

На правах рукописи

ЕСИЛЕВСКИЙ ВАЛЕНТИН СЕМЕНОВИЧ

УДК 620.178

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ
И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МАШИН
И МЕХАНИЗМОВ**

05.13.01 — Управление в технических системах

*Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Работа выполнена на кафедре прикладной математики Харьковского государственного технического университета радиоэлектроники.

Научный руководитель:

— доктор технических наук, профессор А. Д. Тевяшев.

Официальные оппоненты:

— заслуженный деятель науки и техники Украины, доктор технических наук, профессор Ю. П. Шабанов-Кушнаренко;

— кандидат технических наук, доцент В. Д. Гребенник.

Ведущая организация — институт проблем машиностроения Академии наук Украины.

Защита диссертации состоится „13“ января 1993 г. в 13⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К. 068.37.01 в Харьковском государственном техническом университете радиоэлектроники (310076, Харьков, пр. Ленина, 14).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке технического университета.

Автореферат разослан „10“ декабря 1993 г.

Ученый секретарь

специализированного совета

кандидат технических наук,

профессор

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00802855 (S)

Э. А. Дедиков

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Основу современного производства в машиностроении и других отраслях составляет процесс создания узлов, агрегатов и готовых изделий из отдельных деталей, модулей и блоков. Эти процессы реализуются с помощью сложного комплекса научно-исследовательских, опытно-конструкторских, проектно-технологических и экономико-организационных работ.

В настоящее время в связи со стремлением производителей к повышению конкурентоспособности выпускаемой техники возрастает потребность в обеспечении качества разрабатываемых и изготавливаемых машин и механизмов.

К основным задачам обеспечения качества можно отнести следующие технические задачи:

испытание изделий на надежность на стадии доводки новых образцов до серийного производства;

определение эргономических характеристик машин на стадии их доводки;

диагностика технического состояния изделия на стадии эксплуатации.

Автономное, не увязанное в систему решение этих задач влечет избыточные затраты на автоматизацию контроля и управления качеством машин и механизмов и не позволяет получить целостную оценку качества изделий машиностроения.

В связи с вышеизложенным становится актуальной задача построения интегрированной автоматизированной информационно-управляющей системы контроля и управления качеством машин и механизмов, способной объективно оценивать показатели качества на различных стадиях жизненного цикла изделий машиностроения и формировать

рекомендации для обеспечения необходимого уровня качества.

Целью работы является разработка математического, информационного и программного обеспечения интегрированной системы контроля и управления качеством машин и механизмов на основе единого алгебраического подхода к описанию моделей процессов управления, диагностирования технического состояния, построения баз данных и информационных систем.

Научная новизна данной работы заключается в следующем:

1. Предложен и обоснован единый категориально-функторный подход к представлению моделей и методов решения задач в интегрированной информационно-управляющей системе контроля и управления качеством машин и механизмов, позволяющий в рамках единого математического аппарата рассматривать модели процессов управления, диагностирования технического состояния, построения информационных систем и баз данных.

2. Обоснована система показателей для определения качества машин и механизмов на всех стадиях их жизненного цикла, включающая кроме известных показателей ряд новых, учитывающих характеристики эргономичности изделий.

3. Приведена математическая постановка задачи управления многоканальным вибрационным стендом в виде специальной задачи оптимального стохастического управления многомерной многосвязанной системой с коммутируемой обратной связью, высокими внутренними шумами, неизвестными передаточными характеристиками и известной реакцией системы на неизвестное стохастическое возбуждение.

Показано, что решение поставленной задачи осуществляется в результате решения двух задач: задачи многомерного регулирования по отклонению с замкнутой обратной связью и задачи стабилизации входного процесса при разомкнутой обратной связи.

4. Предложен алгоритм решения задачи многомерного регулирования, который сводится к следующему итерационному процессу:

проводится идентификация в частотной области передаточной функции нелинейного многомерного объекта стенд-испытываемая конструкция, затем по заданному выходному многомерному процессу и передаточной функции вычисляется входное воздействие;

вычисленное входное воздействие является приближенным решением, которое отрабатывается на стенде и итерационно минимизируется по величине рассогласования между заданным и реальным выходным вибрационным процессом.

Показано, что решение задачи стабилизации входного многомерного процесса заключается в определении коэффициентов регулирования одноканальных пропорционально-интегрально-дифференциальных систем регулирования, каждая из которых обеспечивает с заданной точностью (при помощи локальных обратных связей в каждом канале) реализацию вибрационных процессов, вычисленных в задаче многомерного регулирования.

5. Предложена система диагностики технического состояния изделий машиностроения, включающая экспертную систему, позволяющая диагностировать и прогнозировать дефекты машин и механизмов.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

Основные практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

разработано математическое, информационное и программное обеспечение для подсистем интегрированной автоматизированной системы контроля и управления качеством машин и механизмов;

результаты работы внедрены во Всесоюзном научно-исследовательском институте сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМ) (г. Москва) в виде автоматизированной системы управления ресурс-

ными испытаниями с народнохозяйственным экономическим эффектом 4.5 млн. руб. (в ценах 1987г.);

результаты работы внедрены на Харьковском тракторном заводе в виде автоматизированного рабочего места эргономиста.

Вопросы, выносимые на защиту:

- категориально-функторный подход к представлению моделей и методов решения задач в интегрированной информационно-управляющей системе контроля и управления качеством машин и механизмов;

- система показателей для определения качества машин и механизмов на всех стадиях их жизненного цикла, включающая, кроме известных показателей, ряд новых, учитывающих характеристики эргономичности изделий;

- постановка задачи управления многоканальным вибрационным стендом в виде специальной задачи оптимального стохастического управления многомерной многосвязной системой с коммутируемой обратной связью, высокими внутренними шумами, неизвестными передаточными характеристиками и известной реакцией системы на неизвестное стохастическое возбуждение;

- метод решения задачи многомерного регулирования, который сводится к следующему итерационному процессу:

проводится идентификация в частотной области передаточной функции нелинейного многомерного объекта стенд-испытываемая конструкция, затем по заданному выходному многомерному процессу и передаточной функции вычисляется входное воздействие; вычисленное входное воздействие является приближенным решением, которое отрабатывается на стенде и уточняется по величине рассогласования между заданным и реальным выходным вибрационным процессом;

- система диагностики технического состояния изделий машиностроения, включающая экспертную систему, позволяющая диагности-

ровать и прогнозировать дефекты машин и механизмов.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на заседаниях кафедры прикладной математики Харьковского института радиозлектронники;
- на заседаниях технического совета Харьковского проектного конструкторско-технологического института по разработке и внедрению автоматизированных систем для оборудования с программным управлением (СИКТИ АС);
- на Всесоюзной конференции по разработке испытательных стендов в г. Москве (1987г.);
- на Всесоюзной конференции по эргономике в г. Игналина (Литва, 1991г.).

Разработка автоматизированной системы виброиспытаний демонстрировалась на ВДНХ СССР и удостоена диплома.

Публикации. По теме диссертации опубликовано семь научных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа содержит 170 страниц машинописного текста, 5 рисунков.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность разработки интегрированной автоматизированной информационно-управляющей системы контроля и управления качеством машин и механизмов, определен предмет исследования, дана общая характеристика работы и ее структура.

В главе 1 проанализированы проблемы автоматизации производ-

ственных процессов и управлен и на предприятиях машиностроения и определено место предлагаемой интегрированной информационно-управляющей автоматизированной системы контроля и управления качеством машин и механизмов в интегрированном производственном комплексе. Рассмотрены существующие виды контроля качества и различные методы испытаний изделий машиностроения и выделен класс испытаний (ресурсные вибрационные, эргономические, диагностика технического состояния), которые можно объединить в предлагаемую интегрированную систему и определена ее структура. Сформулирована цель и постановка задачи исследования, проводимого в диссертационной работе.

Важное место в интегрированных производственных комплексах занимает автоматизированная система контроля и испытания продукции. Испытания включают в себя процесс управления испытаниями, измерение физических параметров объекта испытаний и внешних воздействий, обработки результатов измерений, анализа состояния объекта испытаний, выработку рекомендаций по корректировке проектных решений; диагностирование и поиск неисправностей, регистрацию результатов и документирование технического процесса испытаний.

Проведен анализ показателей надежности, обычно используемых при испытании изделий машиностроения. Надежность является комплексным свойством и включает в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

В работе проведен анализ методов обработки результатов испытаний на надежность, которые обеспечивают сопоставимость результатов испытаний между собой, а также с результатами эксплуатации. Испытания должны проводиться по определенному плану испытаний, включающему в себя правила, в соответствии с кото-

рыми проводятся испытания, регистрируются отказы и определяется момент прекращения испытаний.

В соответствии с проведенным анализом состояния проблемы предложена структура интегрированной автоматизированной информационно-управляющей системы контроля и управления качеством машин и механизмов, которая позволяет решить следующие целевые задачи: испытание изделий на надежность; определение эргономических характеристик машин; диагностика технического состояния изделия. Приведена структура целевых подсистем, структура комплекса технических средств, структура информационных потоков.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать вибрационный испытательный стенд и измерительную подсистему. Электрогидравлический вибрационный стенд может комплектоваться из нескольких (от 1 до 16 в зависимости от вида испытываемой конструкции) электрогидравлических вибраторов, каждый из которых имеет независимую систему управления, обеспечивающую отработку на выходе каждого вибратора (который является входной точкой приложения вибрации для испытываемой конструкции) заданного вибрационного процесса. Измерительная подсистема состоит из набора датчиков и устройств преобразования к ним, позволяющих измерять сложные вибрационные процессы.

В работе в соответствии с целью исследования определены задачи, которые должны быть решены.

В главе 2 рассмотрены модели нелинейных многомерных систем, функционирующих в стохастической среде, используемые для построения систем управления. Показано, как можно перейти от решения нелинейной задачи управления к линейной. Предложены методы моделирования стохастических процессов, описывающих входные и выходные процессы в динамической системе. Для линейной задачи

обоснованы вычислительные процедуры синтеза системы управления для моделей динамических систем, использующих передаточную функцию объекта управления в частотной области. Рассмотрен алгебраический категоричный подход к построению теории систем управления, заданных уравнением состояния.

Математические модели нелинейных многомерных систем управления могут быть описаны системой дифференциальных уравнений вида:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t),$$

где $x(t)$ - вектор, описывающий состояние системы;

$u(t)$ - вектор входной переменной.

Если $y(t)$ наблюдаемая выходная переменная, то она может быть описана следующим образом:

$$y(t) = g(x(t), u(t), t),$$

Показано, как можно, используя разложение Тейлора, перейти к приближенному представлению системы линейными уравнениями

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \quad t_0 \leq t \leq t_1, \quad (1)$$

где $A(t) = J_x[x_0(t), u_0(t), t]$, $B(t) = J_u[x_0(t), u_0(t), t]$.

Здесь J_x и J_u - матрицы Якоби функции f относительно x и u соответственно. Начальным условием линеаризации уравнения является $x(t_0)$.

Аналогично линеаризуется уравнение для наблюдаемой переменной

$$y(t) = C(t)x(t). \quad (2)$$

Решение линейного дифференциального уравнения (1) с нулевыми начальными условиями в случае, если $A(t)$ - непрерывная функция, а $B(t)$ и $u(t)$ - кусочно-непрерывные функции, имеет вид:

$$x(t) = \int_{t_0}^{t_1} \Phi(t, \tau) B(\tau) u(\tau) d\tau$$
$$y(t) = \int_{t_0}^{t_1} K(t, \tau) u(\tau) d\tau \quad t \geq t_0.$$

где матрица $K(t, \tau) = C(t) \Phi(t, \tau) B(\tau)$ называется импульсной переходной функцией.

В работе показано, что описание систем управления в пространстве состояний и при помощи передаточной функции являются эквивалентными.

Для исследования динамических свойств системы используют преобразование Фурье, которое переводит временную функцию $x(t)$ в частотную функцию $X(f)$ в соответствии с формулой

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

Если рассматривать линейную динамическую систему, заданную своими входными $x(t)$ и выходными $y(t)$ сигналами, то в частотной области она может быть описана простой моделью

$$Y(f) = H(f) * X(f), \quad (3)$$

где $Y(f)$, $X(f)$ - n -мерные вектор-функции преобразования Фурье для выходного $y(t)$ и входного $x(t)$ сигнала соответственно;

$H(f)$ - частотная передаточная функция системы, задаваемая матрицей размерности $n \times n$.

В работе рассматривается дискретное преобразование Фурье, используемое при моделировании сигналов на ЭВМ и алгоритм быстрого преобразования Фурье, позволяющий эффективно реализовать это преобразование на ЭВМ.

Для характеристики временных сигналов часто используется функция плотности спектра мощности $S_x(f)$ (ПСМ) функции x , которая является обобщением среднеквадратичного значения сигнала, определяющего средний квадрат энергии в единицу времени, т.е.

мощность. Показано, что эффективную оценку плотности кросс-спектра двух процессов дает выражение

$$S_{XY} = \lim_{T \rightarrow \infty} E \left[\frac{1}{T} X_k(f, T) Y_k^*(f, T) \right],$$

где E - математическое ожидание, взятое по множеству реализаций k ;

$X_k(f, T)$ и $Y_k(f, t)$ - преобразование Фурье k -й реализации случайного процесса, взятого на интервале $0 < t < T$.

Показано, что для моделей динамических систем в частотной области можно получить эффективную оценку $H(f)$ через ПСМ входного и выходного сигналов даже при наличии шумов

$$H(f) = \frac{G_{YY}(f)}{G_{XY}(f)}$$

или

$$H(f) = \frac{G_{XY}(f)}{G_{XX}(f)}$$

В работе приведены вычислительные процедуры оценивания спектральных плотностей, используемые при реализации на ЭВМ, а также величин погрешностей для оценок спектральных характеристик, полученных финитным преобразованием Фурье.

В работе рассмотрены алгебраические модели систем управления. В исследованиях по математической теории систем существуют тенденции к распространению результатов классической теории на более широкие классы систем и привлечение для этого современного математического аппарата: групп и алгебр Ли, теории модулей,

категорийно-функторного подхода и т. п.

Развитием алгебраической теории систем управления является категорийный подход к описанию динамических систем.

Категория K - это алгебраическая структура, которая задается классом объектов и множеством морфизмов $K(A, B)$, заданных для любой пары объектов A, B . Для любых трех объектов A, B, C существует отображение композиции

$$K(A, B) \times K(B, C) \rightarrow K(A, C) \\ (A \xrightarrow{f} B, B \xrightarrow{g} C) \mapsto A \xrightarrow{gf} C.$$

Для любого объекта существует единичный элемент $id_A \in K(A, A)$.

Морфизмы удовлетворяют аксиоме ассоциативности

$$(fg)h = f(gh) \text{ для всех } A \xrightarrow{h} B, B \xrightarrow{g} C, C \xrightarrow{f} D.$$

В работе рассмотрены "стандартные" категории: категория множеств Set , категория групп Gr , категория $R\text{-Mod}$. В терминах теории категорий определено понятие системной динамики и динамоморфизма. Показано, что системные динамики в K образуют категорию $Dyn(K)$.

Показано, что достижимость и наблюдаемость для системы управления можно определить в терминах категории K путем построения счетных степени и костепени объектов и введения категорийных эквивалентов понятиям отображения "на" и взаимнооднозначного отображения.

Рассмотрена теория реализации для динамических систем. Система M является реализацией (полной) реакции f (f^Δ), если f (f^Δ) равна (полной) реакции системы M . Введены понятия минимальной и канонической реализации. Приведено доказательство теоремы о эквивалентности минимальной и канонической реализаций, которая обобщает результаты теории Калмана, доказанные для линейных систем в терминах R -модулей.

В главе 3 рассмотрены модель и методы, используемые в подсистеме вибродиагностики технического состояния машин и механизмов. Сформулирована в общем виде постановка задачи определения технического состояния сложных объектов, рассмотрены диагностические модели механических систем, обосновано применение экспертной системы для диагностирования технического состояния машин и механизмов. Сформулирована задача распознавания в терминах теории категорий.

Математическая модель объекта диагностирования может быть представлена упорядоченным множеством

$$\Delta = \langle T, U, Y, X, F, L \rangle,$$

где T - множество моментов времени, U и Y - множество входных и выходных сигналов, X - множество состояний объекта, F - оператор, определяющий динамику изменения состояния объекта, L - оператор выходов, описывающий формирование выходного сигнала в зависимости от внутренних и внешних возмущений.

Показано, что диагностика технического состояния может быть формализована в виде диаграммы

$$T \times U \times X \xrightarrow{L} Y \rightarrow E \rightarrow S$$

$Y|Q$

- E - множество заданных видов технического состояния;
- S - множество решений об истинном техническом состоянии;
- Q - фактор-множество по отношению эквивалентности, относительно различия текущие состояния объекта к определенному виду технического состояния.

В работе рассмотрены различные типы диагностических моделей: вероятностные модели, модели на основе алгебры логики, структур-

но-следственная модель, модель диагностической матрицы неисправностей, регрессионная модель.

В соответствии с рассмотренными моделями предложены методы распознавания состояния системы. В работе рассмотрены методы разделения в пространстве признаков с использованием дискриминантной функции. Задача разделения объектов на классы объектов и выделения групп признаков решается метрическими методами в рамках теории классификации.

Для решения задачи диагностирования методами теории распознавания необходимо определить признаки, характеризующие состояние системы. Эти признаки получаются путем обработки экспериментальных данных. Предложена структура комплекса программных средств, для обработки экспериментальных данных, включающего следующие разделы: предварительная обработка данных; вычисление статистических, спектральных, корреляционных характеристик и соответствующих доверительных интервалов для одного канала измерения; парный анализ статистических, спектральных, корреляционных, регрессионных характеристик; множественный анализ тех же характеристик; аппроксимация и сжатие информации.

Рассмотрены модели механических систем в виде дифференциальные или алгебраические уравнения, связывающие структурные и диагностические параметры. Задача нахождения оценки оператора динамического звена (передаточной функции) системы носит название идентификации. Рассмотрены два подхода к описанию передаточной функции - непараметрический и параметрический.

Рассмотрена структура экспертной системы, содержащей формальный математический аппарат дедуктивных систем, который строится на базе аксиом и правил вывода. Предложена структура автоматизированной системы диагностирования.

Постановка задачи распознавания может быть обобщена и сформулирована в терминах ОI-категории, т.е. упорядоченной категорией с инволюцией. Рассмотрена категория байесовских систем Bay. Показано, что решающее правило для категории Bay соответствует оценке Байесса для апостериорной вероятности.

В главе 4 рассмотрены эргономические модели для проверки комплексного влияния различных неблагоприятных факторов на состояние человека.

Оценку степени усталости обычно связывают с тонкими биохимическими анализами состава крови человека, которые в настоящее время не поддаются автоматизации. В работе предложен косвенный метод определения состояния адаптационной деятельности организма человека по вариации R-R интервалов его сердечного ритма, которая содержит богатую информацию о состоянии всего организма.

Рассмотрен механизм возникновения аритмий и предложены методы анализа сердечного ритма, которые можно условно разделить на три класса: определение средних и мгновенных значений частоты сердечных сокращений (ЧСС); оценка вариабельности ЧСС; анализ переходных процессов. Рассмотрены методы оценки вариабельности ЧСС, в которых можно выделить методы анализа суммарной вариабельности без учета порядка следования (статистический анализ и вариационная пульсометрия), методы определения внутренней организации рядов (корреляционная ритмография и автокорреляционный анализ) и методы исследования периодических составляющих (автокорреляционный и спектральный анализ).

Среди предложенных методов выделен спектральный анализ как один из ведущих методов обработки динамических рядов кардиоинтервалов. Если рассматривать систему управления сердечным ритмом

как систему со многими входами, влияния которых суммируются, то спектральный анализ позволяет получать результаты, которые имеют легко интерпретируемый физиологический смысл.

В главе 5 рассмотрена общая модель информационной системы, которая позволяет описать процесс обработки информации в интегрированной системе контроля и управления качеством машин и механизмов. Введено понятие структуры и семантики формальных языков, используемых для описания различных предметных областей. Обоснован общий категорийный подход к построению моделей информационных систем, позволяющий описывать различные предметные области.

Введено понятие дедуктивной системы и показана процедура построения множества ее теорем. Рассмотрены формальные языки первого порядка.

Рассмотрен категорийный подход к моделированию знаний, предполагающий, что знания можно представить в виде набора областей и системы отображений и отношений. Теория категорий представляет математические средства для отражения семантики и логики понятий.

Для описания некоторого понятия предметной области используется система областей и система преобразований между ними. Показано, что система областей образует категорию. Приведен прием для представления элементов областей. При этом показано, что область определяется не только (и не столько) своими элементами, но и отношениями с другими областями, что является реализацией принципа системности в математической теории систем.

Приведены категорные средства определения наборов операций, которые позволяли бы выражать одни области и преобразования через другие. Рассмотрены принципы конструирования операций типа декартова произведения областей, суммы областей, пересечения

областей, факторобластей, экспоненцирования. Показано, как в терминах теории категорий можно определить операции, аналогичные операциям исчисления предикатов. Введено понятие рефлексивных категорий, которые позволяют моделировать системы знаний с само-описаниями. Приведена процедура построения рефлексивных категорий, заданных конечным множеством образующих и конечным множеством определяющих соотношений. Описана схема построения категорных операций.

При реализации на ЭВМ систем поддержки баз знаний для каждого категорного рефлексивного алгебраического объекта строится свое отношение - таблица результатов операции, примененной к дескрипторам. Тогда запросы к системе могут быть интерпретированы как запросы к реляционной базе данных, которая хранит аппроксимацию категории в виде набора отношений (для каждой операции - свой) между дескрипторами.

В главе 6 рассмотрена реализация подсистем виброиспытаний и эргономических испытаний, которые являются составными частями предлагаемой интегрированной информационно-управляющей системы контроля и управления качеством машин и механизмов.

Задача проведения ресурсных испытаний при случайном нагружении может быть разбита на два этапа. На первом этапе решается задача многомерного регулирования с замкнутой обратной связью по отклонению выходного сигнала, в результате которой вычисляется многомерный входной сигнал, обеспечивающий имитацию условий эксплуатации. На втором этапе решается задача стабилизации входного сигнала, вычисленного на первом этапе.

Приведена формальная постановка задачи многомерного регулирования для реализации стендовых ресурсных испытаний изделий машиностроения при случайном воздействии.

Обозначим пространство входных процессов через X , а выходных - через Y . Пусть $x(t, \xi) \in X$ - входной случайный процесс, где t - переменная времени, ξ - случайный параметр. При фиксированном ξ_0 реализация случайного процесса принадлежит пространству многомерных непрерывных ограниченных функций.

Пусть известна реализация выходного процесса, полученная в условиях натурной эксплуатации $y_j(t) = y(t, \xi_0) \in Y_c \in Y$, где Y_c - пространство выходных сигналов, наблюдаемых в условиях стенда, и $t \in [t_1, t_2]$. Будем говорить, что решена задача многомерного регулирования, если найдено такое входное воздействие $x_c(t) \in X_c$, где X_c - пространство входных сигналов, реализуемых на стенде, и $t \in [t_1, t_2]$, которое, будучи воспроизведено на испытательном стенде, вызовет выходной вибрационный сигнал $y_c(t) \in Y_c$, близкий в некоторой метрике к сигналу $y_j(t)$, $t \in [t_1, t_2]$.

Тогда задача многомерного регулирования может быть сформулирована как задача оптимизации:

$$\begin{cases} L[x_c(t), F_0] = \min_{x(t) \in \Omega} L[x(t), \hat{F}] & (4) \\ y_j(t) = \hat{F}_0[x_c(t)], & (5) \end{cases}$$

где $\Omega = \{ x(t) \in X_c, t \in [t_1, t_2] \}$,

$$L[x(t), \hat{F}] = \|y_j(t) - \hat{F}[x(t)]\|$$

\hat{F} - оценка оператора F , полученная в классе многомерных линейных операторов.

Решение задачи многомерного регулирования сводится к решению одновременно двух связанных задач: задаче идентификации динамического объекта F (5); задаче оптимизации (4).

В соответствии с моделями, рассмотренными в главе 2, приведены методы и алгоритмы решения задачи многомерного регулирования.

ния. Рассматривается линеаризованная модель динамической системы в частотной области (3). Решение задачи сводится к идентификации $H(f)$ и нахождению функции $Y(f)$ по известной $X(f)$ с последующим преобразованием во временную область при помощи обратного преобразования Фурье.

Для определения $H(f)$ необходимо проводить идентификацию системы путем подачи тестовых сигналов на вход системы с одновременной регистрацией выходных сигналов. Показано, что для проведения идентификации необходимо подавать тестовый сигнал вместе с некоторым фоновым сигналом, идущим по всем каналам, и обеспечивающем вывод конструкции на номинальный режим. Если фоновый и тестовый сигнал генерировать как некоррелированные сигналы, то оценка $H(f)$ имеет вид

$$\hat{H}(f) = \frac{G_{x_T Y}(f)}{G_{x_T x_T}(f)},$$

где $G_{x_T Y}(f)$ - оценка взаимного спектра тестового и выходного сигналов;

$G_{x_T x_T}(f)$ - оценка автоспектра тестового сигнала.

В соответствии с моделью (3) по оценке $\hat{H}(f)$ и заданному значению $Y_j(f)$ можно получить $\hat{X}_j(f)$, и восстановить при помощи обратного преобразования Фурье соответствующий временной ряд $\hat{x}_0(t)$, который является решением линеаризованной задачи и первым приближением итерационного процесса решения задачи многомерного регулирования. Оценка точности найденного решения производится путем подачи его на вход системы управления электрогидравлического стенда и регистрации сигнала рассогласования:

$$\Delta y_i(t) = y_i(t) - y_j(t),$$

где $y_i(t)$ - выход системы при подаче на вход решения $\hat{x}_i(t)$, по-

лученного на i -м шаге итерации;

$y_j(t)$ - эталонный процесс.

Вычисление следующего приближения входного сигнала $\hat{x}_{i+1}(t)$ вычисляется в соответствии с методом Ньютона:

$$\hat{x}_{i+1}(t) = \hat{x}_i(t) + k \Delta x_i(t), \quad (6.5)$$

где k - коэффициент пропорциональности, выбираемый в ходе итераций;

$\Delta x_i(t)$ - сигнал коррекции, вычисляемый на i -м шаге итерации при помощи обратного преобразования Фурье частотного сигнала коррекции: $\Delta X_i(f) = N^{-1}(f) \Delta Y_i(f)$.

Показано, что итерационная процедура является вариантом модифицированного метода Ньютона решения нелинейных систем уравнений. Итерация может производиться и собственно методом Ньютона, при котором идентификация должна проводиться на каждом шаге.

В работе описано два варианта комплекса технических средств для реализации решения задачи многомерного регулирования. Первый вариант комплекса технических средств представляет собой двухуровневую систему управления системой из 16 электрогидравлических цилиндров, нижний уровень которой реализован на специализированном микропроцессорном комплексе, а верхний - на базе управляющей мини-ЭВМ типа СМ 1420. Второй вариант состоит из нижнего уровня на базе управляющей микро-ЭВМ СМ 1810 и верхнего - на базе персональной ЭВМ стандартной конфигурации типа IBM PC XT/AT.

В работе подробно рассмотрено программное обеспечение системы виброиспытаний, включающего следующие модули: модуль подготовки данных, модуль тестирования, модуль генерации сигналов, модуль анализа сигналов, модуль связи с оператором, модуль испытания, модуль идентификации, модуль синтеза одноканального регулятора производит выбор коэффициентов регулирования, модуль мно-

гоканального регулирования, модуль контрольного измерения, модуль диагностики. Раскрыты алгоритмы функционирования и взаимодействие модулей при решении задачи многомерного регулирования.

В работе описана реализация автоматизированного рабочего места (АРМ) эргономиста, ориентированного на использование технического обеспечения системы виброиспытаний. Подсистема многомерного управления позволяет воспроизводить вибрацию на рабочем месте водителя, а эргономическая подсистема - определять степень утомляемости водителя в зависимости от уровня вибрации, шума и других неблагоприятных факторов.

В работе рассмотрено программное обеспечение АРМ эргономиста, включающее следующие модули: модуль формирования файлов данных, модуль формирования пространства признаков, модуль обработки сердечного ритма, модуль статистической обработки результатов испытаний, модуль анализа парной корреляции.

В приложении приведены результаты работы контрольного примера итерационной процедуры решения задачи многомерного регулирования, расчет экономической эффективности внедрения системы виброиспытаний, акт о внедрении автоматизированной системы виброиспытаний, акт о внедрении автоматизированного рабочего места эргономиста, диплом ВДНХ УССР. „

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

- обоснован единый категориально-функторный подход к представлению моделей и методов решения задач в интегрированной информационно-управляющей системе контроля и управления качеством

машин и механизмов, позволяющий в рамках единого математического аппарата рассматривать модели процессов управления, диагностирования технического состояния, построения баз данных и информационных систем;

- предложена и обоснована система показателей для определения качества машин и механизмов на всех стадиях их жизненного цикла, включающая, кроме известных показателей, ряд новых, учитывающих характеристики эргономичности изделий;

- разработана математическая постановка и алгоритмы решения задачи управления многоканальным вибрационным стендом для реализации оптимального стохастического управления многомерной многосвязанной системой с коммутируемой обратной связью, высокими внутренними шумами, неизвестными передаточными характеристиками и известной реакцией системы на неизвестное стохастическое возмущение;

- разработаны модели вибрационных процессов и динамических механических систем, методы и алгоритмы обработки экспериментальных данных, методы диагностирования технического состояния сложных объектов, как задачи распознавания образов;

- предложены модели и методы оценки утомляемости человека для определения эргономических свойств машин и механизмов;

- разработано математическое, информационное и программное обеспечение для подсистем интегрированной автоматизированной системы контроля и управления качеством машин и механизмов;

- внедрены в производство подсистемы виброиспытаний и эргономических испытаний для интегрированной автоматизированной системы;

- практическое использование результатов позволило получить экономический эффект.

4. ПЕРЕЧЕЬ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Двухуровневая автоматизированная система управления технологическими процессами стендовых испытаний на базе УВК СМ1420 с использованием микропроцессорных комплексов управления нагрузием. (АСУТП "СТЕНД-1") / Специализированный проектный конструкторско-технологический институт по разработке и внедрению автоматизированных систем для оборудования с программным управлением (СПКТИ АС). Харьков, - 1986.

№ Гос. регистрации 01860022582.

Описание программного обеспечения АСУ. / Депон. СПКТИ АС. Инв. № 4960. с. 21.

Руководство программиста. / Депон. СПКТИ АС: Инв. № 4942. с. 24.

Руководство оператора. Депон. СПКТИ АС. Инв. № 4922. с. 31.

2. Рубан А. Г., Есилевский В. С., Шапиро В. И., Огиенко А. Г. Двухуровневая автоматизированная система стендовых ресурсных испытаний сельскохозяйственной техники. / Информационный листок. Издание ХЦНТИ. № 88-063, 1988г.

3. Есилевский В. С., Рубан А. Г., Колесник Б. А. Программное обеспечение автоматизированных систем управления ресурсных испытаний сельскохозяйственной техники. / Методы и технические средства обеспечения надежности сельскохозяйственной техники. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. М. 1988. с. 54-55.

4. Рубан А. Г., Есилевский В. С., Москович И. Л., Колесник Б. А. АСУТП стендовых испытаний полнокомплектных машин. / Информационный

листок. Издание ХЦНТИ. N P-078-89, 1989г.

Б. Есилевский В. С., Приходько В. В., Андренко Е. А. Отчет о научно-исследовательской работе. Разработка средств и методов управления, обработки и анализа диагностической информации для использования в АСУТП вибродиагностики сельхозмашин.

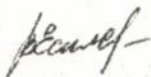
/Специализированный проектный конструкторско-технологический институт по разработке и внедрению автоматизированных систем для оборудования с программным управлением (СПКТИ АС).

N Гос. регистрации 01890011056. Харьков, - 1989.

Анализ методов математической обработки диагностической информации. Депон. СПКТИ АС, Инв. N 5491. с. 41.

Б. Есилевский В. С. Автоматизированная система управления виброиспытаниями механических конструкций при случайном воздействии. В кн.: Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. - Харьков, 1993. вып. 101.

7. Есилевский В. С. Березки С. Г. Эргономическая подсистема в автоматизированной системе виброиспытаний механических конструкций. В кн.: Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. (в печати).



00:00

1977

100

1977

Подписано к печати 22.10.93 г.

Объем I $\frac{1}{2}$ п.л. Уч.изд.я I Формат бум. 60x92
Тираж 100 Зак. II7I

Типография ХВУ, ул. Сумская, 77/79

464769

AB 28788

AB 28.788