

Министерство путей сообщения СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

РЕДЬКО Сергей Федорович

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЭКИПАЖЕЙ

01.02.06 — Динамика, прочность и надежность
машин, приборов и аппаратуры

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1974

Министерство путей сообщения СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

РЕДЬКО Сергей Федорович

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЭКИПАЖЕЙ

01.02.06 – Динамика, прочность и надежность
машин, приборов и аппаратуры

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1974

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

6433a

Работа выполнена в Днепропетровском отделении Института механики АН УССР ,

Научные руководители

Заслуженный деятель науки УССР академик АН УССР
доктор технических наук профессор В.А. ЛАЗАРЯН ,
кандидат технических наук старший научный
сотрудник В.Ф. УШКАЛОВ .

Официальные оппоненты

доктор технических наук профессор В.М. КУНЦЕВИЧ ,
доктор физико-математических наук
профессор Б.И. КРЮКОВ .

Название ведущего предприятия указано в решении
Ученого совета ДИИТа .

Автореферат разослан "17" апреля 1974 г.

Защита диссертации состоится "23" мая 1974 г.
в 14 часов на заседании Ученого совета Днепропетровского
института инженеров железнодорожного транспорта (г. Днепро-
петровск-10, ул. Университетская, 2) .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке инсти-
тута .

Отзыв просим направлять в двух экземплярах по адресу :
320010 г. Днепропетровск-10, ул. Университетская, 2, институт
инженеров транспорта.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук доцент

А.Ф. ЛОГВИН

Повышение скорости движения на железнодорожном транспорте предъявляет все более высокие требования к математическим моделям, применяемым при теоретических исследованиях динамики и прочности подвижного состава. Эти модели должны быть не очень сложными и вместе с тем достаточно хорошо воспроизводящими изучаемые свойства и характер поведения транспортных экипажей. Эффективным при построении математических моделей механических систем оказывается подход, основанный на сочетании теоретического и экспериментального анализа объекта исследования.

Задача построения математической модели объекта по экспериментальным данным о его поведении и известным возмущениям относится к классу задач идентификации систем. Примеры постановки и решения подобных задач встречаются в различных областях науки и техники. Наибольшие успехи в этом направлении достигнуты в области автоматического управления.

Необходимость решения подобных задач при исследовании динамики подвижного состава железных дорог вызвана повышением роли теоретических исследований, успешное проведение которых во многом определяется надежностью используемых при этом математических моделей транспортных экипажей. Приемы идентификации могут оказаться весьма полезными при определении жесткостных и диссипативных характеристик рельсового экипажа или отдельных его элементов, при построении моделей поездов, при определении параметров модели основания и т.д.

Разработке методов идентификации механических систем посвящали свои работы многие авторы однако этот вопрос еще не следует считать исчерпанным. Весьма важным является изучение

возможностей использования специфических свойств отдельных типов механических систем при их идентификации. Перспективным следует считать исследование вопросов частичной идентификации механических систем, поскольку в ряде случаев величины некоторых параметров поддаются непосредственному измерению с достаточной степенью точности. Практически не освещенным является вопрос исследования точности методов идентификации, применяемых при построении моделей механических систем. Актуальность таких разработок обусловлена тем, что исходные данные, полученные в результате эксперимента, содержат погрешности измерений, и изучение их влияния на точность решения задачи идентификации представляет как теоретический, так и практический интерес. Большое практическое значение имеет вопрос о выработке требований к объему исходной информации, необходимого для решения задачи идентификации с заданной точностью и др.

В реферируемой работе изложены результаты разработки алгоритмов, пригодных для идентификации дискретных многомассовых механических систем, описывающих поведение объектов типа "железнодорожный экипаж"; проведено исследование точности упомянутых алгоритмов; рассмотрены вопросы частичной идентификации некоторых дискретных систем и вопросы построения моделей непрерывных механических систем, моделирующих поведение железнодорожных составов.

Эти задачи решались в предположении, что структура исследуемых объектов известна, а условия идентифицируемости выполнены. Кроме этого, сделано допущение о том, что область существования искомых параметров задана или может быть опреде-

лена .

Первая глава посвящена разработке алгебраического способа идентификации дискретных многомассовых механических систем по экспериментальным данным [записям ускорений на выходе системы и входных случайных возмущений или табулированным значениям частотных характеристик (ЧХ)] .

Предполагается, что движение идентифицируемой системы можно описать матричным дифференциальным уравнением

$$m\ddot{y}(t) + \beta\dot{y}(t) + \kappa y(t) = x(t), \quad (1)$$

где

$$m = [m_{je}]_{n \times n}, \quad \kappa = [\kappa_{je}]_{n \times n} \text{ и } \beta = [\beta_{je}]_{n \times n} -$$

соответственно матрицы инерционных, квазипружких коэффициентов и коэффициентов демпфирования ; $y(t) = [y_j(t)]_{n \times 1}$ - вектор обобщенных координат (выходов) ; $x(t) = [x_j(t)]_{n \times 1}$ - вектор входных случайных возмущений (входов) ; n - число степеней свободы .

В качестве исходной информации о входах и выходах системы служат векторы $\hat{x}(t)$ и $\hat{y}(t)$, представляющие собой стационарные случайные процессы, измеряемые с погрешностями на конечном интервале времени T , т.е.

$$\hat{x} = x + \Delta x, \quad \hat{y} = y + \Delta y \quad (2)$$

Предполагается, что компоненты векторов погрешностей измерений Δx и Δy представляют собой стационарные случайные процессы с нулевыми средними, некоррелированные между собой и с полезными сигналами .

Особенностью решаемой задачи является то, что в качестве

исходной информации о выходах системы используется не вектор перемещений, а ускорений, как наиболее легко поддающийся измерению (в случае движущихся объектов). Процесс определения векторов $\dot{y}(t)$ и $y(t)$, необходимых для решения задачи , предлагается заменить процедурой, в основу которой положен прием преобразования уравнения (I) оператором специального вида .

Критерием точности решения задачи служит величина функционала

$$J = \frac{1}{T} \int_0^T e'(t)e(t)dt, \quad (3)$$

где $e(t)$ - вектор невязок между левой и правой частями преобразованного уравнения (I) ; (, - символ транспонирования. Минимизацию функционала (3) можно свести к минимизации n функционалов более простого вида и осуществить ее алгебраическим способом , т.е. путем решения соответствующих систем линейных алгебраических уравнений . При этом определение элементов матриц m , β , κ производится построчно .

Проведено исследование точности определения элементов матриц m , β , κ описанным способом при наличии погрешностей измерений Δx $\Delta \ddot{y}$ походных данных. Показано, что для компенсации систематических погрешностей решения необходимо располагать априорной информацией о спектральных плотностях компонент вектора $\Delta \ddot{y}$

Получены оценки сверху для относительных случайных (неустраняемых) погрешностей решения задачи идентификации, обусловленных коррелированностью компонент векторов помех Δx

и $\Delta \hat{y}$ между собой и с полезными сигналами на конечном отрезке времени наблюдения T процессов $\hat{x}$ и $\hat{y}$. Показано, что основным средством уменьшения случайных погрешностей решения задачи является увеличение значения T . Выведено соотношение для оценки длительности времени наблюдения в зависимости от величины допускаемой погрешности определения коэффициентов уравнения (I).

Далее в работе показано, что необходимость в дополнительной информации о выходах идентифицируемой системы отпадает, если осуществить переход из временной области в частотную. Такой переход осуществляется путем применения к уравнению (I) преобразования Фурье. Для сокращения объема вычислений используется метод быстрого преобразования Фурье.

Построен аналогичный алгоритм определения элементов матриц m , β , κ для случая, когда в качестве исходной информации об исследуемой системе служит матрица ее частотных характеристик, измеренных в N точках

$$\hat{W}(i\omega_r) = \hat{P}(\omega_r) + i\hat{Q}(\omega_r), \quad r = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

где $\hat{P}(\omega_r)$ - матрица действительных, а $\hat{Q}(\omega_r)$ - матрица мнимых частей ЧХ.

Предполагается, что ЧХ получены экспериментально и содержат погрешности измерений, т.е.

$$\hat{P} = P + \xi, \quad \hat{Q} = Q + \eta, \quad (5)$$

где P , Q - соответственно матрицы точных значений, а ξ и η - матрицы погрешностей, представляющих собой стационарные случайные последовательности, некоррелированные

между собой и с полезными сигналами.

Уравнение связи между искомыми коэффициентами уравнения (1) и матрицей ЧХ имеет вид

$$(-\pi\omega^2 + i\omega\beta + \kappa)W = E. \quad (6)$$

Здесь E — единичная матрица. В качестве критерия точности решения задачи выбрана величина функционала

$$J = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \sum_{r=1}^N |e_{jr}(\omega_r)|^2 Q(\omega_r), \quad (7)$$

где $e_{jr}(\omega_r)$ — j -й элемент матрицы невязок уравнения (6), возникающих вследствие неточности измерения значения ЧХ; $Q(\omega_r)$ — весовая матрица, введением которой можно учесть различную достоверность исходных данных. Минимизация функционала (7) осуществляется с помощью приема, аналогичному описанному выше.

При исследовании погрешностей описанного способа идентификации показано, что для получения несмещенных оценок искоемых коэффициентов необходимо располагать информацией о дисперсиях элементов матриц E , κ и η . Выведены соотношения для оценки случайных погрешностей решения задачи и для величины объема выборки N , обеспечивающей заданную точность решения задачи идентификации.

Выводы, сделанные при аналитическом исследовании точности данного способа идентификации, подтверждены результатами решения тестового примера.

Во второй главе изложен итерационный способ идентификации дискретных многомассовых механических систем по экспериментальным данным типа (2) и (4). Эти алгоритмы построены с использо-

ванием методов теории функций чувствительности.

При идентификации по временным данным ($\hat{x}$ и $\hat{y}$) критерием близости искомой модели и исследуемого объекта служит функционал

$$J = \frac{1}{T} \int_0^T [\hat{y}(t) - \ddot{y}''(t)]' \omega [\hat{y}(t) - \ddot{y}''(t)] dt, \quad (8)$$

где $\ddot{y}''(t)$ — вектор ускорений выходных координат модели,
 ω — весовая матрица

Вектор оценок искомых коэффициентов модели α'' представляется в виде

$$\alpha'' = \alpha''_{(0)} + \delta\alpha, \quad (9)$$

где $\alpha''_{(0)}$ — начальное значение вектора α'' , $\delta\alpha$ — вектор неизвестных приращений (поправок).

Далее вектор $\ddot{y}''$ раскладывается в ряд Тейлора по степеням компонент вектора $\delta\alpha$ в предположении их достаточной малости с сохранением первых двух членов

$$\ddot{y}'' \approx \ddot{y}''_{(0)} + \ddot{\theta} \delta\alpha, \quad (10)$$

где $\ddot{y}''_{(0)} = \ddot{y}''|_{\alpha=0}$ — начальное значение вектора $\ddot{y}''$,
 $\ddot{\theta}$ — матрица функций чувствительности компонент вектора $\ddot{y}''$ к изменению искомых коэффициентов. Для определения матрицы $\ddot{\theta}$ и вектора $\ddot{y}''$ составлена система дифференциальных уравнений.

Определение величин, наилучших в смысле минимума функционала, образованного после подстановки разложения (10) в выражение (8), осуществляется алгебраическим способом. Для уточнения начального значения вектора α'' построена итерационная процедура вида

$$\alpha(y) = \alpha(y-1) + \theta \alpha(y) ,$$

где y — номер итерации .

Разработан итерационный алгоритм определения оценок элементов матриц M , B , K для случая, когда исходной информацией о системе служит вектор ее экспериментальных ЧХ. _
Использование предложения об идеальности модели позволило снизить требования к точности начальных оценок искомых коэффициентов .

В результате исследования точности данного алгоритма показано , что получаемые оценки коэффициентов являются асимптотически несмещенными , если погрешности измерений компонент вектора ЧХ представляют собой стационарные случайные последовательности с нулевым средним и не коррелированы с полезным сигналом.

Получено выражение для корреляционной матрицы вектора случайных погрешностей определения оценок искомых коэффициентов и построены их доверительные интервалы. Выведено соотношение для оценки объема исходной информации (количества точек ЧХ) , необходимого для достижения требуемой точности решения задачи идентификации.

Данная схема идентификации была опробована при построении моделей натурного динамического объекта, представляющего собой шестимассовую механическую систему. В качестве исходной информации послужили ЧХ , найденные экспериментально в области первых двух собственных частот . С использованием такой информации были построены упрощенные модели (с одной и двумя сте-

пенями свободы), воспроизводящие установившееся движение отдельных масс исследуемой системы в определенных частотных диапазонах.

Из анализа результатов исследования точности рассмотренных методов идентификации вытекает, что точность получаемых оценок коэффициентов существенно зависит не только от уровня погрешностей в исходных данных, но и от обусловленности матриц решаемых систем алгебраических уравнений. При этом величины погрешностей решения задачи могут намного превосходить уровень погрешностей исходных данных. Поэтому представляет интерес разработка таких схем идентификации параметров динамических объектов, которые не приводят к решению систем уравнений с плохо обусловленными матрицами и используют всю имеющуюся информацию об исследуемом объекте (например, информацию о собственных частотах колебаний, весе и т.д.).

В третьей главе рассмотрено несколько приемов, позволяющих существенно уменьшить влияние погрешностей исходных данных на точность решения задачи идентификации, а также использовать дополнительную информацию об объекте исследования и в первую очередь информацию о его собственных частотах и формах колебаний.

Один из таких способов основан на использовании приема разложения по собственным формам колебаний. При этом компоненты вектора ЧХ системы представляются в виде линейной комбинации компонент вектора частотных характеристик, соответствующих главным координатам. Оценки элементов матрицы собственных векторов определяются по значениям ЧХ в точках фазового резо-

нанса системы .

По частотным характеристикам, соответствующим главным колебаниям системы, определяются оценки приведенных масс , демпфирований и жесткостей. Таким образом, задача идентификации системы с n степенями свободы сводится к идентификации n систем с одной степенью свободы .

Рассмотрены случаи , когда изложенный алгоритм может быть упрощен (если матрица m является диагональной или число неизвестных параметров демпфирования в системе не более n). Эффективность приведенного способа идентификации иллюстрируется результатами решения тестового примера .

Далее решена задача о частичной идентификации динамического объекта типа «железнодорожный экипаж». Расчетная схема экипажа представлена в виде упруго-вязкой балки, несущей конечное число сосредоточенных масс и опирающейся на ряд упругих опор , моделирующих пружинные комплекты рессорного подвешивания .

При решении задачи сделаны следующие предположения:

а) известны значения сосредоточенных масс и их расположение ;

б) известны относительные изменения величины изгибной жесткости кузова EJ при переходе от участка к участку (в частном случае $EJ = \text{const}$) ;

в) жесткости пружинных комплектов одинаковы или кратны ;

г) матрица коэффициента демпфирования является линейной комбинацией матриц инерционных и квазиупругих коэффициентов .

Исходной информацией о системе служат некоторые значения ее собственных частот и ЧХ в определенных частотных диапазонах .

Для определения жесткостных характеристик построена итерационная процедура с использованием функций корневой чувствительности. Нахождение коэффициентов линейной формы матрицы диссипации сведено к решению соответствующих систем алгебраических уравнений второго порядка.

Описанная схема идентификации была применена при определении параметров и построении модели реального грузового вагона. Исходной информацией об исследуемой системе послужили первые три собственные частоты колебаний и некоторые данные о его весе и геометрических размерах. Были определены оценки изгибной жесткости кузова вагона и жесткости пружинных комплектов рессорного подвешивания.

Величина отклонения оценки изгибной жесткости кузова, полученной предлагаемым способом, от оценки, полученной опытным путем, не превышает 5%. Найденные оценки жесткости пружинных комплектов рессорного подвешивания несколько выше их номинального значения, что объясняется наличием в комплектах демпферов сухого трения, приводящих к изменению собственных частот системы (в режиме движения с остановками).

В конце третьей главы описан один из возможных способов погруппового определения параметров цепочной механической системы. Необходимость построения таких моделей возникает при исследовании продольных колебаний железнодорожных составов. С помощью матричных преобразований получены соотношения, позволяющие процедуру нахождения искомых оценок параметров разбить на два этапа. Вначале определяются инерционные и жесткостные параметры, а затем параметры демпфирования. Показана возмож-

ность использования при этом информации о собственных частотах системы.

В тех случаях, когда движение системы не может быть описано в рамках обыкновенных дифференциальных уравнений или когда число таких уравнений становится большим, что затрудняет процесс построения модели, связанный с определением большого числа неизвестных коэффициентов, возникает необходимость построения математической модели исследуемого объекта как системы с распределенными параметрами.

В четвертой главе рассмотрены некоторые вопросы, связанные с построением математических моделей, пригодных для исследования продольных и крутильных колебаний стержней. Упомянутые модели могут быть использованы при исследовании переходных режимов движения железнодорожных поездов с выбранными зазорами в упряжи.

Дифференциальное уравнение продольных колебаний стержня, вызванных возмущающей нагрузкой интенсивности $g(x, t)$ записывается в виде

$$m(x) \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial x} \left[EF(x) + B(x) \frac{\partial}{\partial t} \right] \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} = g(x, t) \quad (II)$$

где $m(x)$ — интенсивность распределенной массы, $u(x, t)$ — перемещение сечения x в момент времени t , $EF(x)$ — жесткость стержня в продольном направлении (продольная жесткость), $B(x)$ — переменный по длине стержня коэффициент вязкого демпфирования.

Величины неизвестных коэффициентов $m(x)$, $EF(x)$, $B(x)$ уравнения (II) имеют произвольное распределение по длине стерж-

ня. Для их восстановления используются экспериментальные данные о перемещениях отдельных сечений стержня (или усилиях, возникающих в этих сечениях) и возмущающей нагрузке .Граничные условия предполагаются известными .

Рассмотрены вопросы применения разомкнутой и замкнутой схемы идентификации для определения неизвестных коэффициентов и проанализированы возникающие при этом трудности,связанные с нахождением величин частных производных или реакций модели путем решения уравнений (II).

Для упрощения процедуры определения реакции модели предложен прием,основанный на кусочно-постоянной аппроксимации искомых величин. Приближенные выражения для коэффициентов $m(x)$ и $EF(x)$ уравнения (II) записываются следующим образом

$$\begin{aligned} m(x) &\approx m_0 \left[1 + \sum_{i=1}^n \beta_i \sigma_0(x-a_i) \right], \\ EF(x) &\approx EF_0 \left[1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \sigma_0(x-a_i) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

где m_0 , β_i , EF_0 , α_i - постоянные величины, подлежащие определению ; $\sigma_0(x)$ - функция Хевисайда ; n - число участков разбиения ; a_i - абсциссы границ этих участков . Демпфирование в системе предполагается пропорциональным жесткости, т.е. $B(x) = \mu EF(x)$

В работах В.А.Лазаряна и С.И.Конашенко развиты методы, позволяющие получить решение уравнения (11) с коэффициентами (12) в виде ряда .

Таким образом, использование подхода, основанного на кусочно-постоянной аппроксимации искомых величин, позволяет получить решение уравнения модели в виде некоторого аналитического выражения и тем самым существенно уменьшить объем вычислений. Задача определения характеристик $m(x)$, $EF(x)$ и $B(x)$ в этом случае сводится к задаче нахождения постоянных величин $m_0, \beta_1, \dots, \beta_n, EF_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n, \mu$.

Предлагаемый способ идентификации был опробован на примере построения модели растянутого железнодорожного состава, который был сформирован из порожних и груженных вагонов. Исходными данными послужили экспериментальные записи тягового усилия, развиваемого двумя электропоездами ВЛ22^М, и продольных усилий в шести сечениях, распределенных по длине состава. Расчетная схема исследуемого объекта была выбрана в виде состоящего из двух частей неоднородного по массе упруго-вязкого стержня с грузом на конце.

В результате решения задачи идентификации были определены величины погонных масс и жесткостей отдельных участков и величина коэффициента пропорциональности μ . Реакции построенной модели (продольные усилия в отдельных сечениях стержня) на ступенчатое возмущение хорошо согласуются с результатами их определения при натурных испытаниях железнодорожного состава. Величины отклонений найденных оценок параметров от результатов их определения опытным путем не превышают 20 %.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты :

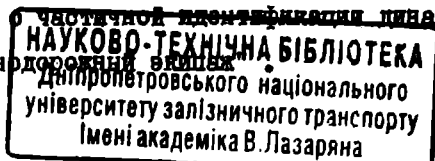
1. Разработан алгебраический способ идентификации дискретных многомассовых механических систем по экспериментальным данным (табулированным значениям $\dot{X}$ или записям ускорений на выходе системы и входных случайных возмущений). Проведено исследование точности данного способа идентификации. Проанализированы и оценены систематические и случайные погрешности решения задачи при наличии погрешностей измерений в исходных данных. Выведены соотношения для оценки объема исходной информации (длительности времени наблюдения или количества точек $\dot{X}$).

2. Построен итерационный алгоритм, пригодный для идентификации линейных и некоторых нелинейных дискретных механических систем по временным данным .

3. Разработан итерационный способ определения оценок коэффициентов уравнения (I) по табулированным значениям $\dot{X}$ идентифицируемой системы и проведено исследование его точности. Даны рекомендации по определению объема выборки исходных данных, необходимого для решения задачи с требуемой точностью .

4. Показана эффективность использования приема разложения по собственным формам при построении математических моделей механических систем, описывающих поведение транспортных экипажей . Такой подход позволяет существенно уменьшить влияние погрешности исходных данных на точность решения задачи идентификации .

5. Решена задача о частичной идентификации динамических объектов типа „железнодорожный экипаж“



6433a.

6. Предложен способ погруппового определения параметров моделей цепочных механических систем, используемых при исследовании продольных колебаний железнодорожных составов .

7. Рассмотрены вопросы построения моделей некоторых механических систем с распределенными параметрами. Разработан прием идентификации, основанный на кусочно-постоянной аппроксимации искомых величин .

8. Разработанные способы идентификации опробованы при решении тестовых примеров в условиях наличия помех или при построении моделей реальных динамических объектов (грузового вагона, железнодорожного состава и др.) .

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах

1. Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф., Шабельский В.П. Идентификация некоторых механических систем. В сб. "Техническая кибернетика", изд. ИК АН УССР, К., 1971 .

2. Лазарян В.А., Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф. Определение параметров демпфирования многомассовых механических систем по экспериментальным частотным характеристикам. Тезисы докладов республиканской конференции по проблемам конструктивного демпфирования, Рига, 1971 .

3. Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф. Вычисление состоятельных оценок спектральных плотностей и корреляционных функций случайных процессов с использованием быстрого преобразования Фурье. В сб. « Алгоритмы и программы для исследования на ЭЦВМ Минск-22 случайных колебаний дискретных механических систем » , К., 1972.

- 4.Редько С.Ф. Идентификация параметров механических систем с использованием функций чувствительности. В об. «Алгоритмы и программы для исследования на ЭЦМ «Минск-22» случайных колебаний дискретных механических систем», К., 1972 .
- 5.Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф. Об идентификации объекта по спектральным характеристикам входов и выходов .Материалы Всесоюзного симпозиума «Кибернетическая диагностика механических систем по виброакустическим процессам», Каунас, 1972 .
- 6.Крементуло Ю.В., Яковлев В.П., Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф. Статистическая оценка погрешностей при идентификации механических систем. В кн. «Третье Всесоюзное совещание по статистическим методам в процессах управления» (Вильнюс, 1973) , тезисы докладов, часть I , изд. ИПУ АН СССР, М., 1973 .
- 7.Лазарян В.А., Ушкалов В.Ф., Редько С.Ф. К вопросу об идентификации некоторых линейных механических систем .В об. «Переходные режимы движения и колебания подвижного состава».Труды ДИИТА, вып. 143, Днепропетровск, 1973 .
- 8.Редько С.Ф.Использование кусочно-постоянной аппроксимации при идентификации систем с распределенными параметрами. В об. «Дискретные системы управления», изд. ИК АН УССР, К., 1973 .

Материалы диссертации доложены :

- 1.На семинаре «Теория автоматического управления» при Научном совете по кибернетике АН УССР, Киев, 1971, 1973 .
- 2.На республиканской конференции по проблемам конструкционного демпфирования, Рига, 1972 .

3. На 6-ой Всесоюзной конференции по применению ЭВМ в строительной механике, Ленинград, 1972 .
4. На Всесоюзном симпозиуме «Кибернетическая диагностика механических систем по виброакустическим процессам», Каунас, 1972 .
5. На Третьем всесоюзном совещании по статистическим методам в процессах управления, Вильнюс, 1973 .
6. На симпозиуме «Проблемы моделирования динамики подвижного состава», Брянск, 1973 .
7. На семинарах по механике Днепропетровского отделения Института механики АН УССР и Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 1971, 1972, 1974 .

БГ-26711. Подписано к печати 5/IV-74г. Объем 1,25 п.л. Зак. 83 т. 150
ПОМ треста "Днепрогеофизика", ул. В. Дубинина, 8