гц. Это значительно меньше величин, полученных в аппаратуре, используемой для измерения неровностей пути другими организациями.

В работе рассмотрены переходные процессы в интеграторах. При входном воздействии в виде элементарной ступенчатой функции выбором коэффициента коррекции можно значительно увеличить линейный участок коэффициента передачи интегратора. При  $m = 2,2$  линейный участок параллельного RC-интегратора второго порядка при  $|f(\rho)| = \pm 4\%$  в 12 раз больше, чем у интегрирующего RC-контура.

При входном воздействии в виде синусоидального сигнала переходный процесс с увеличением коэффициента коррекции затухает быстрее. Однако чрезмерное увеличение " $m$ " приводит к тому, что, например, интегратор второго порядка превращается в двукратный интегратор первого порядка и погрешность интегрирования неумеренно увеличивается. Поэтому величину коэффициента коррекции следует выбирать по погрешности интегрирования. Длительность переходного процесса при гармоническом воздействии соответствует частотам, лежащим ниже диапазона интегрирования.

Экспериментальной проверке подвергались интеграторы 1, 2, 3 и 4 порядков, интеграторы второго и четвертого порядков с коэффициентом коррекции  $m = 1,85$  и двукратный интегратор второго порядка. В качестве повторителей напряжения использовались схемы на транзисторах с большим входным сопротивлением. Сумматором служил операционный усилитель аналоговой вычислительной машины ИИ-17. Результаты проверки показали хорошую сходимость эксперимента с расчётом.

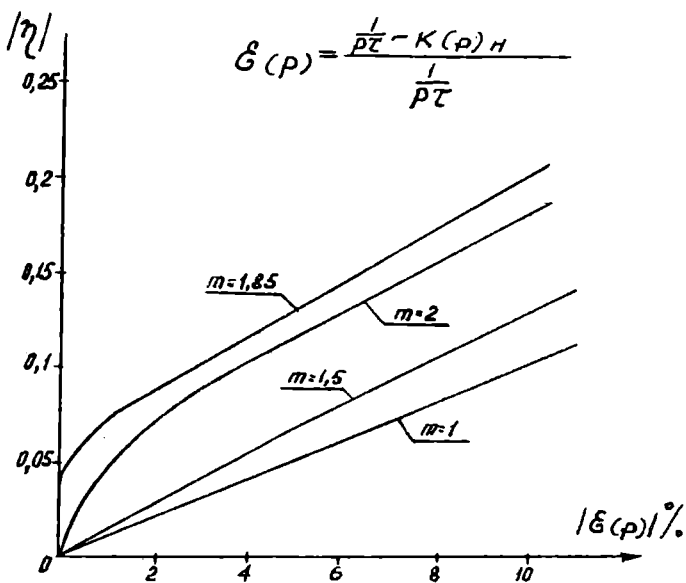


Рис. 3.

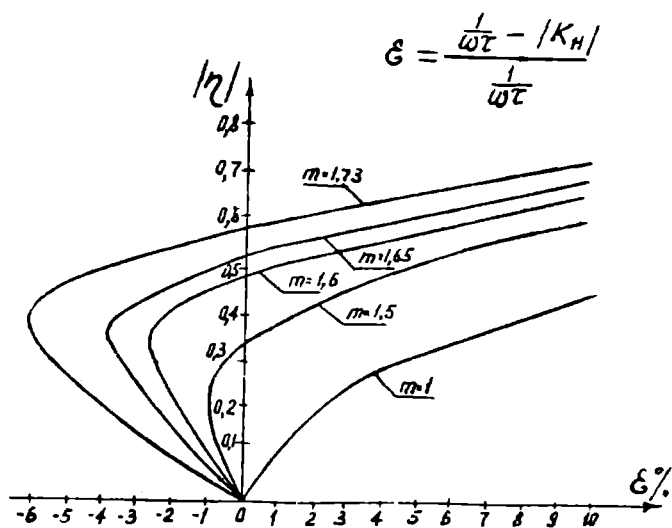


Рис. 4

Четвертая глава посвящена анализу блок-схемы и выбору элементов системы измерения перемещений, экспериментальной проверке выбранной системы и определению динамических неровностей пути.

При выборе датчиков основное внимание уделялось величине дрейфа выходного напряжения. В пьезоэлектрических датчиках, с целью расширения частотного диапазона в область низких частот, применяются повторители сигналов с большим входным сопротивлением. Благодаря этому в некоторых разработках удалось нижнюю частоту рабочего диапазона уменьшить до 0,5 Гц. Попытка использовать такие акселерометры для измерения перемещений не дала положительных результатов из-за значительного дрейфа выходного напряжения акселерометров. Экспериментально установлено, что основной причиной дрейфа пьезоэлектрических акселерометров с повторителями сигналов является температурная нестабильность пьезокерамики. В связи с этим применение пьезоакселерометров для измерения перемещений с частотами ниже 1 Гц нецелесообразно. Хорошую стабильность выходного напряжения показала аппаратура ВИБ с датчиками ДУ-5.

С целью увеличения помехозащищенности измерительной системы, рассматривается вопрос о применении усилителей. Усилители переменного тока с нижней частотой пропускания, равной долям герца, вносят значительные фазовые искажения, а переходные характеристики таких усилителей имеют колебательный характер с количеством экстремумов, равным количеству разделительных RC-контуров в усилителе. Поэтому в инфранизкочастотных усилителях переменного тока нуль выходного напряжения, даже при отсутствии сигнала на входе, все время смещается. В связи с этим целесообразно применять усилители постоянного тока. Наилучшие характеристики имеют операционные усилители аналоговых вычислительных машин.

Рассмотрен вопрос о необходимой величине помехозащищенности интегратора. Показано, что для получения на выходе двукратного интегратора отношения сигнал/помеха, равного 10, необходимо использовать интеграторы с коэффициентом помехозащищенности  $|Z(p)| > 0,08$ .

Значительное внимание в работе уделено проверке изготовленного прибора, предназначенного для совместной работы с существующими системами измерения ускорений (рис. 5). Приведены результаты проверки прибора и системы измерения перемещений моно- и полигармоническим сигналом, а также при импульсном возбуждении датчика. Эксперимент показал хорошие качества прибора при воспроизведении

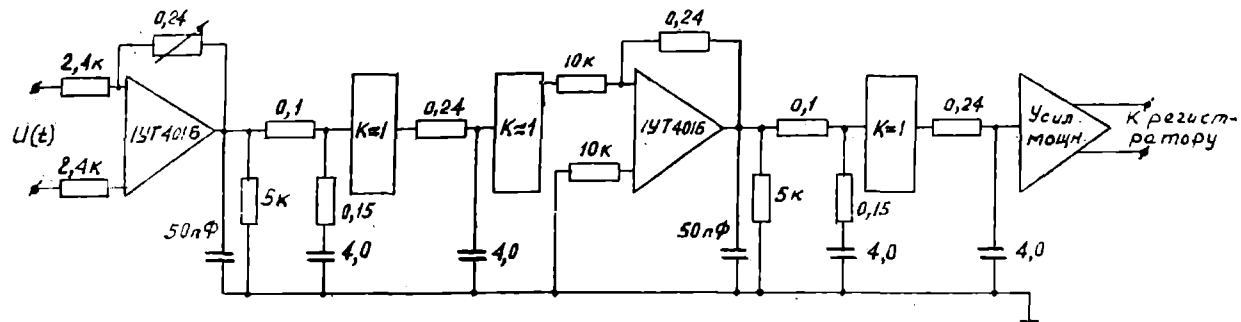


Рис. 5

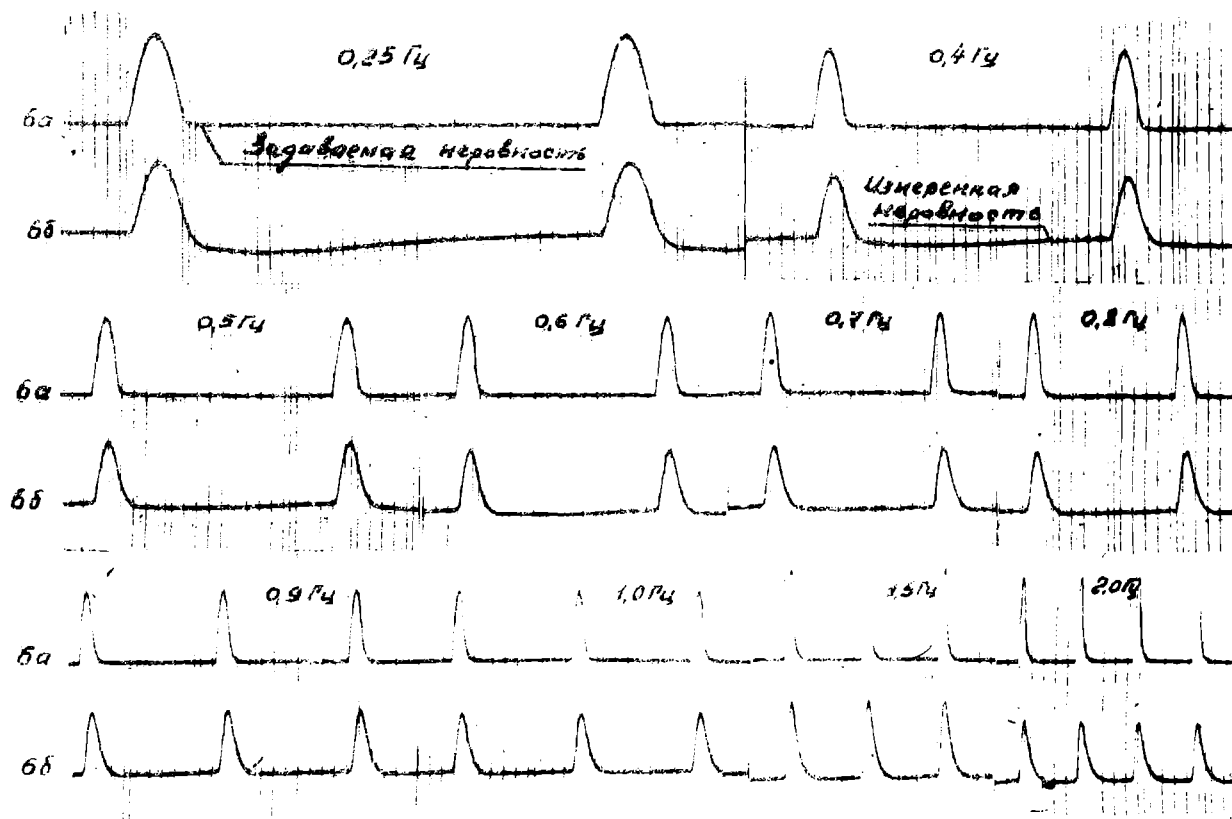


рис. 6

НТБ  
ДНУЖТ

подобных сигналов. Для более полного исследования прибора определялась реакция при воздействии детерминированной неровностью типа стыка рельсов. С этой целью на АВМ формировался сигнал специальной формы. Для имитации реакции датчика на воздействие неровности сформированный сигнал дважды дифференцировался. Задаваемая и измеренная неровности приведены соответственно на рис. 6а и 6б.

На рис. 7 представлены экспериментальные данные, полученные при испытаниях скоростного вагона-лаборатории, построенного на базе головного вагона электропоезда ЭР-22. Ускорения на буксе измерялись системой ВИ6-5МА. Интегрирование производилось в диапазоне с нижней частотой 0,75 Гц. При обработке на ЭЦВМ получены спектры перемещений по показаниям прибора и в результате численного интегрирования измеренных ускорений. Показана хорошая сходимость результатов. В работе также приведены результаты измерения траектории буксы четырехосного полувагона при различных постоянных времени интегратора.

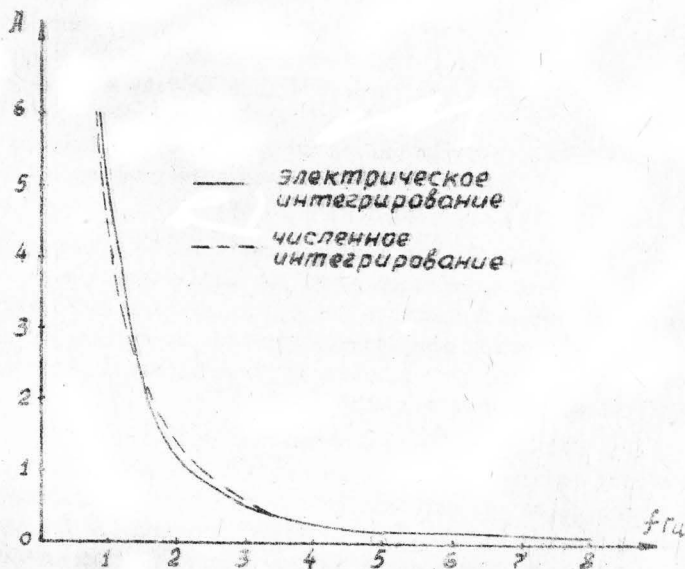


рис. 7

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА  
Дніпропетровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

НТБ  
ДНУЖТ

Анализ экспериментальных данных, полученных при определении перемещений буксы на движущихся экипажах, подтвердил случайный характер перемещений. Если считать, что перемещения буксы повторяют динамические неровности пути, то, на основании полученных результатов, можно сделать следующие выводы о неровностях пути. Динамический профиль пути характеризуется неровностями, длина которых простирается от долей метра до десятков метров. Глубина длинных неровностей может достигать десятков миллиметров. Неровности носят знакопеременный характер. Производная от профиля пути на стыках не всегда меняет знак. Координата нахождения на рельсовом звене наибольшей глубины неровности случайна.

Полученные в работе результаты показывают, что предложенный метод позволяет определять как глубину, так и протяженность динамических неровностей в диапазоне с нижней частотой 0, Гц на рельсовых звеньях длиной 25 м при скорости движения экипажа выше 22 км/час, а при длине рельсовых звеньев 12,5 м — выше 11 км/час, т.е. практически при всех скоростях движения.

Дальнейшее расширение частотного диапазона измеряемых перемещений может быть достигнуто как увеличением постоянной времени, так и транспонированием измеряемого сигнала с помощью магнитографа. Этими методами можно довести нижнюю частоту системы до сотых долей герца.

Выполненная автором работа по экспериментальному определению параметров экипажа, движущегося по случайным неровностям пути, дала следующие результаты:

1. Показано, что при исследовании колебаний движущегося экипажа основной интерес представляют динамические неровности пути, возникающие в процессе нагружения ниток рельсов движущимся экипажем. В настоящее время отсутствие материалов по динамическим неровностям пути в известной мере тормозит экспериментальное изучение динамики экипажей.

2. Рассмотрены методы измерения перемещений. Показаны преимущества метода двукратного интегрирования сигнала ускорения для определения динамических неровностей пути. Предложена оценка качества интеграторов по помехозащищенности и комплексной погрешности. Проведенный анализ показал недостаточную помехозащищенность существующих интеграторов.

3. Предложен новый вид интеграторов – параллельные RC-интеграторы, позволяющие в несколько раз повысить помехозащищенность измерительных цепей. Показана целесообразность использования для определения перемещений на движущихся экипажах параллельных RC-интеграторов малых порядков.

4. Рассмотрены требования к элементам системы, предназначенной для определения перемещений с частотой менее одного герца. Приведена схема и характеристики прибора, предназначенного для таких измерений, представлены результаты исследования прибора, показывающие его пригодность для исследования динамических неровностей пути и колебаний обрессоренной части экипажа. В приборе отсутствуют дифференцирующие цепи для фильтрации постоянной составляющей входного сигнала.

5. Получены результаты практического определения неровностей пути, свидетельствующие о том, что длина неровностей достигает десятков метров, глубина – десятков миллиметров. Форма неровностей имеет случайный характер.

6. Использование датчиков ускорения для определения перемещений создаёт широкие возможности для исследования динамики подвижного состава железнодорожного транспорта. В число задач, решение которых возможно с применением этого метода, входят как задачи, связанные с исследованием изгибных колебаний обрессоренной части экипажа, так и задачи, связанные с исследованием боковой качки и продольных сил.

7. Дальнейшее расширение возможностей метода заключается в снижении нижней частоты исследуемого диапазона до сотых долей герца путём использования магнитографа и транспонирования сигнала до и после интегрирования.

8. Предложенный метод может найти применение в других областях народного хозяйства в тех случаях, когда необходимо определять вибросмещения: при определении форм колебаний мостов, мачт, опор, различных видов транспорта, конструкций, исследуемых на динамических стендах.

НТБ  
ДНУЖТ

Материалы, относящиеся к теме диссертации, отражены в работах:

1. Кормищиков М.Н. К вопросу об измерении траектории движения центра оси колесной пары вагона. Труды ДИИТ'а, выпуск 28, Дн-ск, 1972 г.

2. Кормищиков М.Н. Интеграторы для измерения перемещений методом двукратного интегрирования сигналов по ускорению. Репорт, № 18, 1975 г.

Результаты работы доложены:

На совещании "Некоторые задачи механики скоростного наземного транспорта", Дн-ск, 1974 г.

На заседании НТС конструкторского бюро Днепропетровского завода, г. Днепропетровск, 1974 г.

На заседании расширенного технического Совета конструкторского бюро вагоностроительного завода, г. Калинин, 1975 г.

НТБ  
ДНУЖТ

---

Ротапринт ДГУ. Днепропетровск, Шевченко, 59.  
БТ 32009. Зак. № 225. Тираж 200. Объем 1,5 п. л.  
Подписано к печати 2/Х-1975 г.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ  
ДНУЖТ