

Министерство образования и науки Грузии
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АКАКИ ЦЕРЕТЕЛИ

На правах рукописи

КОЧИАШВИЛИ ТЕЙМУРАЗ ТАМАЗИЕВИЧ

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ
СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

05.02.03. - Система приводов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Кутаиси 2006

Диссертационная работа выполнена на кафедрах №4 "Теоретическая механика", кафедре №122 "Экспертиза и дизайн конструкций технической диагностики" Государственного университета Грузии.

Научные руководители:

ЦИКАРИШВИЛИ МАЛХАЗ АНДРЕЕВИЧ
Доктор технических наук, полный профессор

КИПИАНИ ГЕЛА ОТАРИЕВИЧ
Доктор технических наук, полный профессор

Официальные оппоненты:

РУСАДЗЕ ТАМАЗ ПЛАТОНОВИЧ
Доктор технических наук, полный профессор

ЧАНТУРИЯ НОДАР ЭЖАНИЕВИЧ
Кандидат технических наук, ассоциированный профессор

Защита диссертации состоится 26 декабря 2006 года 13³⁰ на заседании Диссертационного совета Т05.02.N8 Государственного университета Акаки Церетели (ГУЦ).

Адрес: ГУЦ. Корпус 1, аудитория 101, Ахалгаздобис гамзири 98.
4614, Кутаиси, ГРУЗИЯ.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ГУЦ

Автореферат разослан 24 ноября 2006 года

Ученый секретарь Диссертационного совета
ассоциированный профессор

ОЦХЕЛИ ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Диагностика и прогнозирование состояния технических систем является итогом научно-технического прогресса в отношении методов точности вычисления. Во время эксплуатации строительных конструкций и машин имеют место различные повреждения; появляются трещины; после коррозии уменьшается несущее сечение; появляются другие дефекты, которые ведут к снижению возможности работы конструкции или к разрушению с катастрофическими последствиями. Исходя из этого, необходимо ставить точный диагноз на годность конструкций и прогнозировать аварии с помощью контроля.

Центр диагностики технических систем анализирует информации, полученной от сенсоров, имеющих регулярную связь с проверяемым объектом. Как показала статистика последних лет, несмотря на принимаемые чрезвычайные меры, из-за потери целостности конструкций, возникновения катастрофических явлений, как на земле, так и в воде и в воздухе, вызвало не только величайший материальный ущерб, но и привело к непоправимому исходу - тысячам человеческих жертв. Этим объясняется потребность контрольных систем. С каждым годом быстрыми темпами увеличивается замена человеческих органов чувств сенсорами, обеспечение конструкций и технологических линий этими технологическими средствами. Настоящее время рассматривается, как следующий этап машинно-энергетических и информационно-компьютерных революций.

Исходя из выше изложенного, представленный диссертационный труд «Диагностика и прогнозирование состояния технических систем с помощью автоматического контроля» представляет актуальные проблемы. Именно решения этих проблем и решения различных технических задач касается эта работа.

Цель работы. Разработка эффективной системы автоматического контроля диагностики и прогнозирования технических систем.

Научная новизна состоит в следующем:

- рассмотрены виды дефектов, возникших в технических системах, причины вызывающие разрушение и классификация дефектов;
- проанализирован механизм напряженно-деформированного состояния и разрушение технических систем.
- разработаны средства автоматического контроля, для диагностики и прогнозирования.

Практическая ценность работы. Проведенными комплексными исследованиями достигнут результат, который даёт возможность создать систему автоматического контроля для диагностики состояния технических систем и прогнозирования их разрушения.

Эти системы широко могут быть использованы для прогнозирования аварий в машинах и установках.

Реализация результатов работы. Разработанная методика, алгоритмы и программа приняты различными организациями к использованию. Соответствующие акты прилагаются к диссертационной работе.

Надежность основных результатов определяют обоснованные варианты, которые легли в основу алгоритма и подтверждаются точностью оценок расчета и совпадением с итогами теоретических и экспериментальных исследований полученных различными авторами.

Апробация работы. Основные результаты диссертации были должны на:

- республиканской открытой научной конференции «Строительство и двадцать первый век» (Тбилиси, 2005 г)
- научном семинаре кафедры технической диагностики повреждений и конструкций Технического университета Грузии (Тбилиси, 2005 г.);
- научном семинаре кафедры теоретической механики Технического университета Грузии (Тбилиси, 2005 г.);
- научно-технической конференции посвященной юбилейной годовщине автодорожного института Грузии (Тбилиси, 2005 г);
- расширенном научном семинаре Кутаисского государственного технического университета им. Нико Мухелишвили. (Кутаиси, 2006 г).

Публикации. На тему диссертации опубликовано 6 научных статей и 4 тезиса.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Она содержит всего 150 страниц, из них 57 чертежей, 29 страниц приложения. В списке литературы 139 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В сфере технической диагностики современные требования таковы, что использованные раньше классические схемы, которые опираются на аналитические методы исследования и экспериментального усовершенствования процесса, уже нельзя принять за основную научную базу. Сейчас состояние диагностики, контроля и вычислительной техники таково, что проблемы расчёта и прогнозирования сложных, нерегулируемых систем с помощью системного анализа и базы синтеза, могут быть рассмотрены не фрагментно, а комплексно. Функционирование технических систем и устройств рассматривается в совокупности с реальными условиями эксплуатации. Это требует новую методологию научных исследований, которая основана на глубоком анализе механики разрушения, математического моделирования, комплексных систем диагностики и повседневной отчетной практики вычислительных экспериментов. Это существенно расширяет возможности решения диагностических задач. По существу к традиционным, аналитическим и экспериментальным методам исследования добавляется новый метод с широкими возможностями синтеза достижений сопредельных наук, с диагностическими системами, математическим модулированием и числимыми экспериментами на компьютере, что даёт возможность тесно связать физические явления, методы контроля, возможности компьютера и методы прогнозирования.

Особенность этой работы состоит в том, что сделан акцент, что созданием системы автоматического контроля, с помощью сигналов полученных от сенсоров, можно осуществить диагностику состояния технических систем и прогнозирования разрушения, что избавить нас от аварий и катастроф.

Во введении аргументирована актуальность диссертационной темы, ее цель и показана короткая аннотация работы.

В первой главе проанализированы проблемы и задачи диагностики и прогнозирования аварий технических систем.

Рассмотрены виды дефектов, возникших в технических системах, причины вызвавшие повреждения. Сделана классификация дефектов, обзор методов диагностики и контроля.

Различают 4 вида дефектов:

1. Точечный дефект. Он происходит, когда в нескольких узлах решетки нет атомов, или какой-нибудь узел содержит атом, носящий отличительные свойства, или атомы расположены за узлом решетки.
2. Линейный дефект. В это время возникает наружная дислокация или винтовая дислокация.
3. Поверхностные дефекты.
4. Объемные дефекты. Например, когда внутри элемента существуют поры или маленькие частицы элемента другого свойства.

Процесс разрушения - сложный, многоступенчатый процесс, происходящий внутри элемента раньше, чем трещины станут заметны для человеческого глаза. Трещины, в зависимости от их длины, могут изменяться от нескольких ангстрем (расстояние между атомами) до нескольких сот метров (Например, магистральный газопровод)

Для изучения и объяснения процесса разрушения, разработана масштабная шкала трещин: трещины в начальной стадии (10^{-7} - 10^{-5}), микротрещины, макротрещины и магистральные трещины. В масштабной шкале для данного участка происходит создание подходящей математической модели и изучение внутреннего строения материала. В масштабной шкале вместе с этим имеются в виду те смешные условия, которые граничат с данным участком слева и справа.

В механике разрушения основное внимание концентрируется на изучении макротрещин, потому что в большинстве конструкций макротрещины являются причинами разрушения.

Для обнаружения и контроля дефектов получили большое развитие неразрушающие методы контроля. С их помощью возможно обнаружение как поверхностных, так и внутренних, скрытых дефектов, установление их местонахождения и размера.

В первой главе рассмотрены методы неразрушающего контроля, изучены процессы деформирования и разрушения конструкций технических систем. Приведены выводы

первой главы.

Во второй главе представлены анализы напряженно-деформированного состояния технических систем и механизма разрушения. Процесс разрушения материалов и элемента конструкции всегда происходит в течение определенного времени. Это связано с тем, что реологические показатели материалов зависят от скорости их деформации, а сам разрушение может проходить при меньшей напряженности на пределе упругости, когда действие нагрузки растянуто во времени. В данном случае обычные критерии распада для одноразовой статической нагрузки уже некорректны, поэтому в формулировке материала разрушения должны быть учтены эффекты процесса времени.

В этой главе даны расчетные модели разрушения материалов и механики твердости, которые предусматривают зависимость перегрузок от времени, а также в этом случае кинетику распространения и зарождение трещин. Даны выводы второй главы.

В механике разрушения определены два подхода к анализу замедленного роста трещин. В первом (в микроструктурном) - главное внимание уделено кинетике микро разрушения. Кинетика разрушения производится уравнениями или химической кинетикой или кинетической теорией прочности. При этом считается, что реологические свойства проявляются только в зоне трещины, а вне трещины материал гибок. Во втором (феноменологическом) подходе в деформирующем теле при изучении кинетики роста трещин с учетом времени действия нагрузок используется концепция механики общей среды и вводятся дополнительные характеристики сопротивления материалов к распространению в них трещин с учетом фактора времени. В полимерных композитных материалах и металлах причиной медленного роста при высокой температуре обычно являются ползучесть материалов и накопление рассеянных повреждений.

Развитие трещин в материале условно можно делить на три периода: инкубационный (подготовительный), тихого квазистатического роста и динамического развития. В диссертации подробно рассмотрены все три периода.

В инкубационном периоде происходит раскрытие трещины без её роста. Согласно принципу Вольтера уравнение контура трещины для вязкотекучих пластинок можно записать так:

$$\delta_1(x, t) = Z^* \delta_0(x, t) \quad (1)$$

где, Z^* - интегральный оператор теории вязкоупругости;

$\delta_0(x, t)$ - функция силовых и геометрических параметров.

Для прямолинейной трещины в бесконечной пластине, находящейся под воздействием саморегулирующей напряженности $\sigma(x, t)$, у этой функции такой вид:

$$\delta_0(x, t) = - \int_{-a_1}^{a_1} q(\xi, t) \Gamma_0(a_1, x, \xi) d\xi \quad (2)$$

где, $a_1 = l + d_1$;

$$q(x, t) = \begin{cases} \sigma(x, t) & (|x| \leq l(t)) \\ \sigma(x, t) - \sigma_0(t) & (l(t) \leq x \leq a_1(t)) \end{cases} \quad (3)$$

Для машиностроения большое практическое значение имеют вопросы разрушения материалов при ударных (импульсных) нагрузках, поскольку на практике одной из самых распространенных причин разрушения элементов конструкции является мгновенное воздействие силы значительной амплитуды. При этом многие конструкции современной техники работают как раз в таких условиях, когда ударная нагрузка их элементов – эксплуатационная норма. При проектировании таких конструкций мы должны знать и учесть допустимую норму таких дефектов трещин в самых ответственных деталях для данного спектра рабочих нагрузок, а также конструкционные средства торможения начинающего роста трещин во избежание развала конструкции.

Динамическая механика разрушения, несмотря на растущий к ней интерес, пока ещё слабо развита и часто не дает исчерпывающего ответа на вопросы, которые ставит перед ней современная техника. Причины этих явлений:

1. Несовершенство теоретических моделей и математические сложности, которые

появляются при решении соответствующих уравнений.

- Недостаточный объем экспериментальных данных для математического моделирования физических процессов происходящих у вершины трещины в передней зоне разрушения. Из-за этого процесс создания критериев динамической механики только начинается.

Критерии использованные в настоящее время в основном получены путем переноса и определенной модификации критериев статической механики в отношении динамических нагрузок материала.

Рассматривается асимптотическое представление компонентов напряжения в полярной системе координат (r, θ) , которые движутся вместе с вершиной трещины:

Для трещин I и II типов (см. рис. 1)

$$\begin{aligned}\sigma_{xx}^D &= \frac{K_{IД}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xx}^I(\theta, v) + \frac{K_{IIД}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xx}^{II}(\theta, v) + 0(1), \\ \sigma_{yy}^D &= \frac{K_{IД}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{yy}^I(\theta, v) + \frac{K_{IIД}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{yy}^{II}(\theta, v) + 0(1), \\ \sigma_{zz}^D &= \frac{K_{IД}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xy}^I(\theta, v) + \frac{K_{IIД}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xy}^{II}(\theta, v) + 0(1); \end{aligned} \quad (4)$$

Для трещин III типа:

$$\begin{aligned}\sigma_{xz}^D &= \frac{K_{IIIД}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xz}^{III}(\theta, v) + 0(1), \\ \sigma_{yz}^D &= \frac{K_{IIIД}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{yz}^{III}(\theta, v) + 0(1), \end{aligned} \quad (5)$$

где, $K_{IД}(t), K_{IIД}(t), K_{IIIД}(t)$ коэффициенты динамической интенсивности напряжения нормального разрыва. $\sum_{xx}^I(\theta v), \sum_{xx}^{II}(\theta v), \sum_{xy}^I(\theta v), \sum_{xy}^{III}(\theta v), \sum_{yy}^I(\theta v), \sum_{yy}^{II}(\theta v)$ с функциями углового распределения в окрестностях вершины трещины.

v - скорость движения трещины, если скорость движения трещины не превышает скорости волн релей и внутренняя энергия деформации тела окончательно, тогда на угловое распределение напряжения $0(1) \ll 1/\sqrt{r}(r \rightarrow 0)$ влияет только значение мгновенной скорости движения вершины трещины в независимости от характера его изменения.

Определены общие закономерности разрушения от усталости металлов и развитие трещин от усталости. Изучены кинетические зависимости от параметров напряженно-деформированного положения скорости роста трещины от усталости. Даны заключения второй главы.

В третьей главе разработаны модель технического моделирования и методы контроля работоспособности. Знаками технического положения считаются определение качественных и количественных свойств объекта. Знаками технического состояния в зависимости от фактических значений могут быть: оправдание, работоспособность, неисправность, неработоспособность (отказ), правильное и неправильное функционирование. Рассматривается два вида диагностирования: техническое и функциональное. Первое-это такое диагностирование, во время которого для контроля системы на объекте происходят тестовые воздействия (рис.2).

Функциональная техническая диагностика осуществляется по назначению в процессе непосредственного использования контроля на объекте, когда на него подаётся, учтенное алгоритмом функционирования объекта, рабочее воздействие. Разработаны методы построения и анализа технического диагностирования, принципы выбора параметров и показатели диагностирования. (см. рис. 3)

Для объекта диагностирования математической моделью называется формальное

описание объекта диагностирования и его поведение во всех технических положениях, могут быть представлены в виде анализов, таблиц, векторных, графических и других форм и также очевидными или неочевидными видами.

Основное требование к моделям состоит в том, что они должны в должной точности описать свойства объекта. Объект функционирования рассматривается, как преобразователь с одной стороны величин (x) , которые вводятся в объект, в другие величины (y) , которые представляют собой реакции объекта. Соответствие входящих и выходящих величин устанавливается оператором функционирования объекта. Описание работы реального объекта можно представить как $y=AX$, где x и y - соответственно векторы входящих и выходящих величин, A - оператор объекта.

Изображение (1) показывает, что входящие величины оператором объекта преобразуются и в итоге выходящие величины равны Y (см. рис.4)

Для качества модели диагностирования объекта исследований используется оператор A , параметры которого находятся в пределах допустимого значения. Если хотя бы один параметр выходит за пределы допустимых значений, тогда объект диагностирования считается неисправным. Предлагают, что охарактеризованный оператором A объект диагностирования имеет множество неисправностей K . При наличии отказа $K_i \in k, i = (1, K)$ один или несколько параметров выходят вне допустимых значений оператора A . Тогда модель диагностирования объекта с отказом K_i будет:

$$Y^{(i)} = A^{(i)}X \quad (6)$$

где $A^{(i)}$ - оператор диагностирования объекта с отказом K_i .

Если возможно получить совокупность изображения типа (2) для любого отказа $K_i \in k, i = (1, K)$, эта совокупность вместе с изображением (1) создают очевидную модель диагностирования объекта. Оператор представляет достаточно общий показатель любого свободного объекта. Выбор конкретной формы оператора зависит от описания физических свойств объекта, определяется условием задачи диагностирования и полученными методами решений.

В диссертации исходя из видов оператора A исследуемые объекты разделены на следующие классы: Объект, имеющий оператор, преобразующий совокупность входящих величин, если значения множества и совокупность выходящих величин, полученные с того же множества относятся к дискретному классу. Если значения входящих величин даны дискретными множествами, а оператор объекта преобразует их в значении выходящих величин множества, тогда объект является гибридным.

У объекта диагностирования имеются контрольные точки, которые следят не только за воздействием X и на реакцию Y , но и за внутренними координатами Z , на отдельных связующих входящих изображениях. Каждая элементарная проверка Π_j характеризуется значениями воздействия X_i и реакции R_i объекта или его элемента, тогда реакция на элементарную проверку Π_j зависимая I равна техническому положению:

$$R_j^{(i)} = A_j^{(i)}\dot{X} \quad (7)$$

где $A_j^{(i)}$ - оператор диагностирования объекта или его элемента занятого проверкой Π_j

Для исправного объекта

$$R_j = A_j(\Pi_j) \quad (8)$$

Для объекта с неисправностями

$$R_j R_j^{(i)} = A_j^{(i)}(\Pi_j) \quad (9)$$

Если изображения (8) и (9) от множества Π и от отказов K используются для всех совокупностей проверок, то можно считать что дана очевидная модель.

Если есть зависимость (8) и правило, которое даёт возможность из множества получить совокупность изображений говорят, что дана неочевидная модель.

Для решения задач диагностики технических систем по нашему мнению использование логических моделей имеет преимущество простотой их построения и анализа. Начальной информацией, на основе которой строится логическая модель, можно принять: причинно-итоговые связи параметров исследуемого объекта; функциональные и принципиальные схемы; алгебраические и дифференциальные уравнения, которые связывают входящие и выходящие функции в исследуемом объекте.

В четвертой главе разработаны автоматизированные системы контроля для диагностирования и прогнозирования, сделана классификация автоматизированных систем контроля. Основные показатели, по которым сделана классификация следующие: место расположения, назначение технической системы при эксплуатации, характер решаемых задач, режим определения технического состояния, способ собирания и обработки информации о техническом состоянии систем, правила представления информации.

Вставленные системы контроля дают возможность повысить надежность работы технических систем и обеспечить обязательный уровень безопасности на всех этапах эксплуатации. Вставленная система контроля работает на протяжении всего времени функционирования контрольных систем. Она дает информацию о повреждении, которая используется для решения задач поиска и локализации этих повреждений на предэксплуатационном этапе проверки.

Идентификация повреждений, которую дает вставленная система, используется обслуживающим персоналом во время эксплуатации для принятия решения о возможности выполнения задания.

Принцип построения вставленных систем контроля основан на выполнении следующих последовательных операций: измерение параметров состояния технических систем и определение их критических значений; логический анализ сигналов, в итоге которых фиксируется работоспособность контролируемого объекта и повреждение; подача сигнала о выключении поврежденных устройств и взамен их включение резервных, если таково предусмотрено в контролируемой системе; подача сигнала о повреждении.

В качестве примера вставленной системы, где реализованы перечисленные операции, рассмотрена трехканальная автоматическая система управления, которая работает в автоматическом режиме стабилизации (рис.5)

В диссертации разработана структурная схема автоматической системы контроля (рис.6) которая состоит из: аппаратуры присоединения к объекту контроля (первичные измерительные преобразователи, адаптеры, коммутаторы); цифровых измерительных приборов (аналого-цифровые преобразователи); интерфейсных средств (компьютеры, микропроцессоры, программно-логические приборы); аппаратуры регистрации и индикации (цифровые и печатные устройства, графопостроители, накопители, дисплей, табло).

Также разработана автоматизированная система устройства на базе автономных микропроцессорных регистраторов, блок-схема которой дана на рис.7

Регистратор выполнен на базе монокристалльного микроконтроллера, который работает под руководством собственной автономной программы и выполняет следующие функции: алгоритм регистрации аналогичного сигнала полученного от передатчика передаёт в цифровом виде в полупроводниковое запоминающее устройство;

В диссертации представлены примеры использования автоматических систем контроля, где показано устройство разработанных систем и высокий уровень практической реализации.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Изучены виды дефектов, возникающих в технических системах, дана их классификация, рассмотрены современные экспериментальные методы выявления первых трещин и процесс накопления выявленных повреждений;
2. Доказано, что реологические показатели материалов зависят от скорости их деформации, а сам разрушение может протекать при напряжениях меньших предела прочности на грани твердости, когда действие нагрузки растянуто во времени;
3. Теоретически изучен механизм распространения трещин в линейной вязкоупругой среде при длительной статической нагрузке и механика роста трещины. В реальных материалах для трещин нормального разрыва эффект локализации пластического течения должен быть более сильным, поскольку скорость распространения трещины вызывает увеличение скорости деформирования вблизи ее вершины, что, со своей стороны, приводит к повышению предела пластичности;
4. Показателям технического состояния признаны определение качественных и количественных свойств объекта. Разработаны методы технической диагностики построения и анализа модели, принципы выбора параметров и показатели диагностирования;
5. Даны классификация автоматизированных средств контроля и основные признаки классификации.
6. Разработаны структурные схемы построения логического и кодирующего устройств контроля; уникальная схема автоматической системы контроля в условиях эксплуатации технических систем и блок-схемы автоматического контроля прогнозирования аварий.
7. Определено качество системы контроля и рассмотрены примеры использования автоматических систем контроля.

Основные итоги диссертационного труда опубликованы в следующих научных трудах:

1. Ванишвили Н.И., Кочиашвили Т.Т., Лежава Г.К. Расчёт в перемещениях полой оболочки и пластин, ослабленных прямоугольными вырезами. Международный научный журнал "Проблемы прикладной механики", № 2(15). – Тбилиси, 2004. - с. 100-107. (На русском языке).
2. Кочиашвили Т.Т. Применение физических методов при различных видах нагружения и исследования для целей диагностики. Труды Автомобильно-дорожного института, №2. - Тбилиси, 2005. - с. 122-126. (На русском языке)
3. Кочиашвили Т.Т., Тодуа М.Н., Цурцумиа Р.Г. Исследование собственных нелинейных колебаний опертой по контуру пластины. Труды № 1(447). - Тбилиси: Технический университет Грузии, 2003. - с. 102-104. (На русском языке).
4. Тодуа М.Н., Кочиашвили Т.Т., Долидзе К.К. Устойчивость однородной пластины с защемленными продольными и опертыми поперечными сторонами при одноосном сжатии. Международная научно-техническая конференция, посвященная 70-летию ректора Грузинского автомобильно-дорожного института, №2. -Тбилиси, 2005. -с. 160-161. (На русском языке).
5. Цикаришвили М.А., Кочиашвили Т.Т. Оценка диагностики механических систем и работоспособности. Международный научный журнал "Проблемы механики", №3(20). – Тбилиси, 2005. - с. 103-105. (На русском языке).
6. Цикаришвили М.А., Лагундаридзе Г.Н., Цакадзе А.Ш., Кониашвили П., Кочиашвили Т.Т. Разработка систем автоматического контроля прогноза аварий, происходящих в экстремальных случаях. Журнал "Энергия", № 1 (37). – Тбилиси, 2006. - с. 103-105. (На грузинском языке).