На правах рукописи

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

Кротченко Владлен Ефимович

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ К ИССЛЕДОВАНИЯМ КОЛЕБАНИЙ ВАГОНОВ

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Днепропетровск-1973г.

Работа выполнена в Днепропетровском отделении Института механики АН УССР.

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки УССР, академик АН УССР, доктор технических наук, профессор В.А.ЛАЗАРЯН

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Е.П.БЛОХИН,

кандидат технических наук О.М.САВЧУК

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета.

Автореферат разослан "___"______________1973г.

Защита диссертации состоится "___"______________1973г. на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта (г.Днепропетровск-10, ул.Университетская,2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук Г.В.ГУСЕВ

Динамические расчеты играют важную роль при проектировании подвижного состава железных дорог. Рост скоростей движения, значительный вес поездов увеличивают динамические нагрузки на железнодорожный экипаж. Влияние упругих колебаний на напряженное состояние кузова вагона и его отдельных элементов растет из-за увеличения длины современных вагонов и применения в несущих элементах материалов с относительно малым модулем упругости (алюминиевые сплавы).

Вагон должен быть легким, прочным и надежным в эксплуатации. Снижение веса конструкции приводит к уменьшению запасов прочности, поэтому при проектировании вагона стремятся к тому, чтобы колебания оказывали наименьшее воздействие на вагон и перевозимый груз. Пути решения этой задачи различны: выбор наиболее рациональной длины кузова; перераспределение массы внутреннего оборудования вагона; изменение жесткости кузова; выбор более совершенной системы рессорного подвешивания; применение материалов, имеющих большое внутреннее трение.

При сравнении различных вариантов проектируемой конструкции важную роль играют аналитические методы исследования колебаний системы. Методы динамического расчета вагонов должны учитывать наиболее существенные особенности того или иного варианта проекта и обеспечить необходимую для практики точность получаемых результатов. Благодаря широкому внедрению АВМ и ЭЦВМ в инженерные расчеты, эти методы непрерывно совершенствуются.

Исследованиями колебаний железнодорожных экипажей занимались А.Н.Годыцкий-Цвирко, Н.Е.Жуковский, В.Г.Медель, В.Ф.Яворинский, С.В.Вершинский, М.В.Винокуров, И.И.Челноков, М.Ф.Вериго и др. Фундаментальную роль в области общей механики и

динамики подвижного состава сыграли работы В.А.Лазаряна, посвященные исследованиям продольной динамики поезда, колебаниям и устойчивости рельсовых экипажей, взаимодействию подвижного состава и пути.

Наиболее распространенной расчетной моделью в задачах по динамике вагонов остается одномерная механическая система. Теоретические исследования и многочисленные экспериментальные данные, накопленные в вагоностроении, судостроении, авиастроении, показывают, что пространственные конструкции, имеющие относительное удлинение более четырех, можно схематически представить в виде тонкостенных стержней переменного сечения с произвольно распределенной по длине массой и жесткостью. Выбор расчетной схемы вагона в виде неоднородного стержня оправдан, поскольку отношение длины вагона к характерному поперечному размеру составляет: восьмиосный грузовой вагон - 7, платформа для перевозки контейнеров - 7,7, удлиненный пассажирский вагон - 8,8 и т.д.

В реферируемой работе в качестве основных расчетных схем для исследования колебаний вагонов приняты упруго-вязкий стержень, либо система стержней, соединенных деформируемыми элементами. Помимо кусочно постоянных распределенных параметров, приняты во внимание сосредоточенные включения: упругие опоры, сосредоточенные и упруго-подвешенные массы, упруго-вязкие демпферы, а также различные комбинации этих включений.

При исследовании линейных колебаний стержневых систем кусочно постоянными распределенными параметрами и сосредоточенными включениям одним из наиболее перспективных методов расчета, предусматривающих использование ЭЦВМ, является метод начальных параметров. Преимущества этого метода особенно ясно

проявляются при матричной форме записи, весьма удобной для алгоритмизации расчетов. В матричной форме, независимо от степени сложности конструкции, запись формул компактна, просто выполняются промежуточные преобразования. Алгоритмы легко программируются при помощи подпрограмм матричных операций. Метод является практически точным, поскольку его погрешности определяются, в основном, степенью соответствия выбранной расчетной схемы реальной конструкции.

Развитие метода начальных параметров (обзор литературы приведен в главе I) связано с разработкой эффективных способов расчета стержневых систем. Работы В.В.Башинского, Н.П.Пузыревского, Г.Д.Дутова, Н.К.Снитко посвящены различным способам построения универсальной формулы упругой линии балки при помощи начальных условий.

Исчерпывающее математическое обоснование представления формулы упругой линии через начальные условия принадлежит А.Н.Крылову. Опираясь на работы А.Н.Крылова, В.П.Манжаловский, А.А.Уманский, В.А.Киселев, П.Ф.Папкович, Ш.Е.Микеладзе получили обобщенное решение задачи об упругой линии балки при различных краевых условиях, произвольных сосредоточенных и распределенных нагрузках и впервые в мировой литературе сформулировали основные положения метода начальных параметров.

В работах А.Н.Крылова, Н.И.Безухова, В.Г.Чудновского метод начальных параметров применен для динамических расчетов сооружений. И.А.Биргер, Г.Фурье показали, что уравнения этого метода можно представить в матричной форме.

В настоящее время матричная форма метода начальных параметров является одним из наиболее распространенных машинных способов расчета стержневых систем.

Наряду с несомненными преимуществами матричная форма метода обладает серьезным недостатком: уравнения метода утратили свою однотипность. Помимо передаточной матрицы участка стержня без включений для каждого вида сосредоточенного включения записываются специальные матрицы - матрицы жесткости, массы и т.д. Это нарушает однотипность вычислительных операций, усложняет алгоритмы и программы.

Матричная форма метода начальных параметров не учитывает неупругое сопротивление системы. При исследованиях собственных колебаний стержневых систем обычно предполагают, что демпфирование одинаково на всех участках стержня и что фазы колебаний всех точек колеблющейся системы совпадают. Основанное на этом допущении "огрубление" расчетной схемы существенно упрощает задачу. Поскольку в реальных конструкциях не только масса и жесткость, но и демпфирование неоднородно по длине, колебания отдельных участков отличаются и величиной амплитуды, и фазой колебаний. Поэтому в реферируемой работе для исследования колебаний неоднородных стержневых систем принято во внимание произвольно распределенное по длине неупругое сопротивление.

Анализ возможностей матричной формы метода начальных параметров позволил наметить следующие цели работы:

I. Составить в общей форме передаточную матрицу участка неоднородной стержневой системы с различными видами включений. Ввести в рассмотрение сосредоточенное включение универсального типа, коэффициент динамической жесткости которого в каждом частном случае определяется видом включения.
2. При исследованиях собственных колебаний стержневых

систем оценить влияние произвольно распределенного по длине демпфирования. Ввести в матричную форму метода начальных параметров неупругое сопротивление.

3. Разработать алгоритмы по исследованию собственных колебаний диссипативных неоднородных стержневых систем при помощи унифицированных передаточных матриц.
4. Проверить разработанные алгоритмы и программы при расчетах колебаний вагонов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Объем работы 148 стр., включая 15 рисунков, 14 таблиц, перечень использованной литературы из 80 наименований.

Во второй главе излагаются особенности предложенной модификации метода начальных параметров применительно к неоднородным диссипативным стержневым системам с сосредоточенными включениями. Для исследования таких систем во внимание принято рассеяние энергии на основании гипотез Фойгта и Е.С.Сорокина в обобщенном виде, т.е. предполагается, что неупругое сопротивление меняется вдоль стержня по произвольным законам. Заменив эти зависимости некоторой ступенчатой функцией, разделим стержень на участки, в пределах которых масса, жесткость и демпфирование осреднены и приняты постоянными. Для такой кусочно постоянной стержневой системы задача о продольных колебаниях, например, приводится к уравнению

$$E_jF_j\left(1+\mu_j\frac{\partial}{\partial t}\right)\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}-\rho_jF_j\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=0 \qquad (1)$$

где E_jF_j, ρ_j, μ_j – продольная жесткость, плотность и коэффициент вязкого трения j-го участка стержня.

Решение уравнения (I) представляется в форме, общей для всех участков,

$$u(x,t)=\sum_{\lambda=1}^{\infty} u_\lambda(x) e^{(-\lambda_\lambda + i\omega_\lambda)t} \tag{2}$$

Частное решение уравнения $U_\lambda(x)$ зависит от произвольной константы λ определяемой краевыми условиями задачи.

Подставив решение (2) в уравнение (I) получим уравнение фундаментальных функций задачи

$$U_\lambda''(x) + \frac{\lambda^2}{l^2} U_\lambda(x) = 0, \qquad \frac{\lambda^2}{l^2} = \alpha_j \frac{\rho\,\omega_\lambda}{E_j} \tag{3}$$

При малом демпфировании ($\gamma \ll 1$) коэффициент α_j имеет вид

$$\alpha_j = \frac{1 + i\gamma_\lambda}{1 + i\gamma_j} \qquad \gamma = \frac{\delta}{\pi}$$

δ - декремент колебаний.

Если демпфирование одинаково на всех участках стержня, то уравнение (3) есть уравнение колебаний идеально упругого стержня ($\alpha_j = 1$), а собственные значения λ - вещественные числа. Если $\gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \gamma_j$ то собственные числа и собственные векторы задачи - комплексные величины. В диссертации показано, что неоднородное по длине неупругое сопротивление искажает формы собственных колебаний: отдельные участки стержня колеблются не только с различными амплитудами, но и с различными фазами.

Стержневые системы могут иметь сосредоточенные включения в распределенные параметры: жестко-присоединенные и упруго-подвешенные массы, упругие опоры, демпферы и т.д. Для исследования колебаний таких систем в реферируемой работе использована аналогия между колебаниями стержней с включениями и колебаниями стержней на фиктивных опорах. Дополнительное воздействие на стержень пропорционально перемещению сечения, к которому присоединена фиктивная опора. Коэффициенты динамической жесткости выражены через упругие и инерционные характеристики включения и в общем виде входят в дифференциальное уравнение колебаний стержня. Например, для стержня с включениями, совершающего поперечные колебания, дифференциальное уравнение j-го участка записывается в виде

$$E_j J_j \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \rho_j F_j \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = -\sum_{q=1}^{m} c_q v(x_q,t)\delta_1(x-x_q). \qquad (4)$$

Коэффициенты динамической жесткости c_q заданы или определяются из условий динамического равновесия. Автором рассмотрено универсальное сосредоточенное включение, состоящее из упруговязкой опоры, жестко-присоединенной к стержню массы и упругоподвешенной массы с вязким демпфером. Заданием соответствующих параметров формируется включение определенного типа. Например, для включения, состоящего из упругой опоры C, сосредоточенной M и упруго подвешенной ($\omega^2 = \frac{K}{m}$) масс, коэффициент динамической жесткости имеет вид

$$c_q = c - M\omega_\lambda^2 + K\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_\lambda^2}\right)^{-1}$$

Подстановка частного решения вида

$$v(x,t) = Y_\lambda(x)\, e^{i\omega_\lambda t}$$

в уравнение (4) дает уравнение форм колебаний

$$Y_\lambda^{IV}(x) - \frac{k^4}{\ell^4} Y_\lambda(x) = -\sum_{q=1}^{m} \frac{c_q}{E_j J_j} Y_\lambda(x_q)\, \sigma_1(x - x_q), \qquad (5)$$

$$\frac{k^4}{\ell^4} = \frac{\rho_j F_j \omega_\lambda^2}{E_j J_j}$$

Решение уравнения (5) найдено операционным методом. Последовательно выражены $Y_\lambda(x_q)$ через начальные параметры для соответствующего участка стержня, составлены уравнения метода начальных параметров в матричной форме. Если в пределах участка три сосредоточенных включения, то вектор обобщенных перемещений и усилий $\eta(x)$ определяется вектором начальных параметров $\eta(0)$ и передаточной матрицей $[B]$:

$$\eta(x) = [B]\,\eta(0)\ ,$$

$$[B] = [F(x)] - \sum_{q=1}^{3} \tilde{c}_q \{G(x-x_q)\} \lfloor H(x_q) \rfloor +$$

$$+ \sum \tilde{c}_m \tilde{c}_n\, V(x_n - x_m) \{G(x-x_n)\} \lfloor H(x_m) \rfloor -$$

$$- \tilde{c}_1 \tilde{c}_2 \tilde{c}_3\, V(x_3 - x_2)\, V(x_2 - x_1) \{G(x-x_3)\} \lfloor H(x_1) \rfloor ,$$

$$(m = 1,2 \quad n = 2,3);$$

$$\{G(x-x_q)\} = \begin{bmatrix} V(x-x_q) \\ k\,U(x-x_q) \\ k^2 T(x-x_q) \\ k^3 S(x-x_q) \end{bmatrix} \qquad \tilde{c}_q = \frac{c_q}{k^3}$$

$$[F(x)] = \begin{bmatrix} S(x) & \frac{1}{K}T(x) & \frac{1}{K^2}U(x) & \frac{1}{K^3}V(x) \\ K\,V(x) & S(x) & \frac{1}{K}T(x) & \frac{1}{K^2}U(x) \\ K^2U(x) & K\,V(x) & S(x) & \frac{1}{K}T(x) \\ K^3T(x) & K^2U(x) & K\,V(x) & S(x) \end{bmatrix}$$

$$\lfloor H(x_q)\rfloor = \left[S(x_q) \quad \frac{1}{K}T(x_q) \quad \frac{1}{K^2}U(x_q) \quad \frac{1}{K^3}V(x_q)\right]$$

Если принять во внимание инерцию вращения масс сечений, деформацию сдвига, продольную силу, неупругое сопротивление, то фундаментальные функции задачи определяются уравнением

$$Y_\lambda^{IV}(x) + \frac{A^2}{\ell^2}Y_\lambda''(x) - \frac{K^4}{\ell^4}Y_\lambda(x) = -\sum_{q=1}^{m}\frac{c_q\xi_\delta}{EJ}Y_\lambda'(x_q)\,\sigma_1(x-x_q) + $$
$$+\sum_{j=1}^{m}\frac{a_j\xi_\delta}{EJ}Y_\lambda'(x_j)\,\sigma_2(x-x_j),$$

где $A^2 = \xi_\delta\left[K_T + K_\lambda^4 K_J \xi_A (1-K_G)\right],$

$$K^4 = \xi_\delta \xi_A K_\lambda^4\left[1 - K_\lambda^4 K_J^2 K_G \xi_A\right],$$

$$K_\lambda^4 = \frac{\rho F\omega_\lambda^2\ell^4}{EJ}, \quad K_J = \frac{J}{F\ell^2}, \quad K_T = \frac{T\ell^2}{EJ}, \quad K_G = \frac{E}{K_F G},$$

$$\xi_A = 1 - \frac{\delta^2}{4\pi^2} + i\frac{\delta}{\pi} \qquad \xi_\delta = \left(1 - \frac{\delta\delta_\lambda}{2\pi^2} + i\frac{\delta}{\pi}\right)^{-1}$$

В этом случае элементами передаточной матрицы $[B]$ являются функции

$$S(x) = (\lambda_1^2+\lambda_2^2)^{-1}\left(\lambda_2^2\, ch\frac{\lambda_1 x}{\ell} + \lambda_1^2\cos\frac{\lambda_2 x}{\ell}\right),$$

$$T(x) = (\lambda_1^2+\lambda_2^2)^{-1}\left(\frac{\lambda_2^2}{\lambda_1}\, sh\frac{\lambda_1 x}{\ell} + \frac{\lambda_1^2}{\lambda_2}\sin\frac{\lambda_2 x}{\ell}\right),$$

$$U(x) = (\lambda_1^2+\lambda_2^2)^{-1}\left(ch\frac{\lambda_1 x}{\ell} - \cos\frac{\lambda_2 x}{\ell}\right),$$

$$V(x) = (\lambda_1^2+\lambda_2^2)^{-1}\left(\frac{1}{\lambda_1}\, sh\frac{\lambda_1 x}{\ell} - \frac{1}{\lambda_2}\sin\frac{\lambda_2 x}{\ell}\right),$$

$$\lambda_1^2 = -\frac{A^2}{2} + \sqrt{\frac{A^4}{4} + K^4}$$

$$\lambda_2^2 = \frac{A^2}{2} + \sqrt{\frac{A^4}{4} + K^4}$$

При $K_э = K_т = 0$, $\xi_\delta = \xi_A = 1$ $\lambda_1 = \lambda_2$ и функции $S(x)$, $T(x)$, $U(x)$, $V(x)$ приводятся к функциям А.Н.Крылова с соответствующими коэффициентами.

Объединение метода динамических жесткостей и матричной формы метода начальных параметров позволило получить общее решение задачи о колебаниях стержня с кусочно-постоянными распределенными параметрами и с включениями различных видов. При любых видах из рассмотренного класса включений разыскивается интеграл только одного дифференциального уравнения.

В диссертации показано, что применение обобщенных функций позволяет объединить передаточную матрицу участка стержня с распределенными параметрами и матрицу включения, а введение включения универсального типа позволяет составить в общей форме передаточную матрицу для участков стержня с различными видами включений. Вектор обобщенных перемещений и усилий в любом сечении стержня определяется вектором начальных параметров и унифицированной передаточной матрицей.

В главе III развивается и детализируется модификация метода начальных параметров в матричной форме применительно к исследованию вагонных конструкций. Расчетные схемы исследуемых конструкций представлены либо в виде неоднородного стержня с кусочно-постоянными распределенными параметрами, либо в виде стержневой системы, т.е. нескольких неоднородных стержней, сое-

диненных последовательно или параллельно деформируемыми связями. Приняты во внимание включения в распределенные параметры рассматриваемых систем. Чтобы приблизить расчетную схему к реальной конструкции, принято во внимание неупругое сопротивление по гипотезам Фойгта и Е.С.Сорокина в обобщенном виде. В качестве расчетной схемы рассмотрен также неоднородный тонкостенный стержень закрытого профиля.

Для стержневых систем с большим числом неоднородных участков при помощи предложенной в работе модификации метода начальных параметров получено решение в замкнутой форме и построены алгоритмы для исследования собственных продольных, крутильных и поперечных колебаний. При исследовании собственных поперечных колебаний неоднородных стержневых систем приняты во внимание: инерция вращения масс сечений, деформация сдвига, продольные статические силы, вторые производные реакций сосредоточенных включений по времени и пространственной координате.

В главе IУ разработаны алгоритмы для исследования переходных процессов движения диссипативных стержневых систем. При этом учтено влияние внутренних сил сопротивления на искажение форм колебаний и на затухание колебаний во времени. Такой способ учета демпфирования является более точным по сравнению с другими методами (разложение решения по собственным формам идеально упругой системы или дискретизация расчетной схемы). Уточнены условия ортогональности фундаментальных функций задачи о колебаниях диссипативных стержней с некоторыми видами сосредоточенных включений.

Условие ортогональности получено для комплексно-сопряженных векторов с некоторой весовой функцией, определяемой видом сосредоточенного включения.

Рассмотрены собственные продольные и поперечные колебания неоднородных стержневых систем, возникающие вследствие заданных начальных возмущений. Решение разыскивается при помощи разложения по комплексным формам колебаний диссипативной стержневой системы. Получено решение для продольных колебаний неоднородных стержней под действием возмущающей силы произвольного вида. На основании этого решения построены зависимости динамического коэффициента при действии сил малой продолжительности для различных величин неупругого сопротивления. По некоторым разработанным алгоритмам созданы программы для ЭЦВМ "Урал-3", "Минск-22", "М-220".

На основании составленных программ проведена проверка разработанных алгоритмов при решении некоторых задач о колебаниях вагонных конструкций.

В пятой главе приведены результаты расчетов собственных поперечных колебаний кузова цельнометаллического грузового вагона, собственных поперечных колебаний длинномерного груза, транспортируемого в вагоне, либо на платформе; собственных продольных колебаний неоднородного грузового поезда.

Анализ собственных поперечных колебаний кузова вагона позволил уточнить расчетную схему и оценить совместное влияние различных особенностей модели конструкции (инерция вращения, деформация сдвига, продольные силы и т.д.) на частоты и формы колебаний. Выяснено, что эти влияния незначительно сказываются на первых двух формах поперечных колебаний (подпрыгивание и галлопирование кузова вагона) но существенны для изгибных колебаний. Наибольшее влияние на изгибные колебания оказывают инерция вращения и деформация сдвига. Поправки для частоты I тона изгибных колебаний составляют: с учетом инерции

вращения - 2,17%, с учетом инерции вращения и деформации сдвига - 7,23%; соответственно для частоты II тона: с учетом инерции вращения - 4,83%, с учетом инерции вращения и деформации сдвига - 16,7%. Менее существенно влияние вторых производных реакций сосредоточенных включений по времени и пространственной координате, поправка составляет 0,44% для I тона изгибных колебаний и 2,2% - для II тона. Практически не влияют на частоты и формы изгибных колебаний допускаемые по условиям эксплуатации подвижного состава продольные силы. Изменение продольной силы в диапазоне 10-200 т привело к незначительному изменению частот изгибных колебаний (менее 0,1% для I тона).

При исследовании собственных поперечных колебаний кузова вагона и длинномерного груза, транспортируемого в вагоне или на платформе, установлено, что характер распределения демпфирования по длине и демпфирование в сосредоточенных включениях оказывают существенное влияние на фазу колебаний. При некоторых значениях декремента колебаний, характерных для исследуемых конструкций, меняется знак фазы колебаний.

Достаточная точность полученных решений подтверждается результатами электронного моделирования поперечных колебаний цельнометаллического грузового вагона, полученными в ДИИТе и экспериментальными данными КВЗ по натурным испытаниям этого вагона.

В ы в о д ы

1. Для исследования колебаний вагонов как упругих конструкций обычно применяют расчетные схемы в виде неоднородных по массе и жесткости стержней. В реферируемой работе рас-

смотрены более общие и более близкие к реальным системам расчетные схемы. Приняты во внимание не только неоднородные по длине масса и жесткость конструкции, но и произвольно распределенное по длине демпфирование. Помимо распределенных параметров, учтены сосредоточенные включения-комбинации жестко-присоединенных или упруго-подвешенных масс, упруго-вязких опор, демпферов и т.д.

2. Анализ колебаний таких систем, практически не осуществимый обычными приемами расчетов, может быть выполнен при помощи предложенной в работе модификации матричной формы метода начальных параметров. Существо модификации состоит в том, что: I) в расчетные уравнения метода введены неупругие сопротивления; 2) для участков, неоднородного стержня с различными видами включений передаточная матрица составляется в общей форме.

3. В реферируемой работе показано, что при решении задач о собственных продольных, крутильных и поперечных колебаниях вагонов модификация метода начальных параметров упрощает выкладки, связанные с учетом разнообразных сосредоточенных включений. Однотипность приемов расчета, универсальный характер передаточной матрицы участка стержня обусловили методическую простоту алгоритмов, компактность и гибкость программ для ЭЦВМ.

4. При исследовании переходных режимов движения вагонов, вызванных начальными возмущениями, перемещения и усилия в сечениях конструкции разыскиваются разложением в ряд по собственным фундаментальным функциям задачи. Используемая при этом модификация метода начальных параметров позволяет оценить влияние неоднородного по длине демпфирования на ампли-

туду и фазу колебаний.

5. На основании разработанной модификации метода начальных параметров исследованы собственные поперечные колебания кузова вагона и длинномерного груза, транспортируемого в вагоне или на платформе, собственные продольные колебания неоднородного поезда. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с данными, полученными при электронном моделировании и при натурных испытаниях. Это дает основание рекомендовать модификацию метода начальных параметров и разработанные на ее основе матричные алгоритмы для практических расчетов колебаний вагонов.

Основное содержание диссертации изложено
в следующих работах:

1. Обобщение матричных методов расчета колебаний на стержневые системы с сосредоточенными включениями. В кн."Материалы юбилейной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина", МО, 1970.

Определение частот и форм собственных поперечных колебаний стержня с сосредоточенными включениями, Прикладная механика, т.УП, вып.6, 1971 (в соавторстве с В.А.Лазаряном).

3. Применение ЭЦВМ для исследования переходных процессов движения диссипативных стержневых систем. В кн."Материалы конференции по применению ЭЦВМ в строительной механике", Л., 1972 (в соавторстве с С.П.Федий).

4. О применении метода начальных параметров к расчету собственных поперечных колебаний вагона с грузом, Тр.ДИИТа, вып.128, 1972 в соавторстве В.А.Лазаряном).

Материалы диссертации доложены:

1. На III юбилейной научной конференции Саратовского высшего командно-инженерного училища, г.Саратов, 1969.
2. На УП Всесоюзной конференции по применению ЭЦВМ в строительной механике, г.Ленинград, 1972.
3. На совещании "Некоторые задачи механики скоростного рельсового транспорта", г.Днепропетровск, 1972.
4. На заседаниях семинара по механике Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, 1970.
5. На юбилейной научно-технической конференции Днепропетровского института инженеров транспорта г.Днепропетровска., 1972.

Подписано к печати 22.III.73.
БТ 21828, объем 1 п. л.
БКМП ВЦ, заказ 208, тираж 200 экз.