

МПС СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ИМЕНИ М. И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

УДК 625.2:534.1

ШЕРСТЮК Алла Константиновна

**ДИНАМИЧЕСКАЯ НАГРУЖЕННОСТЬ ВАГОНОВ
ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ**

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 — 1984

Работа выполнена в Институте технической механики Академии наук Украинской ССР.

- Научный руководитель - доктор технических наук
профессор Ушкалов В.Ф.
- Научный консультант - кандидат технических наук
старший научный сотрудник
Резников Л.М.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук
профессор Хусидов В.Д.,
кандидат технических наук
доцент Барбас И.Г.
- Ведущее предприятие - Днепропетровский вагоностроитель-
ный завод им. газеты "Правда".

Защита состоялась *5 октября* 1984 г. в *14* час. на заседа-
нии специализированного совета К II4.07.01 в Днепропетровском ор-
дена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожно-
го транспорта им. М.И. Калинина (320629, г. Днепропетровск, ГСП,
ул. Акад. Лазаряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан *30 августа* 1984 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук
доцент

Петрович Л.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Интенсификация народного хозяйства, намеченная в "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года", ставит перед транспортным машиностроением серьезные задачи, к числу которых относится увеличение конструкционных скоростей и грузоподъемности вагонов, повышение надежности и долговечности конструкций с одновременным снижением материалоемкости и потребления энергии.

4856a

Для успешного решения этих задач необходимо улучшение качества проектирования, предполагающее дальнейшее совершенствование существующих и разработку новых эффективных методов исследования динамической нагруженности транспортных экипажей. Особую актуальность эти работы приобретают в связи с тенденцией увеличения базы грузовых вагонов, так как вследствие пониженной погонной изгибной жесткости в надрессорном строении таких экипажей возможно появление значительных динамических напряжений, от которых зависят долговечность конструкции. Большинство грузовых вагонов, в том числе и длиннобазных, эксплуатируются на тележках, имеющих в рессорном подвешивании фрикционные демпферы. Это существенно нелинейные элементы, особенности работы которых необходимо также учитывать при оценке нагруженности экипажей.

Цель исследований состоит в разработке эффективных алгоритмов динамического расчета транспортных экипажей при детерминированных и случайных воздействиях со стороны пути, развития способов анализа вынужденных колебаний конструкций с фрикционными демпферами, оценке и прогнозировании нагруженности несущих элементов конкретных экипажей с удлиненной базой.

Днепропетровский
институт инженеров
желез. дор. транспорта
им. М. И. Калинина
БИБЛИОТЕКА

Научная новизна данной работы заключается в следующем. Разработаны эффективные алгоритмы исследования динамической нагруженности многомассовых систем, основанные на использовании особенностей структуры моделей транспортных экипажей, при этом неоднородно демпфированные системы представлены в виде однородно демпфированных подсистем, соединенных между собой упруго-диссипативными элементами. Описанные алгоритмы построены для нескольких типовых расчетных схем системы "экипаж-путь". Разработан принцип построения периодических режимов колебаний в системах, содержащих фрикционные демпферы. Этот принцип применен для систем с двумя демпферами кулонова трения, моделирующих транспортные экипажи. Построены алгоритмы для гармонического возмущения, а также периодических последовательностей кратковременных возмущений, описывающих воздействия от отыковых неровностей пути. Проведен анализ уровня и распределения по конструкции динамических напряжений при различных вариантах нагрузки, параметров и конфигурации рам конкретных длиннобазных вагонов.

Практическое значение работы состоит в том, что на стадиях проектирования и доработки опытных образцов произведено прогнозирование динамических напряжений в конструкциях длиннобазных контейнерной и универсальной платформ, длиннобазного вагона для перевозки сыпучих грузов. На основании результатов теоретических исследований сформулированы рекомендации по выбору рациональных сечений продольных элементов этих экипажей.

Внедрение результатов. Полученные результаты прогнозирования динамических напряжений использованы при создании серийной контейнерной платформы, опытных образцов длиннобазных универсальной платформы и вагона для перевозки сыпучих грузов на Днепродзержинском, Стахановском и Абаканском вагоностроительных заводах. Экономический эффект от внедрения подтверждается соответ-

вущими документами. Разработанные алгоритмы и программы для ЭВМ используются в ИТМ АН УССР при теоретических исследованиях динамических процессов в рельсовых экипажах.

Апробация. Основные результаты работы доложены на первой республиканской конференции молодых ученых - железнодорожников (Днепропетровск, 1969), конференции по применению ЭЦВМ в строительной механике (Ленинград, 1972), симпозиуме по новым методам расчета на прочность и жесткость (Николаев, 1972), III конференции по механике управляемых систем (Иркутск, 1978), на научно-технических совещаниях по механике скоростного транспорта (Днепропетровск, 1972, 1974), Всесоюзном совещании "Проблемы механики наземного транспорта" (Днепропетровск, 1977), VIII Всесоюзном совещании по проблемам управления (Таллин, 1980), городском семинаре "Общая механика" (Днепропетровск, 1983), Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта" (Днепропетровск, 1984).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 20 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из четырех глав, введения, заключения и приложений. Она содержит 116 страниц машинописного текста, 37 рисунков, 5 таблиц, список литературы из 145 наименований.

Структура работы обусловлена необходимостью последовательного описания математических моделей, методов решения, а также применения этих методов для оценки нагруженности конкретных дланно-базных экипажей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность решаемой проблемы, сформулированы цели работы, изложены новизна и практическая значимость проведенных исследований, а также основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе описаны основные этапы в изучении проблемы оценки динамической нагруженности вагонов. Дан краткий обзор методов исследований детерминированных и случайных колебаний линейных (или линеаризованных) многомассовых моделей транспортных экипажей, методов построения периодических режимов колебаний в системах с кулоновым трением, моделирующим трение в фрикционных демпферах.

Теоретические основы динамики подвижного состава были заложены в работах А.М. Годыцкого-Цвирко, Н.Е. Жуковского, В.А. Лазаряна, Г. Марье, В.Б. Меделя, Н.П. Петрова, С.П. Тимошенко. Большой вклад в развитие методов исследования колебаний подвижного состава и пути внесли Е.П. Блохин, С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, В.Д. Данович, А.А. Камаев, В.А. Камаев, С.И. Конашенко, М.Л. Коротенко, Н.Н. Кудрянцев, С.М. Куценко, А.А. Львов, Л.А. Манашкин, М.М. Соколов, Н.Д. Хусидов, И.И. Чалюков, Ф. Картер, А.де Патер, А. Умкено и многие другие.

Начиная с 50-х годов в практику исследования динамических качеств железнодорожных экипажей стали внедряться вероятностные методы. Развитию статистической динамики рельсовых экипажей способствовали работы Г.П. Бурчака, М.Ф. Верига, Л.О. Грачевой, А.Н. Когана, И.П. Исаева, А.Н. Савоськина, Т.А. Тибилова, В.Ф. Ушкорова, Е.Н. Лоу, О. Креттек и др.

Для исследования случайных колебаний рельсовых экипажей применяется, как правило, частотный подход, согласно которому

приходится многократно вычислять частотные характеристики (ЧХ) системы в заданном диапазоне частоты воздействия. С увеличением числа степеней свободы рассматриваемых систем объем вычислений сильно возрастает, поэтому многие работы связаны с поиском рациональных способов вычисления ЧХ. Для определения ЧХ в замкнутом виде удобным является способ разложения решения по собственным формам колебаний. Особенно эффективен такой способ для систем с демпфированием, распределенным пропорционально жесткостным и (или) инерционным характеристикам. Однако расчетные схемы транспортных экипажей представляют собой неоднородно демпфированные системы, так как отдельные части экипажа и путь имеют различные параметры неупругого сопротивления. Колебания таких систем описываются дифференциальными уравнениями с непропорциональным трением. Для разложения решения по формам колебаний, которые в этом случае являются комплексными, приходится предварительно решать проблему собственных значений несимметричной матрицы удвоенного порядка, что также требует большого объема вычислений. Одним из направлений поисков рациональных алгоритмов расчета является разработка приемов представления неоднородно демпфированной системы в виде однородно-демпфированных подсистем, соединенных упруго-диссипативными элементами. Эти приемы позволяют производить разложение решений по вещественным формам колебаний свободных подсистем. На основе такого подхода в данной работе разработаны алгоритмы исследования случайных колебаний экипажей с однократным и двойным рессорным подвешиванием с учетом и без учета инерционных свойств пути.

Указанные подходы разработаны для расчета линейных моделей экипажей. Совместное применение линеаризации и описанных выше методов позволяет получать приближенные результаты и для экипажей с фрикционными демпферами. Однако такие результаты далеко не

всегда являются приемлемыми.

Погрешность результатов, полученных приближенными методами, может быть оценена путем численного интегрирования нелинейных уравнений при случайных реализациях возмущений или точными методами расчета нелинейной системы при детерминированных возмущениях заданного вида с усредненными значениями параметров. Разработка точных методов построения периодических колебаний необходима также для описания специфических режимов колебаний, которые характеризуются тем, что в течение некоторого интервала времени трущиеся поверхности демпферов кулонова трения оказываются сцепленными, при этом изменяется число степеней свободы или, как говорят, структура системы. В рамках данной работы развивается подход, основанный на построении точных решений при детерминированных периодических возмущениях. Обзор опубликованных работ показал, что наиболее интенсивные исследования динамики систем с кулоновым трением или, другими словами, релейных систем ведутся в теории автоматического регулирования. В осуществляемых ныне методах анализа кусочно-линейных систем, к которым относятся системы с кулоновым трением, необходимо заранее задаваться типом периодического решения, определяющим последовательность сменяющих друг друга дифференциальных уравнений линейных систем. При этом возникают вопросы предельно возможного числа периодических режимов колебаний, отбора режима и затем проверки исходных предположек.

В данной работе предложен принцип построения решения, позволяющий обойти эти трудности.

Выполненный обзор современного состояния решаемой проблемы позволил сформулировать конкретные задачи, поставленные в работе.

Во второй главе рассматриваются случайные колебания линейных и линеаризованных систем, моделирующих транспортные экипажи. Для оценки уровня и распределения перемещений, ускорений и напряжений в элементах надрессорного строения последнее необходимо представлять в виде упругой механической системы. В данной работе — это упругие балки или системы перекрестных балок с сосредоточенными массами. В целом расчетные схемы представлены в виде систем, составленных из однородно демпфированных подсистем с конечным числом степеней свободы, соединенных между собой упруго-диссипативными связями. Неупругое сопротивление в подсистемах и связях учитывается по гипотезам Сорокина и Фойгта.

В работе получены формулы для вычисления ЧХ и спектральных плотностей перемещений, ускорений и напряжений в сечениях надрессорного строения при заданных спектральных плотностях воздействия. В уравнениях колебаний левые части, соответствующие отдельным подсистемам, не связаны друг с другом, усилии в связях перенесены в правые части. Разложение решения производится по вещественным нормальным формам колебаний свободных подсистем, при этом ЧХ всей системы выражаются через ЧХ отдельных элементов и подсистем. Алгоритмы вычисления ЧХ построены для расчетных схем экипажей с одинарным и двойным рессорным подвешиванием. Получены выражения ЧХ для расчетных схем, учитывающих инерционные свойства основания. При этом рельсовый экипаж представляется в виде механической системы, движущейся с постоянной скоростью по балке, лежащей на инерционном деформируемом основании. Для описания инерционных свойств основания использовалась гипотеза В.З. Власова. В качестве возмущений рассматривались неровности, не зависящие от характеристик экипажа и физических параметров пути. В связи с этим принято предположение, что на разные входы поступа-

ет одно и то же возмущение, но о некоторым транспортным запаздыванием.

Получены формулы для определения напряжений, возникающих при изгибных колебаниях экипажей. Один из способов основан на методе овл. Динамические напряжения вычисляются как произведения матрицы влияния на вектор внешних сил, к разряду которых относятся также фактивные силы инерции. Элементы матрицы влияния представляют напряжения в заданных сечениях при действия единичных сил, последовательно прикладываемых по направлению обобщенных координат.

В ряде случаев целесообразно использовать предложенный в работе другой подход к определению напряжений, основанный на методе перемещений. Напряжения определяются умножением вектора обобщенных координат на матрицу влияния, которая вычисляется путем статистического расчета при единичных смещениях дополнительных опор в основной системе. Это означает, что матрица влияния может быть построена в процессе вычисления квазиупругих коэффициентов.

Последний способ определения напряжений позволяет охватить случаи, когда неупругое сопротивление неодинаково в разных частях балок, входящих в состав расчетной схемы. При составлении уравнений колебаний вводятся дополнительные обобщенные координаты, включающие линейные и угловые смещения масс, сосредоточенных в местах соединения частей с различными неупругими сопротивлениями. Это позволяет в основной системе метода перемещений статический расчет каждой части производить отдельно, что необходимо для формирования матриц квазиупругих и диссипативных коэффициентов, а также матрицы влияния.

Весьма важной характеристикой при оценке долговечности конструкций является среднее число превышений в единицу времени динамическими случайными напряжениями задаваемых уровней. Если случайные напряжения имеют нормальный закон распределения, то для определе-

ния среднего числа выбросов можно воспользоваться формулой Райса. В работе предлагается алгоритм определения среднего числа выбросов случайных процессов, закон распределения которых отличен от нормального.

В третьей главе изложен эволюционный принцип построения периодических решений в системах с кулоновым трением, моделирующим трение в фрикционных демпферах. Этот принцип основан на сочетании процедуры припасовывания и метода продолжения по параметру. Вместо отыскания решения для требуемых значений параметров прослеживается эволюция периодического режима колебаний от тех значений параметров, при которых решение известно, до заданных величин. Такой принцип отыскания решений позволяет выделять в пространстве параметров области существенно различных режимов движения и соответствующим образом изменять уравнения припасовывания. Численная реализация алгоритма связана с переходом от трансцендентных уравнений припасовывания к обыкновенным дифференциальным (эволюционным) уравнениям, для которых решается задача Коши. В качестве аргумента дифференцирования выбран параметр кулонова трения. Предполагается, что при нулевом значении аргумента нелинейная система переходит в линейную колебательную систему с известным периодическим решением. Параметры решения выполняют роль начальных значений задачи Коши для эволюционных уравнений. Описанная переформулировка задачи избавляет от необходимости предкалывания возможного типа колебаний для заданных значений параметров системы.

Данный алгоритм апробирован на системе с двумя демпферами сухого трения, представляющей простейшую модель транспортного экипажа. При построении решений рассматривались несколько типов кинематических возмущений, поступающих на разные входы с транспортным запаздыванием, — гармонические, периодические последова-

тельности мгновенных импульсов или кратковременных возмущений вида сдвинутой косинусоиды.

Предлагаемый принцип построения решения распространен на многомассовые системы с двумя демпферами кулонова трения. Алгоритмы анализа вынужденных колебаний такой системы построены для гармонического возмущения и периодической последовательности мгновенных импульсов, моделирующих воздействия от стыковых неровностей пути.

В процессе исследования установлено, что граничные поверхности, разделяющие пространство параметров на области с различными режимами движения, образуются бифуркационными значениями параметра сухого трения. Построить бифуркационную поверхность можно, прослеживая эволюцию решения при изменении параметра сухого трения для каждой совокупности параметров системы. Такой способ является трудоемким. В данной работе показано, что пользуясь эволюционным принципом, можно строить границы непосредственно, решая соответствующую граничному режиму систему уравнений. Такая система получается присоединением условий бифуркации решения к уравнениям припасовывания соответствующего режима колебаний.

В четвертой главе описаны результаты исследований колебаний специализированной длиннобазной платформы для перевозки большегрузных контейнеров, универсальной длиннобазной платформы, длиннобазного вагона для перевозки сыпучих грузов (муки или полимеров).

В расчетах рассматривались линейные и линеаризованные расчетные схемы экипажей. На основе разработанных алгоритмов были оценены прочностные качества конструкций и выданы рекомендации по уменьшению динамических напряжений в наиболее опасных сечениях рам экипажей. Исследования проводились для различных моделей вход-

ных возмущений. Уровень динамических напряжений сравнивался с данными ходовых испытаний.

Наиболее подробно описаны исследования контейнерной платформы. При ходовых испытаниях первого опытного образца контейнерной платформы наблюдались значительные (до 80 МПа) динамические напряжения. С точки зрения уменьшения динамических напряжений были установлены самые неблагоприятные и наиболее рациональные схемы загрузки платформы. Показана возможность уменьшения динамических напряжений за счет изменения соотношения между базой и консольной частью платформы при постоянной длине рамы и установлено оптимальное значение базы. Изучено влияние различных опосредованных усиления конструкции на уровень динамических напряжений в продольных и поперечных элементах рам. Результаты исследований были учтены при проектировании второго образца платформы, уровень динамических напряжений в котором снизился на 30-40 %. проведенные ВНИИ вагоностроения и ИТМ АН УССР (в то время ДООИМ АН УССР) экспериментальные исследования подтвердили данные теоретических прогнозов.

На протяжении последних лет разрабатывались конструкции длиннобазной универсальной платформы и вагона для перевозки сыпучих грузов. В связи с малой погонной изгибной жесткостью продольных элементов рам возникла опасность появления высокого уровня динамических напряжений.

В работе сравнивались динамические качества проектируемых вариантов универсальной платформы. Исследования проводились при двух схемах загрузки: равномерно распределенной по площади пола массой 62 т и двумя массами по 30 т, расположенными в средней части боковых балок. В результате сопоставления динамических напряжений в различных конструктивных вариантах между собой и с эталонными образцами был выбран конкретный тип конструктивного

решения, реализованный впоследствии на ДВЗ им. газеты "Правда".

В работе исследованы также динамические напряжения в рамках вагонов для перевозка сыпучих грузов. Установлены размеры сечений элементов надреосорного строения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе приведены алгоритмы определения перемещений, ускорений, напряжений в конструкциях транспортных экипажей при детерминированных и случайных возмущениях. Развита точные и приближенные способы анализа систем с фрикционными демпферами. Проведены теоретические исследования нагруженности некоторых длинноразных экипажей и выданы рекомендации по улучшению их конструкций.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть сформулированы следующим образом.

1. Разработаны эффективные алгоритмы и программы для исследования случайных колебаний многомассовых моделей экипажей с одинарным и двойным реосорным подвешиванием с учетом и без учета инерционных свойств пути. Алгоритмы основаны на возможности представления неоднородно демпфированных систем в виде однородно демпфированных подсистем, соединенных между собой упруго-диссипативными элементами. Предлагаемые алгоритмы позволяют в десятки раз сократить объем вычислений по сравнению с алгоритмами, не учитывающими указанное свойство составных механических систем.

2. Изложены способы определения динамических напряжений в неоднородно демпфированных моделях транспортных экипажей.

3. Предложен способ определения среднего числа превышений заданного уровня случайным процессом, закон распределения кото-

рого отличен от нормального.

4. Разработан эволюционный принцип анализа вынужденных колебаний систем с демпферами кулонова трения, позволяющий получить решения с заданной точностью. Этот принцип применен к системам с двумя демпферами кулонова трения, моделирующим транспортные экипажи. Разработаны алгоритмы для гармонического возмущения, а также периодических последовательностей кратковременных и импульсных возмущений, описывающих воздействия от отыковых неровностей пути.

5. Предложен способ построения в пространстве параметров системы с кулоновым трением граничных поверхностей, разделяющих области с различными режимами движения.

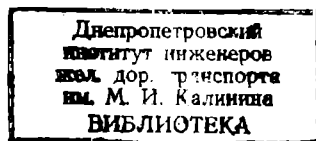
6. Проведены теоретические исследования динамических напряжений в элементах надстроечного строения конкретных длиннобазных экипажей. Результаты этих исследований использованы на ДБЗ им. газеты "Правда", Стахановском и Абаканском вагоностроительных заводах на этапах проектирования и создания серийной длиннобазной платформы для перевозки большегрузных контейнеров, опытных образцов длиннобазной универсальной платформы и вагона для перевозки сыпучих грузов. От внедрения рекомендаций, в разработке которых принимал участие автор, получен значительный экономический эффект, что подтверждается соответствующими документами.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Алгоритм и программа для исследования колебаний многомассовых систем, находящихся под воздействием различных случайных возмущений. - В кн.: Математическое обеспечение ЭЦМ "Урал-3", "Урал-4" для исследования случайных колебаний многомассовых систем. Киев: ИК АН УССР, 1970, с.261-286 (соавтор В.Ф.Ушakov).

2. Получение на ЭЦМ энергетических спектров напряжений в сложных линейных механических системах, находящихся под воздействием случайных возмущений: Тез. докл. к конф. по применению ЭЦМ в строительной механике (Ленинград, 1972 г.), Ленинград, 1971, с. 48-49 (соавтор В.Ф. Ушкалов).
3. Определение статистических характеристик напряжений, возникающих при кинематических случайных возмущениях некоторых сложных многомассовых систем. - Тр. ДИИТ, 1972, вып. 128, с. 143-149 (соавтор В.Ф. Ушкалов).
4. Определение среднего числа превышений заданного уровня случайными процессами на выходе линейной многомерной системы. - В кн.: Некоторые задачи механики скоростного рельсового транспорта. Киев: Наук. думка, 1972, с. 175-181 (соавтор В.Ф. Ушкалов).
5. Вычисление нормированных корреляционной функции и спектральной плотности стационарного случайного процесса с использованием формулы Симпсона. - В кн.: Алгоритмы и программы для исследования на ЭЦМ "Минск-22" случайных колебаний дискретных механических систем. Киев: ИК АН УССР, 1972, с. 6-16 (соавтор В.Ф. Ушкалов).
6. Определение спектральных плотностей напряжений в многомассовых системах с сопротивлением, пропорциональным жесткости. - Там же, с. 148-158 (соавтор В.Ф. Ушкалов).
7. Определение энергетического спектра напряжений в различных точках дискретных механических систем с произвольным вязким трением. - Там же, с. 159-169 (соавтор В.Ф. Ушкалов).
8. Определение спектральных плотностей напряжений и перемещений в составных механических системах. - Там же, с. 170-189 (соавтор В.Ф. Ушкалов).

9. Исследование колебаний железнодорожного экипажа, движущегося по деформируемому пути со случайными неровностями. - Вестн. ВНИИТ, 1973, № 3, с. 20-23 (соавтор В.Ф. Ушкалов).
10. Анализ прохождения возмущения от железнодорожного пути к над-рессорному оттоению экипажа. - Тр. БИТМ, 1974, вып. 26, с. 222-224 (соавторы В.Ф. Ушкалов, В.В. Кулябко).
11. Теоретическое прогнозирование динамических напряжений в конструкциях проектируемых экипажей. - В кн.: Некоторые задачи механики скоростного наземного транспорта. Киев: Наук. думка, 1974, с. 101-110 (соавторы В.А. Лазарян, В.Ф. Ушкалов, В.В. Кулябко).
12. Об использовании экспериментальных данных о колебаниях буксовых узлов при расчете проектируемых вагонов. - Тр. ДИИТ, 1975, вып. 158, с. 94-103 (соавторы В.Ф. Ушкалов, В.В. Кулябко).
13. Об одном методе исследований колебаний экипажа, движущегося по инерционному пути со случайными неровностями. - В кн.: Динамика и прочность высокоскоростного наземного транспорта. Киев: Наук. думка, 1976, с. 151-156.
14. Определение частотных характеристик пассажирских экипажей с учетом различной природы рассеяния энергии в отдельных его элементах. - В кн.: Нагруженность, колебания и прочность сложных механических систем. Киев: Наук. думка, 1977, с. 68-72.
15. О построении обобщенных частотных характеристик многомассовых систем с сухим трением. - В кн.: Механика наземного транспорта: Тез. докл. Всесоюз. совещ. (Днепропетровск, 1977 г.). Киев: Наук. думка, с. 53-57 (соавтор В.Ф. Ушкалов).
16. Эволюционный принцип изучения систем с многократно изменяющейся структурой. - Докл. АН СССР, Сер. А, 1979, № 9, с. 729-733 (соавтор М.А. Цынский).



- I7. Эволюционный принцип анализа релейных колебательных систем о многократно изменяющейся структурой / Редкол. журн. "Изв. АН СССР. Техн. кибернетика". - М., 1980. - 12 с. - Рукопись деп. в ИНИТИ 24.03.80, № И123-80 (соавтор М.А. Пинокий).
- I8. Сравнение методов гармонической линеаризации и численного интегрирования при исследовании многомассовых систем с сухим трением. - В кн.: Динамика механических систем. Киев: Наук. думка, 1983, с. 180-188.
- I9. О вычисления напряжений в неоднородно демпфированных конструкциях. - В кн.: Проблемы механики железнодорожного транспорта. Повышение надежности и совершенствование конструкций подвижного состава: Тез. докл. Всесоюз. конф. (Днепропетровск, май 1984 г.). - Днепропетровск: ДИИТ, 1984, с. 177.
20. Построение периодических режимов движения механических систем о двумя демпферами кулонова трения. - Там же, с. 178.

Автореферат...

БТ 20528. Подписано к печати 14.08.84г. Формат 60х84/16. Бумага писчая. Печать плоская. Усл. печ. л. 0,23. Тираж 100. Заказ № 9766. Бесплатно. Городская типография № 3. Днепропетровского областного управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 320000 г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.