

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ХЕРСОНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 621.333

ГУДКОВА Наталья Владимировна

МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ
ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

Специальность 05.13.06.- автоматизированные системы управления
и прогрессивные информационные технологии.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

ХЕРСОН - 1997 г.



004

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Херсонском государственном техническом университете.

Научный руководитель : доктор технических наук,
профессор Бардачев Ю.Н.

Научный консультант : кандидат технических наук,
доцент Кравцов В.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук
профессор Хомченко А.Н.
кандидат технических наук
доцент Радин В.К.


Ведущая организация : Харьковский государственный технический университет радиозлектроники (г. Харьков).

Защита состоится "17" июня 1997 года в 13 часов на заседании специализированного совета К19.01.06 при Херсонском государственном техническом университете по адресу : 3250008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24, корпус 3.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения), просим направлять по адресу: 325008, Херсон, Бериславское шоссе, 24, ХГУ, Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Херсонского государственного технического университета.

Автореферат разослан "12" мая 1997 г.

Ученый секретарь специализированного совета К 19.01.06,
кандидат технических наук, доцент  Ф. Б. Рогольский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность работы.

Моделирование процессов, систем и устройств является обязательным условием ускорения исследований, разработок и проектирования изделий электротехнической промышленности. Создание информационных технологий испытаний, математических моделей, методов, алгоритмов, программных и аппаратных средств для исследований изделий электротехнической промышленности, в том числе виброхарактеристик электродвигателей с гарантированными или улучшенными виброакустическими характеристиками, является одной из важнейшей и наиболее сложной задачей, связанной с решением комплекса разнородных вопросов: научных, проектно-конструкторских, организационно-технических.

Проблема математического моделирования и создания баз данных для определения вибропараметров электрических машин оказалась особенно важной для применения виброзащищенных электродвигателей, установленных на транспортных объектах (надводных и подводных судах, самолетах, космических аппаратах и т.п.).

Традиционные конструкции электрической машины не являются оптимальными с точки зрения виброактивности, т.к. четко не сформулированы и не систематизированы принципы и правила конструирования малозумных электрических машин. Для получения достаточно полной информации о машине, как источнике вибрации и причинах ее вызывающих, необходимо учесть и проанализировать одновременное влияние большого числа разнообразных параметров, в математическом смысле создать модель большой размерности. Использование принципов автоматизации научных исследований и обработки данных позволяет при проведении исследований не только сократить время обработки данных, но и использовать современные достижения в развитии математических методов решения статистических и оптимизационных задач.

В настоящей диссертационной работе разработаны информационные технологии испытаний, исследованы различные математические модели, методы для исследования изделий электротехнической промышленности, в частности, решение задачи численного определения виброхарактеристик электродвигателя продолжено в направлении выбора наиболее рациональных с точки зрения автоматизации обработки информации геометрических соотношений при описании элементов двигателя.

Предложен алгоритмичный подход к решению задач колебаний элементов двигателя (статора, вала), описана информационная технология проведения испытаний, включающая модели, методы и алгоритмы для определения виброхарактеристик электродвигателя.

Лит. В. В. Стефанов
АН УкрССР

ЦЕЛЮЮ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ является разработка математической модели численного и экспериментального исследования виброхарактеристик электродвигателей, как основы формирования математического обеспечения автоматизированных систем широкого профиля (АСУ, САПР и т.п.), создание вычислительного комплекса, реализующего на ПЭВМ алгоритм решения задач с указанием основных подпрограмм и блок-схем.

Основными направлениями исследований являются:

- разработка информационной технологии испытаний изделий электротехнической промышленности в виде системы математических моделей, методов, алгоритмов, программных и аппаратных средств сбора, хранения и обработки информации и знаний об объекте;
- развитие методики численного исследования колебаний элементов электродвигателя произвольной конфигурации, базирующейся на совместном применении подходов Лагранжа и Эйлера, описывающих их внешнюю и внутреннюю геометрию;
- разработка алгоритма и метода построения решений систем нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка;
- численные и экспериментальные исследования виброхарактеристик электродвигателей.
- формирование основ информационного, математического и программного обеспечения компьютерных и автоматизированных систем.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА работы состоит в следующем :

1. Сформулирована научная концепция информационной технологии испытаний изделий электротехнической промышленности, включая исследования колебаний элементов электродвигателей с целью определения их вибропараметров.
2. Разработаны новые модели, методы и алгоритмы, численно решены задачи анализа собственных и вынужденных колебаний электрических машин.
3. Разработана математическая модель для создания базы знаний, основанная на решении системы обыкновенных дифференциальных уравнений восемнадцатого порядка, описывающей упругое равновесие плоских или пространственно искривленных, как отдельных, так и сопряженных элементов двигателя.
4. Разработан алгоритм численного решения задач колебаний узлов и элементов электрических машин.
5. На основе разработанной математической модели создан вычислительный комплекс, реализующий на ПЭВМ алгоритм решения задач колебаний электродвигателей.

6. Разработан алгоритм и описана организация вычислительного процесса с указанием назначения основных подпрограмм и блок-схема решения задач.

7. Разработан информационно - вычислительный комплекс для экспериментального определения виброхарактеристик электродвигателей в контексте решенных задач.

8. Сформированы основы информационного, математического и программного обеспечения компьютерных систем, для исследования параметров изделий электротехнической промышленности.

9. Положено начало методологическому обеспечению формирования базы знаний по исследованию механических характеристик изделий электротехнической промышленности.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ работы состоит в том, что на основании выполненных исследований разработаны новые модели, методы и алгоритмы, для исследования изделий электротехнической промышленности, в частности, исследование виброхарактеристик электродвигателей.

Диссертация является результатом плановых научных исследований по созданию информационных технологий испытаний и разработке численных методов и систем обработки данных для исследований виброхарактеристик электродвигателей, проводимых на Ново-Каховском ОАО "Южэлектромаш" и Ново-Каховском отделении Донецкого УКРНИИВЭ, ПО ОАО "Электротехник" (г. Николаев), а также на опытно - экспериментальном заводе УКРНИИВЭ (г. Донецк). Расчеты, приведенные в диссертационной работе, использовались отделением УКРНИИВЭ г. Новая Каховка и конструкторским отделом УКРНИИВЭ г. Донецк при разработке и доведении до необходимых требований опытных образцов малошумных двигателей специального назначения (морские, лифтовые), а также использовались изготовителями этой продукции (ОАО "Южэлектромаш", ОАО " Электротехник", опытно-экспериментальный завод УКРНИИВЭ) для анализа результатов испытаний первых серийных образцов.

ВКЛАД АВТОРА в разработку проблемы.

Исследования, обработка результатов, а также научные положения и теоретические выводы, касающиеся создания математической модели численного расчета вибраций электродвигателей, получены автором самостоятельно.

Обоснованность и достоверность основных результатов диссертационной работы обеспечиваются конкретной постановкой и решением задач исследования, использованием апробируемых подходов к анализу вибропроцессов в электродвигателях.

ПУБЛИКАЦИИ И АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях Херсонского индустриального института (1990-1997г.г.), на Международной конференции по методам решения краевых задач в Саратовском государственном университете (г. Саратов, Россия), на республиканской конференции по математическому моделированию в 1996 г. в г. Херсоне, на 1-й международной научно-технической конференции по проблемам энергосбережения и экологии в судостроении (г.Николаев, 1996г.). По результатам выполненных исследований опубликовано 7 работ, список которых приводится в конце автореферата.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений и списка использованной литературы. Материал изложен на 167 страницах машинописного текста, содержит 19 рисунков, 12 таблиц, 8 страниц приложений, библиографию из 149 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обосновывается актуальность исследуемых проблем, определяются цель и задачи работы, объект исследования, указываются методы исследования, отмечается научная новизна, теоретическое и практическое значение работы.

В первой главе - "Математические модели, методы, алгоритмы и системы обработки данных в исследовании виброхарактеристик электрических машин" - описывается структура системы обработки знаний, рассматривается анализ и методы исследования виброхарактеристик электродвигателей.

Идеи современной информационной технологии базируются на концепции баз данных и знаний, основой которой являются данные, организованные в базы данных и базы знаний с целью адекватного отображения изменяющегося реального мира и удовлетворения информационных потребностей пользователей.

Особое внимание при разработке таких систем уделяется развитию таких возможностей, как поддержка развитой концептуальной модели данных, обеспечение контроля целостности данных, дружественный интерфейс, диалоговые средства различных типов, языки запросов конечного пользователя, дополняющие стандарты ISO рядом оригинальных средств.

В данной работе можно выделить три типичные основные части экспертной системы: базу данных, базу знаний, механизм получения решений и интерфейс, каждая из которой устроена по-разному (в различных системах), но не имеющих абсолютных границ. Приведена следующая классификация знаний, применяемая в данной работе: 1) понятия (математические и нематематические); 2) факты; 3) правила, зависимости, законы, связи; 4) алгоритмы, процедуры. Прямое использование знаний из базы знаний для решения задач обеспечивается механизмом получения решений - основной частью системы баз знаний.

Для создания информационной системы на ПЭВМ был выбран язык "Фортран-77", что позволило применять пакеты прикладных программ, созданных разными пользователями, не используя компиляторы для других языков. Для решения проблемы повышения производительности системы базы данных в данной работе используются мощные средства управления данными (Exel-5, Statistika-5, Corel Draw!).

Проблема создания математических моделей, методов и систем обработки данных при разработке малошумных электрических машин представляет интерес для ряда отраслей, поскольку уровень шума и вибраций является отражением комплекса процессов, протекающих в активной зоне машины, и характеризует параметры конструкции, совершенство технологии и производства. Низкие уровни вибрации и шума стали основными показателями качества и надежности.

Существенным этапом при разработке малошумных машин является определение механизма возникновения вибрации, не только связанной с конструкцией электрической машины, но и от изменения режимов испытаний (нагрузки, рабочей частоты вращения, температуры, давления), изменения температуры окружающей среды, влажности, давления воздуха, величины магнитных и электромагнитных полей и т.п.

Однако, несмотря на достаточно представительный перечень разработанных методов системного анализа и алгоритмов исследования по данной проблеме, вновь возникающие потребности недостаточно быстро реализуются в крупных программных комплексах для создания базы данных.

Анализ имеющихся в современной научной литературе данных о создании информационных технологий и исследованию виброхарактеристик электродвигателей показал, что к настоящему времени не разработаны алгоритмические и унифицированные методики расчета, учитывающие весь комплекс факторов, действующие на элементы электродвигателя, т.к. решение трехмерной динамической задачи теории упругости со сложными граничными условиями и начальными данными очень затруднительно.

Поэтому необходим поиск новых методов и подходов с использованием численных методов решения, позволяющих использовать

современные методы обработки информации с целью получения алгоритмических вычислительных систем для определения широкого спектра виброхарактеристик электродвигателей.

Структурная схема системы управления базы знаний (СУБЗ) включает в себя четыре программных модуля (процессора): лингвистический процессор, семантический процессор, редактирующий процессор, процессор данных. Исходный запрос (текст запроса) передается базе знаний также в оперативной памяти, в ОЗУ формируется и линейка ответа.

Важной характеристикой СУБЗ является ее реактивность, определяемая временем ЭВМ, затрачиваемым на преобразования от ввода текста запроса до формирования линейки ответа. Анализ работы ПЭВМ показал, что при реализации СУБЗ ее реактивность позволяет обрабатывать порядка 20 запросов в секунду. Используя многопроцессорную ЭВМ можно достичь существенного улучшения реактивности СУБЗ.

Во второй главе - "Математическая модель объекта исследования" - описывается методика построения математической модели исследования колебаний узлов и элементов электродвигателя. При этом предложен новый подход к данной проблеме: использованы современные методы вычислительной математики и геометрии, развито применение персональных ЭВМ для решения поставленных задач.

Процесс построения модели состоит из ряда самостоятельных этапов, среди которых выделим два основных: 1) построение формальной модели (знания о моделируемой системе); 2) формирование машинной, на основании формальной. Основными проблемами, возникающими при преобразовании формальной модели в машинную являются задачи упрощения и модификации формальной модели и оценки погрешности, вносимой этими операциями. Из определения характеристик и свойств модели, был выбран вид вычислительного эксперимента, для этого модель трансформировалась в более простую с учетом характеристик и свойств.

В процессе проектирования и создания виброзащищенных электродвигателей следует учитывать не только технические условия эксплуатации, но и возникающие разного рода нагрузки. При расчете колебаний элементов электродвигателя линейная теория применима по отношению к любому упругому элементу на начальной стадии нагружения, когда перемещения малы. В общем же случае элемент может значительно изменять свои размеры и форму под нагрузкой, зависимость между перемещениями и нагрузкой становится нелинейной и расчет упругого элемента должен основываться на нелинейной теории.

Для описания воздействия технологических и эксплуатационных условий необходима адекватная пространственно-временная математическая модель их изменения. Эта модель должна позволять воспроизводить реальные условия эксплуатации, как на коротких (секунды,

минуты), так и на длинных (до года) интервалах времени с учетом основных характеристик.

В качестве базовой расчетной модели для исследования колебательного процесса элементов электродвигателя в данной работе предлагаются методы дифференциальной геометрии и аналитической механики, описывающие геометрию и упругое нелинейное деформирование пространственно искривленных элементов. Развитие этих методов в плане применения современных вычислительных алгоритмов позволило создать унифицированную базовую расчетную модель с учетом нелинейности разрешающих уравнений, и при различных условиях проведения эксперимента.

Для установления параметров упругой линии элемента вводится естественный трехгранник (n, b, t) упругой линии. За независимый параметр принимается величина статистической нагрузки, нелинейными функциями которой являются все перемещения точек упругой линии, напряжения и внутренняя потенциальная энергия.

Для установления зависимости геометрических параметров упругой линии от координаты s , и от величины статистически (или динамически) изменяющейся нагрузки рассматривается упругое равновесие при неподвижной системе координат $Oxyz$ и подвижной системы (u, v, w) . Получены шесть скалярных уравнений равновесия сил:

$$\begin{aligned} dF_x / ds &= -qF_w + rF_v - f_x, \\ dF_v / ds &= -rF_x + pF_v - f_v, \\ dF_w / ds &= -pF_v + qF_x + f_w. \end{aligned} \quad (1)$$

и три скалярных уравнения равновесия моментов:

$$\begin{aligned} dM_x / ds &= -qM_w + rM_v + F_v - m_x, \\ dM_v / ds &= -rM_x + pM_w - F_x - m_v, \\ dM_w / ds &= -pM_v + qM_x - m_w. \end{aligned} \quad (2)$$

При рассмотрении усилий и моментов в упругих элементах, введены соотношения:

$$M_x = A(p - p_0), \quad M_v = B(q - q_0), \quad M_w = C(r - r_0). \quad (3)$$

где p, q, r - функции кривизны и кручения в деформированном состоянии; p_0, q_0, r_0 - эти же функции в исходном недеформированном состоянии; A, B, C - жесткости на изгибе и кручении, исключаяющие из уравнений (2) моменты M_x, M_v, M_w , и приводит его к виду:

$$\begin{aligned}
 dp/ds &= 1/A (A dp_0/ds - Cqr + Cqr_0 + Bqr - Bqr_0 + F_v - m_w), \\
 dq/ds &= 1/B (B dq_0/ds - Arp + Arp_0 + Crp - Crp_0 - F_x - m_v), \\
 dr/ds &= 1/C (C dr_0/ds - Bpq + Bpq_0 + Aqp - Aqp_0 - m_w),
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

При этом полученная система из шести дифференциальных уравнений (1),(4) недостаточно определена, т.к. для вычисления не хватает граничных условий. Для замыкания системы разрешающих уравнений вводятся дополнительные кинематические переменные (углы Эйлера, углы Крылова). Они удобны тем, что их число, равное трем, соответствует числу степеней свободы во вращательном движении.

Для удобства практических вычислений вводятся кинематические соотношения, а именно девятипараметрическая система направляющих косинусов α_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$).

При ее применении разрешающие уравнения являются регулярными и имеют сравнительно простую форму, с ее помощью легко формулируются граничные условия и, наконец, упрощается постановка задач динамики, особенно в случаях, когда от ориентации элемента существенно зависят действующие на него нагрузки. Такие ситуации возникают при исследовании движения конструкций вместе с несущими телами в силовых полях либо элементов, связанных с подвижными массами.

Составлена математическая модель процесса деформирования криволинейного пространственного элемента, представляющая собой систему нелинейных дифференциальных уравнений пятнадцатого порядка с нелинейными двухточечными краевыми условиями. Ее отличительной способностью является то, что решение последовательности линеаризованных краевых задач при шаговом увеличении параметра нагружения строится без предварительной линеаризации исходных нелинейных дифференциальных уравнений.

В третьей главе - "Алгоритмы и программы для создания базы знаний" - описаны инструментальные средства построения системы базы знаний, описан метод построения и организация вычислительного процесса. Приведены результаты численного исследования колебаний элементов электродвигателя.

В данной работе применяются гибридные инструментальные среды, которые включают несколько разнородных средств представления данных и знаний для организации интерфейсов. База знаний по представлению знаний помогает ориентироваться и выбирать нужные средства для создания языка представления знаний.

Рассмотрим метод построения решений нелинейных двухточечных и многоточечных задач для обыкновенных дифференциальных уравнений.

Для описания методики представим систему уравнений в виде

$$\dot{x} = f(x, \lambda, s) \quad (5)$$

где x - вектор состояний размерностью $n=15$,

f - вектор-функция правых частей системы,

S - независимая переменная,

λ - параметр, определяющий интенсивность нагрузки (квадрат угловой скорости ω , угловое ускорение ϵ и т.д.)

Запишем краевые условия в виде

$$\gamma[x(0), y(0)] = \gamma_0 \quad (6)$$

Здесь через $y(0)$ обозначены недостающие для полного определения вектора начальных условий значения шести переменных состояния. Для замыкания системы разрешающих уравнений на краю $s = S$ достаточно задать шесть независимых краевых условий, которые запишем в виде

$$\psi\{x[y(0), \lambda, s]\} = \psi_s \quad (7)$$

Пусть при некотором значении параметра $\lambda = \lambda_0$ известно решение $x(s)$ задачи. Дадим малое приращение $\delta\lambda$ параметру λ . Тогда соответствующую ему вариацию $\delta x(s)$ решения $x(s)$ можно найти из линейного уравнения

$$d\delta x / ds = \partial f / \partial x \delta x + \partial f / \partial \lambda \delta \lambda, \quad (8)$$

полученного линеаризацией уравнения. Краевые уравнения для функции δx формируются линеаризацией уравнений

$$\partial \Phi / \partial x \delta x(0) + \partial \Phi / \partial \lambda \delta \lambda(0) = 0, \quad \partial \Theta / \partial x \delta x(0) = 0, \quad (9)$$

$$\partial \Psi / \partial x \delta x(s) + \partial \Psi / \partial \lambda \delta \lambda = 0.$$

Для построения $\delta x(s)$ выберем среди составляющих $\delta x_i(s)$ ($i=1, 2, \dots, 15$) такие шесть компонент $\delta x_j(s)$, любые значения которых $\delta x_j(0)$ не нарушают первые два векторные уравнения системы (9). Перенумеровав неизвестные $\delta x_i(s)$ ($i=1, 2, \dots, 18$), чтобы индекс j принимал значения $j=1, 2, \dots, 6$, решение задачи (9), (10) представим в виде

$$\delta x(s) = u_\lambda \delta \lambda + Y(s) \delta C \quad (10)$$

где $u_\lambda(s)$ - решение задачи Коши для системы

$$dy_{\lambda} / ds = \partial f / \partial x y_{\lambda} + \partial f / \partial \lambda \quad (11)$$

Так как вектор $\delta_x(0)$ найден с использованием линеаризованных уравнений, решение $x(s)$ будет удовлетворять условиям приближенно с невязками

$$\tau_{\Phi} + \Phi [x(0), \lambda], \quad \tau_{\Theta} = \Theta [x(0)], \quad z_{\Psi} = \Psi [x(S), \lambda]. \quad (12)$$

Поэтому на следующем шаге варьирования параметра λ линеаризацию уравнений следует производить так, чтобы устранить эту погрешность, то есть исходить из линеаризованных уравнений. В связи с громоздкостью нелинейных уравнений движения численная реализация методики линеаризования уравнений состояния производилась численно на каждом шаге времени.

Численная реализация описанной методики исследования динамики элементов электродвигателя осуществлялась с помощью программы, написанной на алгоритмическом языке ФОРТРАН-77.

Процесс численного решения задач кратко иллюстрирует укрупненная блок-схема подпрограммы ELDVIG, имеющая модульную структуру, которая позволяет формировать требуемый вариант расчета в зависимости от геометрической схемы исследуемой конструкции, условий опирания и действующих нагрузок. Вызов управляющей подпрограммы ELDVIG осуществляется из главного модуля MAIN, в котором оператором EXTERNAL задается список имен подпрограмм для конкретного варианта расчета.

Задание исходных данных, необходимых для решения конкретной задачи осуществляется подпрограммой WWOD, включают в себя информацию о геометрических и физико-механических характеристиках исследуемого объекта, об условиях опирания рассматриваемого элемента, способах приложения нагрузки. Приводится перечень значений основных исходных данных.

Созданная информационная система позволяет получить базу данных по определению формоизменения, устойчивости и колебаний элементов электродвигателей сложной пространственной и плоской конфигурации.

В четвертой главе - "Анализ колебаний элементов электродвигателя" - на основании системного анализа и обработки данных дана оценка вибрации и шума электрических машин.

Для оценки вибрации используются различные виды параметров: виброремещение - мгновенное значение изменения обобщенной координаты, которыми являются точки дискретизации; виброскорость - производная от

вибросмещений по времени; виброускорение - производная от виброскорости по времени.

В данной работе исследованы виброакустические характеристики АД различных модификаций мощностью до 100 квт. Колебания в радиальной плоскости дают наиболее существенную информацию о картине вибрации всего двигателя.

Проведен анализ вибраций в радиальной плоскости. В качестве исходной модели была взята биметаллическая кольцевая модель, имитирующая ярмо статора и корпус упруго подвешенного двигателя. Размеры и массово-упругие параметры модели близки к соответствующим данным статора (без лап) двигателя Дa100B4, в котором охлаждающие ребра и зубцовый слой учтены эквивалентным увеличением материала корпуса и ярма. Варьировались число слоев и радиальных лучей, т.е. число треугольных элементов как по высоте, так и по окружности кольца.

Для исследования собственных колебаний АД были рассмотрены радиальные модели для разных исполнений двигателей. Расчет выполнялся по методике, предложенной в данной работе. Были рассмотрены результаты исследований собственных колебаний закрытого обдуваемого двигателя Д100LB4, исследована конструкция статора двигателя АИ160-4 закрытого исполнения IP44 на лапах. Исследован ряд вариантов конструкции статора, отличающимися друг от друга числом ребер между пакетом и корпусом, их расположением, формой и толщиной корпуса.

В качестве базовой модели выбрана радиальная модель статора двигателя 4A-225-M8. Анализ результатов расчета собственных частот и собственных форм на базовой модели показал, что наличие станины в защищенной машине приводит к появлению эффекта расщепления частот. Заметное влияние на собственные частоты статора оказывает несимметрия конструкции, обусловленная неравномерным расположением ребер. Двукратное изменение ширины ребер и толщины корпуса изменяет собственные частоты статора на 15%.

Анализ базы данных по исследованию моделей двигателей защищенного исполнения показывает, что имеет место эффект расщепления собственных частот во всем частотном спектре, зависящий как от характера несимметрии конструкции, так и от числа волн (пространственного порядка) конкретной собственной формы. Для определения количественной зависимости собственных частот от основных конструктивных параметров станин были проведены исследования на основе теории планирования эксперимента.

В качестве функции отклика были приняты собственные частоты (СЧ), а в качестве параметров - число ребер (X_1), ширина ребер (X_2) и толщина корпуса (X_3), что позволило ориентироваться на определенную жесткость конструкции по длине участка дифференцирования.

Выбор числа уровней изменения каждого из факторов (X_1, X_2, X_3) соответствовал общепринятым рекомендациям, используемых при проектировании электрической машины и на основании результатов предварительных исследований собственных колебаний статора защищенных двигателей.

Расчет собственных частот выполнялся на модели статора двигателя АИ160-4 по подпрограмме, разработанной автором, где в качестве отклика выбраны значения С.Ч. второго, третьего и четвертого порядков колебаний пакета. По результатам расчета была выведена зависимость С.Ч. в относительных единицах, удобных для расчета С.Ч. статоров защищенных двигателей любых габаритов рассмотренных конструкций.

Для анализа собственных колебаний двигателей в продольной плоскости, была создана упрощенная модель двигателя, состоящая из полого цилиндра с размерами корпуса двигателя Д100LB4, стержня, имитирующего вал.

При решении поставленных задач были рассмотрены результаты расчета основных форм и частот собственных колебаний в радиальной плоскости на двух участках: статор ($S'_0 - S''_0$) и ротор ($S'_r - S''_r$), с учетом и без учета податливости "подшипникового узла".

Также исследованы результаты расчета одноименных собственных частот трех моделей: пространственной, продольной двухмерной с увеличенной жесткостью корпуса и вала и продольной моделью.

Исследования показали, что достоинством такой модели продольного сечения двигателя является возможность изучения на ней собственных колебаний лобовых частей обмотки статора. Пример исследования двигателя Д100LB4 показал, что лобовые части могут явиться причиной дополнительных собственных частот. Количество их тем больше, чем ниже жесткость двигателя.

Рассмотрена модель, в которой учтена переменная жесткость ротора. Размеры модели соответствуют восьмиполосному АД закрытого обдуваемого исполнения с высотой оси вращения 112 мм. Анализ показывает, что на собственные частоты существенно влияют упругие свойства подшипникового узла.

Рассмотренные собственные колебания двигателей в защищенном исполнении в продольной плоскости на различных моделях привели к выводу, что первая собственная частота - 47 Гц вызвана неучетом реальной жесткости щитов, другая - 1562 Гц обусловлена аксиальными колебаниями участка, имитирующего проекцию статора.

Проведен анализ вынужденных колебаний АД с применением рабочей двухмерной радиальной модели, в которой учтено защемление торцов конуса подшипниковыми щитами. В качестве объекта исследования был выбран статор двигателя Д100LB-4 с лапами коробчатого типа. Зубцы и обмотка статора, а также охлаждающие ребра приведены соответственно к яру и корпусу в виде присоединенных масс.

На первом этапе исследования рассмотрены колебания модели статора (биметаллическое кольцо с лапами), возбуждаемые пульсирующими с частотой 850 Гц силами разных пространственных порядков ($n = 0,2,3,4,5$) одинаковой интенсивности, $r_n = 0,235$ н/см. Колебания статора под действием силы одного и того же порядка рассчитывались дважды, при чем во втором случае пространственное положение силовой волны изменялось относительно исходной на четверть периода.

Результаты позволили сделать вывод, что динамическая деформация биметаллической кольцевой модели с лапами, колебания которой возбуждается круговой вращающейся электромагнитной силовой волной n -го пространственного порядка, значительно сложнее динамической деформации чисто кольцевой модели. Был рассмотрен ряд амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) этой же модели с частотой в диапазоне 800-2000 Гц и сделан вывод о наибольшей интенсивности вибрации.

Проведено сравнение результатов вынужденных колебаний двигателя различного исполнения 4А-225М8, полученных с применением различных методов: аналитического, с использованием традиционной схемы (пакет статора и корпус аппроксимировались тонким кольцом, с учетом коэффициентом передачи силовой волны от внутреннего кольца на внешнее, через ребра); полуаналитического - метод нормированных собственных функций (МНСФ) и численным методом, предложенным в данной работе.

В пятой главе - "Экспериментальные исследования вибропараметров электрических машин" - описана организация машинного эксперимента как средства получения дополнительных знаний о системе, экспериментально исследованы некоторые виброхарактеристики (ВАХ) электрических машин, даны рекомендации по их улучшению.

Процесс построения моделей должен быть тесно увязан с организацией машинных экспериментов в целях получения дополнительных знаний о системе, которые нельзя получить из натуральных экспериментов.

Вычислительный эксперимент объединяет в себе две составляющие: аналитическую и имитационную. Первая связана с математическими моделями и математическими методами их исследования, представляя собой более или менее традиционный математический анализ модели. Проведение математического анализа не исключает применение ЭВМ. В результате выявляются различные важные свойства изучаемых моделей. Выбирается совокупность моделей для последующего имитационного исследования и адекватные методы их анализа (численный метод интегрирования, регенерируемость и т.д.)

Роль численных методов при проведении имитационных экспериментов возрастает. В результате численных исследований формируются модели для дальнейшего изучения и получения на них

совокупности данных, пригодных для обработки данных, получаемых в процессе имитации. Эти методы учитывают структурные и поведенческие свойства изучаемых моделей.

Основными задачами в организации эксперимента являются задачи анализа структурных и динамических свойств машинных моделей как формальных объектов и разработка алгоритмических процедур, работа с ними на основе выявленных свойств. Во многом способ решения указанных проблем предопределяется видом используемой математической модели.

В зависимости от того, какие цели поставлены при экспериментальном анализе виброакустических характеристик двигателей, какими конкретными параметрами оценивается их ВАХ, каковы величины уровней, составляющих вибрации и шума, проводится выбор конкретной виброакустической измерительной, анализирующей и регистрирующей аппаратуры. При наиболее общей оценке ВАХ электрической машины руководствуются методами контроля вибрационных и шумовых характеристик. Для более точного определения виброакустических измерений и исследований применяется микропроцессорная техника.

В работе исследование электромагнитных вибрационных процессов проводилось с помощью специального комплекса приборов производства фирмы Briel & Kizer (Дания), позволяющий вести обработку информации кратковременных процессов в реальном масштабе времени.

Измерительный комплекс состоит из двух систем: первичной и вторичной. Первичная предназначена для сбора информации и регистрации ее на магнитную ленту. Она состоит из объекта исследования, измерительных трансформаторов, шунта, тахогенератора, предусилителей (усилителей зарядов), согласующихся устройств и многоканального измерительного магнитофона. Вторичная система, предназначенная для ввода данных, их обработки и анализа, включает в себя специализированные вычислительные устройства, графические регистраторы и регистратор.

В заключении делаются выводы, основанные на полученных в ходе исследований результатах и перспективах дальнейшего развития методов и алгоритмов определения виброхарактеристик электродвигателей на базе системного анализа, теории моделирования, аналитической теории нелинейной механики и методов численного анализа и даются рекомендации по улучшению виброакустических показателей двигателя.

В приложении приведены тексты основных подпрограмм, акты внедрения результатов работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.

1. На базе системного анализа, теории моделирования, аналитической теории нелинейной механики, элементов векторного исчисления и методов численного анализа разработана информационная технология испытаний изделий электротехнической промышленности в виде системы математических моделей, методов, алгоритмов, программных и аппаратных средств сбора, хранения и обработки информации и знаний об объекте в процессе испытаний.

2. Сформированы основы информационного, математического и программного обеспечения для анализа результатов испытаний изделий электротехнической промышленности. Положено начало методологическому обеспечению формирования базы знаний по исследованию механических изделий электротехнической промышленности.

3. Разработана математическая модель для создания базы знаний, содержащая систему обыкновенных дифференциальных уравнений восемнадцатого порядка, описывающую упругое равновесие плоских или пространственно искривленных как отдельных, так и сопряженных элементов двигателя.

4. Разработана методика решения двухточечной краевой задачи, удобной для применения метода продолжения решения по параметру.

5. Разработан алгоритм решения задач колебаний узлов и элементов электрических машин.

6. На основе разработанной методики создан информационно-вычислительный комплекс, реализующий на ПЭВМ алгоритм решения задач колебаний элементов электродвигателей. Надежность предложенной методики и ее программная реализация подтверждается результатами текстовых задач, позволяющими оценить ее эффективность.

7. Разработан численный алгоритм и описана организация вычислительного процесса с указанием назначения основных подпрограмм.

8. Получены решения задач о колебательном процессе элементов электродвигателя, приведен анализ разных видов колебаний электродвигателей.

9. Даны рекомендации по улучшению вибропараметров электродвигателей.

10. Развита методика машинного эксперимента для создания базы данных при определении виброхарактеристик электродвигателей в контексте решенных задач.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бардачев Ю.Н., Гудкова Н.В., Кравцов В.И. Численные исследования колебаний роторов асинхронных двигателей // Деп. в ГНТБ Украины, № 120-Ук 97.- 13с.- Херсон, 1996.

2. Бардачев Ю.Н., Гудкова Н.В., Кравцов В.И. Численные методы расчета вибраций двигателей специального назначения. // Новые технологии на базе сырьевых запасов Украины. Тезисы докл. респ. конференции.- Херсон, 1996. С. 25-29.

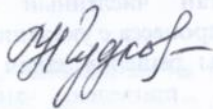
3. Гудкова Н.В. Экспериментальные исследования виброакустических характеристик асинхронного двигателя. // Деп. в ГНТБ Украины, № 121-Ук97- 16 с.

4. Кравцов В.И., Гудкова Н.В., Нелинейная постановка задач устойчивости равновесия и колебаний механических систем. // Математическое моделирование. // Сб. научн. трудов НАН Украины. - Киев, 1996.- С. 127-130.

5. Кравцов В.И., Гудкова Н.В. Управление гибкими подводными объектами. // Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении // Материалы 1-й международной научно-технической конференции.- Николаев, 1996.-С. 104-105.

6. Хомченко А.Н., Гудкова Н.В. Нелинейное упругое деформирование гибких пространственно искривленных стержней. // Сб. научн. трудов // Мат-лы рос.-польской международной конференции по нелинейной механике.- Саратов, 1995.- С. 18-21.

7. Михайлов К.М., Хорошилов В.М. Преодоление вычислительной сложности для МДО с использованием одноранговых вычислительных систем. // Методы дискретных особенностей в задачах моделирования. // Сб.научных трудов// Мат-лы VII Международного симпозиума. - Феодосия, 1997 г., С. 32-34.



ANNOTATION.

Gydkova N.V.

Models, methods and algorithms of the tests of elektrotechnical hardwares.

Dissertation is a manuscript prepared to get a degree of candidate of Technical sciences in speciality 05.13.06. - Automated systems of control and progressive technologies of information, The Kherson State Technical University, Kherson, 1997.

In the dissertation was adduced results of models, design methods and algorithms of tests of elektrotechnical hardwares. Models and algorithms for creation of knowledges base and data base for result processing of tests of elektrotechnical hardwares was adduced here. In the dissertation was designed the mathematician apparatus for the mares of explores into process of problems dicsion with the help of computer.

Head words: interface of user, modelling, automation machining, formalisation of the knowledges, numerical methods.

АНОТАЦІЯ

Гудкова Н.В.

Моделі, методи і алгоритми випробувань виробів електротехнічної промисловості.

Дисертація є рукописом на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук з спеціальності 05.13.06. ⁰² Автоматизовані системи управління і прогресивні інформаційні технології, Херсонський державний технічний університет, Херсон, 1997.

У дисертації наведені результати розробки моделей, методів і алгоритмів випробувань виробів електротехнічної промисловості. Подані моделі і алгоритми для створення бази знань і бази даних для обробки результатів випробувань виробів електротехнічної промисловості. Розроблено математичний апарат для проведення досліджень в процесі розв'язання задач за допомогою СМ.

Ключові слова : інтерфейс користувача, моделювання, автоматизована обробка, формалізація знань, числові засоби.

Ав 38.166

Объем 1,1 печ. л. Уч. из. л. 1.
Формат бумаги 60x84
Тираж 100 экз. Зак. 564.

Ротапринт, г. Новая Каховка, ул. Первомайская. 35.