

На правах рукописи

ЧАН КОНГ ЗУНГ

**ИНФОРМАЦИОННО-СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТОЧНОЙ, ДОСТОВЕРНОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ЭТАПАМ ЕГО СОЗДАНИЯ**

Специальность 05.13.01

«Системный анализ, управление и обработка информации (информатика)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2006

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» (г. Санкт – Петербург)

Научный руководитель: - доктор технических наук,
профессор Вященко Юрий Леонидович

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
профессор Малиновский Владимир Степанович

- кандидат технических наук,
доцент Сорокин Анатолия Александрович

Ведущая организация: ОАО Невский Завод

Защита состоится « 22 » июня 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.18 в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, 9-й учебный корпус, аудитория 325.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан « 08 » июня 2006 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета _____ Шашихин В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одно из основных противоречий в развитии техники заключается в том, что при постоянном возрастании её сложности и одновременном повышении и ужесточении требований к надёжности технических комплексов (ТК) необходимо эти требования обеспечивать с высокой степенью гарантии и в заданные ограниченные сроки.

Причины обсуждаемого противоречия заключаются в несовершенстве методологии и инструментария анализа, оценки и обеспечения надёжности, используемых как на этапах создания, так и других стадиях жизненного цикла ТК. Это приводит к неопределённости и отсутствию достаточной гарантии в достигнутом уровне надёжности создаваемых образцов ТК, к затягиванию процесса отработки изделия, к трудностям, с которыми постоянно сталкивается заказчик при приёмке и разработчик при сдаче продукции. Очевидно, разрешение данного противоречия имеет важное практическое значение.

Цель и задачи исследования. Целью работы является повышение точности, достоверности и эффективности оценки надёжности ТК по всем этапам проектирования, включая отработку и испытания, на основе информационно-системного подхода.

Для достижения цели в работе решаются следующие задачи:

1. Информационно-системная формализация процесса создания ТК, заданной надёжности, включающая информационную динамическую модель надёжности (*ИДМН*) создаваемого ТК.

2. Разработка методов и алгоритмов проектной оценки надёжности ТК, повышающих эффективность поиска оптимальных по надёжности проектно-конструкторских решений на ранних этапах его создания.

3. Разработка методов и алгоритмов точной и достоверной оценки надёжности ТК в процессе опытной отработки и испытаний.

4. Разработка модели корректировки достоверности оценки надёжности ТК в процессе проектирования, опытной отработки и испытаний.

5. Разработка комплексного алгоритма, принципов автоматизации и программного обеспечения точной и достоверной оценки надёжности ТК на этапах его создания.

Исследования и решения задач в диссертации осуществляются для определённого типажа ТК. В диссертации рассматриваются ТК, характеризующиеся неоднородной фи-

зической природой его подсистем, многократным циклическим нагружением, высокодинамичными нагрузками, широким диапазоном условий работы.

Научная новизна работы заключается:

- в разработке методологических и алгоритмических средств анализа и оценки достигнутого (по точности и достоверности) уровня надёжности ТК на этапах его создания на основе информационно-системного подхода;

- в комплексировании разработанных в диссертации моделей и методов в виде обобщённого алгоритма инженерной методики точной, достоверной и эффективной оценки надёжности ТК на этапах его создания;

- в разработке программного обеспечения реализации обобщённого алгоритма с использованием пакетов программ (Matlab, Mathcad).

Практическая ценность работы состоит в том, что:

1. Создана эффективная целостная информационная система оценки надёжности ТК в процессе их проектирования как система инженерная, ориентированная на использование непосредственно разработчиками образцов ТК в процессе выполнения всех этапов создания, позволяющая оперативно оценивать достигнутый уровень надёжности создаваемого ТК с подтверждением соответствия требованиям ТЗ с заданной точностью и достоверностью оценивания.

2. Разработанные методы анализа и оценки надёжности ТК стимулируют поиск и выработку оптимальных по надёжности проектно-конструкторских решений на всех этапах создания, от сравнительного анализа вариантов принципиальных схемных решений конструкции ТК на начальной стадии создания до раскрытия причин отказов и принятия решений по доработкам конструкции на завершающих этапах проектирования.

Реализация результатов работы.

Методологические положения, методики, методы, модели, алгоритмы, программы расчётов на ЭВМ, рекомендации и предложения реализованы в НИР и используются в учебном процессе по курсу «Надёжности ТК», и курсу «Системотехнические методы проектирования ТК» в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, в техническом университете им. Лэ Куй Дона (Вьетнам).

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на VI Международной НТК «Научно-технические проблемы прогнозирования надёжности и долговеч-

ности конструкций и методы их решения» (СПбГПУ, июнь 2005г.), на Международной НТК «Вторые Уткинские чтения» (БГТУ «Военмех», 2005г.), на научно-технических семинарах кафедры Е1 БГТУ (июнь 2005г.) и кафедр Е1, Н5, И3 БГТУ (октябрь 2005г.).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 5 печатных работ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Информационная динамическая модель надёжности ТК.

2. Методы и алгоритмы эффективной проектной оценки надёжности создаваемого ТК: - метод, использующий анализ надёжностной топологии принципиальных схем конструкций ТК; - экспертно-статистический метод оценки надёжности ТК; - метод проектной оценки надёжности ТК с использованием процедур статистического моделирования.

3. Модели, методы и алгоритмы точной и достоверной оценки надёжности ТК в процессе отработки и испытаний, включающие модели изменения надёжности ТК (рекуррентная и аппроксимационная модель).

4. Метод анализа точности и достоверности оценки надёжности ТК с использованием представлений о факторах, определяющих точность и достоверность оценки в «информационной системе координат» текущего проектного этапа, и о факторах, определяющих точность и достоверность оценки в «информационной системе координат» завершающего этапа создания ТК.

5. Обобщённый алгоритм инженерной методики, логически связывающий рассмотренные в диссертации модели и методы точной и достоверной оценки надёжности ТК на этапах его создания, и программное обеспечение, разработанное в среде MATLAB, MATCAD.

Структура и объём диссертации. Поставленные задачи определили структуру работы, которая состоит из введения, 5 основных разделов, заключения, списка используемой литературы, приложения. Основная часть работы изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проводимой работы, формулируются цель и задачи исследования, определяется научная и практическая полезность, описывается структура работы.

В первом разделе диссертации рассматриваются положения информационно-системной методологии (понятия, критерии, показатели, модели) представляющие процесс создания ТК заданной надёжности как управляемый информационный процесс циклического формирования облика ТК, отвечающего требованиям ТЗ. Указанная формализация привела к построению информационно-системной модели данного процесса, составной частью которой является предложенная в диссертации информационная динамическая модель надёжности (*ИДМН*) создаваемого ТК.

ИДМН создаваемого ТК имеет операторный вид:

$$ИДМН_j = \left\{ ПН_{ij} (i = \overline{1, n}); [ПН_{ij}]_{\gamma}; R_j; Q_j; f_{\mu_j}; I_{ex_j}^{\gamma}; I_{ex_j}^{(j-1)}; j = \overline{1, s} \right\},$$

Здесь R – модель работоспособности; Q – модель отказа; f – алгоритм метода оценки ПН.

ИДМН по своему назначению является центральным звеном информационно-системной модели процесса разработки ТК заданной надёжности. *ИДМН* создаваемого ТК, как динамическая модель, отражает изменение своих компонент адекватно особенностям «информационных систем координат» проектных этапов. Раскрытие компонент *ИДМН* – ПН, моделей работоспособного состояния и отказа ТК, методов оценки ПН, исходной информации для расчёта – приводит к анализу структуры надёжности ТК по этапам его создания и решению вопроса о выборе предпочтительного (эффективного) метода оценки ПН на проектных этапах, этапах отработки и испытаний ТК.

Структура надёжности ТК представляется его структурно-логической схемой надёжности (СЛСН) и декомпозицией показателей надёжности ТК. К СЛСН приводит декомпозиция конструктивной и функциональной схем ТК (рис. 1).

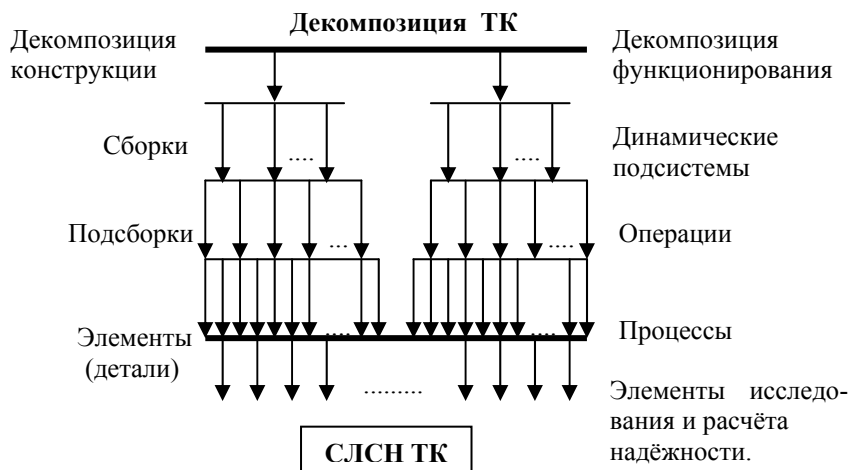


Рис. 1. Схема декомпозиции ТК.

СЛСН ТК определяет декомпозицию ПН ТК в виде соотношений:

$$\begin{aligned}
 ПН &= \prod_{i=1}^n ПН_{\mathcal{D}_i}; ПН = \Phi[вер(t \geq t_{омк})] = \Phi[вер^{-1}(u(t) \in R)] = \prod_{i=1}^n ПН_{\mathcal{D}_i} = \\
 &= \prod_{i=1}^n \Phi_{\mathcal{D}_i}[вер(t_{\mathcal{D}_i} \geq t_{омк_i})] = \prod_{i=1}^n \Phi_{\mathcal{D}_i}[вер^{-1}(x_{\mathcal{D}_i}(t_{\mathcal{D}_i}) \in [x]_{\mathcal{D}_i})];
 \end{aligned}$$

Здесь $вер^{-1}(u(t) \in R)$ - «обратная» вероятностная функция по аргументу ($t: u(t) \notin R$); $ПН_{\mathcal{D}_i}$ - показатели надёжности элементов конструкции ТК.

Решение о предпочтительности того или иного метода принимается по схеме (рис. 2).

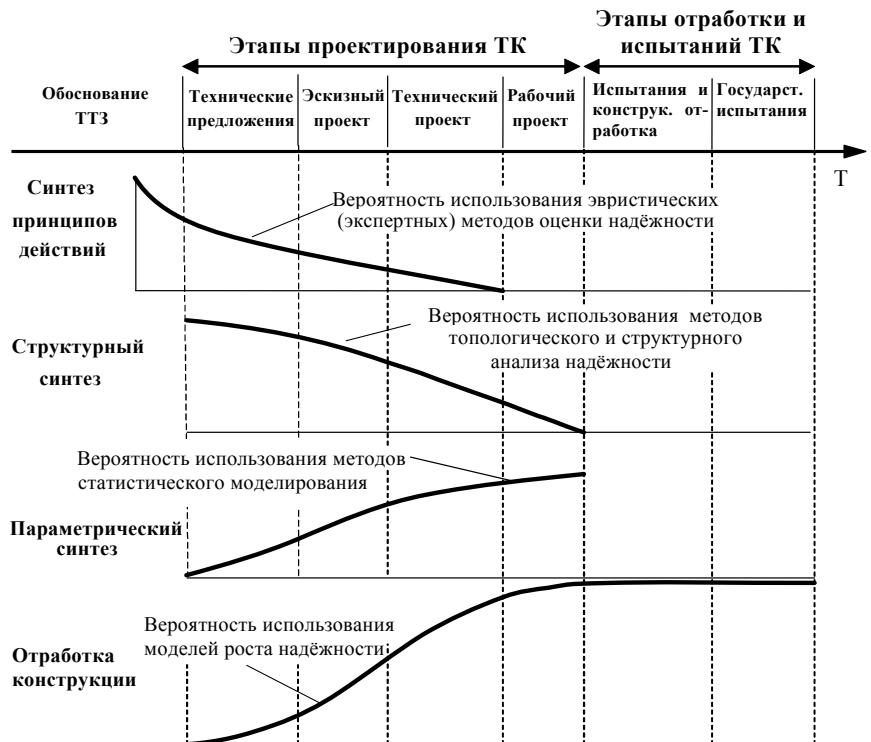


Рис. 2. Схема предпочтений методов оценки ПН ТК по этапам разработки.

Выбранные методы в качестве предпочтительных отвечают требованиям точного, достоверного и эффективного оценивания ПН по этапам проектирования, отработки и испытаний ТК с учётом специфики распределения по проектным этапам решаемых проектно-конструкторских задач: синтеза принципов действий, структурного и параметрического синтеза, отработки конструкции ТК на надёжность. Такими методами оказываются нетрадиционные для практики создания ТК заданной надёжности. Эти методы исследуются во втором и третьем разделах диссертации.

Во втором разделе исследованы нетрадиционные методы и алгоритмы проектной оценки надёжности создаваемого ТК.

Проектная оценка по λ -характеристикам с использованием моделирования надёжностной топологии принципиальных схем конструкций ТК.

В рассматриваемом методе использованы идеи Бравина Е.Л. Идеи Бравина Е.Л. используются в отношении применения закона механического подобия в инженерной практике. Бравин Е.Л. ввёл представления о модулях (таблица 1).

Таблица 1. Модули Бравина ряда классов конструкций

Класс конструкции	Наименование и вид модуля
Типовая импульсная установка	Модуль Бравина: $\psi = \sqrt{qW_0} / d^2 \theta$
Механические приводы	Модуль быстроходности: $\xi = J\varphi / MT^2$
Механические подъемники	Модуль быстроходности: $\xi = me / RT^2$
Центробежные насосы	Модуль быстроходности: $\omega_s = n \cdot \sqrt{Q} / \sqrt[4]{h^2}$

Здесь: q – вес элемента, W_0 – объём каморы, d – калибр, θ - коэффициент горения пороха, J – момент инерции привода, φ – полный угол поворота, M – момент силы, T – общее время операции, n – число оборотов, m – масса, l – высота подъёма, R – сила сопротивления, h – напор, Q - производительность.

Введённое Бранимым Е.Л. понятие о модулях позволяет корректировать значения λ -характеристик в зависимости от облика конструкции.

Моделирование топологии надёжности конструктивной схемы ТК, включающего в себя автоматизированную систему: $b = 1 - q$, $\hat{q} \equiv \lambda_\Sigma$, где $\lambda_\Sigma = \sum_{i=1}^{N1} \lambda_i + \sum_{j=1}^{N2} \lambda_j + \sum_{k=1}^{N3} \lambda_k$; $N1$ - число узлов; $N2$ - число ребер; $N3$ - число механизмов; P – вероятность безотказной работы за один цикл; q – вероятность отказа за один цикл; λ_Σ - суммарная интенсивность отказов системы автоматизации; λ_i - интенсивность отказов системы в i -м узле; λ_j - интенсивность отказов системы в j -й связи; λ_k - интенсивность отказов в k -м механизме системы автоматизации. $\lambda_{i(j)} = \Lambda_{i(j)} \cdot l_{i(j)}$; $\lambda_k = \lambda_{k0} (1 + Z_k)$, $Z_k = M_k / M_1$; M_1 - модуль Бравина для «базового» элемента; M_k - модуль Бравина для реального элемента; $\lambda_{i(j)}$ - интенсивность отказов системы на $i(j)$ -м участке граф-модели (узле или ребре, соответственно); $\Lambda_{i(j)}$ - параметр условного потока отказов на $i(j)$ -м участке граф-модели (узле или ребре); $l_{i(j)}$ - вес $i(j)$ -го участка граф-модели (узла или ребра) выраженный в единичных перемещениях.

Топологические параметры позволяют перейти от традиционного описания принципиальной конструктивной схемы ТК к эквивалентному представлению её структуры в

виде ориентированного графа состояний. Графовая модель принципиальной конструктивной схемы автоматизации, рассматриваемой в качестве примера, приведена на рис. 3.

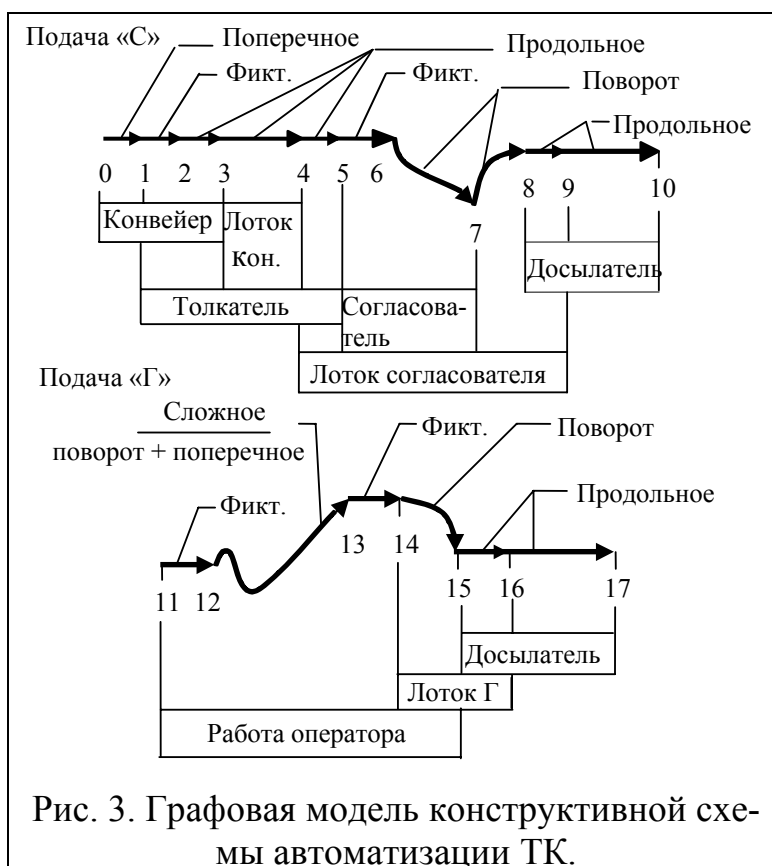


Таблица 2. Надёжностные характеристики системы автоматизации ТК

№	Наименование механизма	Участок модели	Z	$\lambda_{к0} \times 10^{-5}$	$\lambda_{к} \times 10^{-5}$
1	Конвейер	0-1, 1-2, 2-3	0,48	1,3	2,24
2	Лоток конвейера	3-4	0,33	0,3	0,49
3	Толкатель	2-3, 3-4, 4-5	1,02	2,3	5,08
4	Лоток согласователя	4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9	0,62	0,3	0,51
...
9	Досылатель	15-16, 16-17	1,1	0,5	1,15
Итого					19,96

Результат оценки $\beta = 0,99934$ за один цикл.

Результаты анализа надёжностных характеристик данной системы автоматизации ТК представлены в таблице 2.

Проектная оценка надёжности ТК экспертно-статистическими методами.

Все используемые экспертные процедуры обеспечивают определенного вида отображение (φ) высказываний ($A_{Э_i}, i = \overline{1, N}$), представленных в той или иной форме каждым из N экспертов об оцениваемом объекте на шкалу значений результирующей оценки ПН ТК (A) с указанием достигаемой точности оценивания (δ), с выполнением условий независимости экспертизы (L) и отсутствия обратной связи (Q).

$$\varphi: \{A_{Э_i}, i = \overline{1, N}\} \wedge \Lambda \xrightarrow{\delta} (A)/L, Q.$$

Оценка ПН ТК на основе экспертного анализа отражает особенности, прежде всего, исходной информационной ситуации начальных этапов проектирования ТК: наличие образцов ТК, которые могут рассматриваться в качестве прототипов (аналогов) разрабатываемого изделия, образцов с достоверными данными о значениях их ПН. В качестве аналога выбирается изделие со сходными конструктивными параметрами, с близкими ТХ, с подобными условиями эксплуатации, режимами работы, системами технического

обслуживания; изделие, прошедшее обработку и испытания или находящееся в эксплуатации; изделие, изготовленное в сопоставимых производственных условиях. В диссертации экспертиза использована для оценки надёжности ТК на этапе разработки технических предложений.

Проектная оценка надёжности ТК методами статистического моделирования.

Методами оценки ПН ТК, способными эффективно адаптироваться к информационным возможностям эскизного и технического проектов, оказываются процедуры статистического моделирования. В общем случае обработка результатов статистических испытаний при заданных расчётных ситуациях и наработке включает в себя построение гистограмм распределения изучаемых величин, расчёт оценок параметров распределений, построение теоретических функций распределения и расчёт $вер(x_i \in [x_i], t, i = \overline{1, n})$.

Для повышения эффективности использования процедур статистического моделирования в диссертации предлагается:

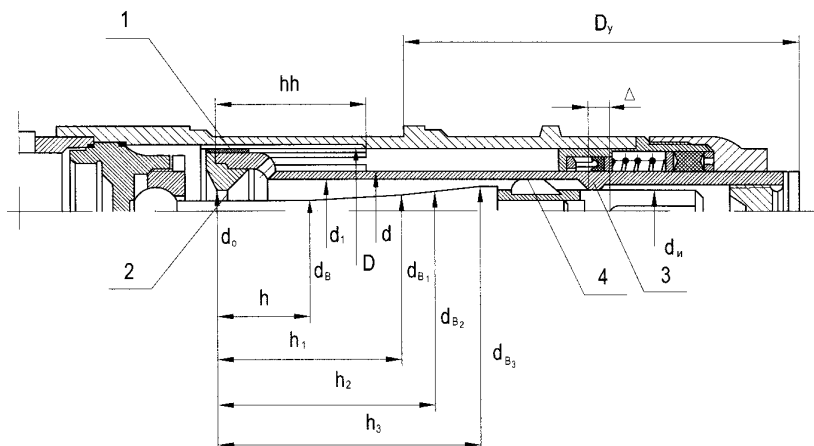
1) Учитывая представление модели работоспособности ТК в виде $R = \{x_i : x_i \in [x_i], i = \overline{1, n}\}$ и выражение оценки ПН ТК соотношением $ПН = \Phi[вер(t \geq t_{от})] = \Phi[вер^{-1} \left(\prod_{i=1}^n x_{\mathcal{E}_i} \in [x_{\mathcal{E}_i}] \right)]$, отражающих СЛСН ТК, статистическое моделирование может рассматриваться в определенном смысле как КЭ-модель, предполагающая исследование элементов ТК и соответствующих им ПН \mathcal{E}_i в единой логической цепи, с реализацией конечно-элементной технологии в алгоритмах оценки ПН \mathcal{E}_i и ПН ТК в целом.

2) Для уменьшения трудоёмкости вычислений $вер(x_i \in [x_i], t, i = \overline{1, n})$, целесообразно, до того как приступить к статистическим испытаниям исходной модели, проанализировать статистическую значимость варьируемых параметров $\alpha_{\kappa}, \kappa = \overline{1, \kappa}$ и произвести их сортировку, выделяя те параметры, незначительные отклонения которых сказываются на стабильности исследуемой динамической системы (на разбросе значений «выходных» параметров x_i). Определение статистически значимых параметров $\alpha_{\kappa}, \kappa = \overline{1, \kappa}$ осуществляется на основе использования методов теории чувствительности, адаптированных к особенностям математических моделей, описывающих параметры работоспособности $x_i(t)$, рассматриваемые как динамические объекты ТК.

В диссертации статистическое моделирование реализовано на примере подробного рассмотрения агрегата ТК – гидравлический тормоз (ГТ) (рис. 4), определяющего характерный динамический процесс - процесс движения откатных частей ТК.

Рис. 4. Схема конструкции ГТ:

- 1 - зазор между рубашкой поршня и цилиндром;
- 2 - зазор между веретеном и регулирующим кольцом;
- 3 - зазор между иглой и очком штока;
- 4 - зазор между направляющей веретена и штока.



Исследование вероятности безотказной работы ГТ за время одного цикла (t) в виде $вер(x \in [x], t)$ потребовало детального рассмотрения оператора данной элементарной динамической системы, представленного системой дифференциальных уравнений $\dot{x} = f(x, \alpha_k, k = \overline{1, n}, t)$, подробного анализа статистических свойств конструктивных и эксплуатационных параметров ТК, выявления статистически значимых исходных конструктивных, физико-механических и эксплуатационных параметров изделия. В данной задаче в качестве параметров работоспособности x_i используются функционалы закона торможения откатных частей: x_1 – макси мальная длина отката, x_2 – максимальная скорость отката, x_3 – максимальная скорость наката, x_4 – время отката-наката.

Для определения $вер(x_i \in [x_i], t, i = \overline{1, n})$ построен алгоритм проведения расчётов на ЭВМ. Результаты расчётов (для семи типовых режимов) представлены на рис. 5 и 6.

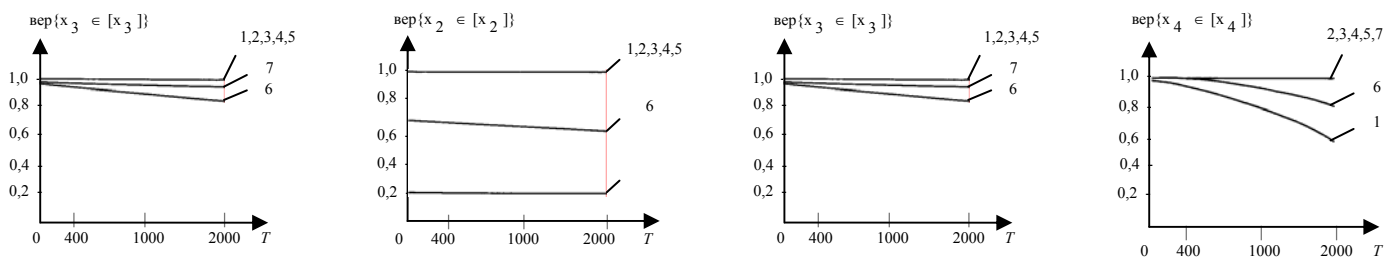
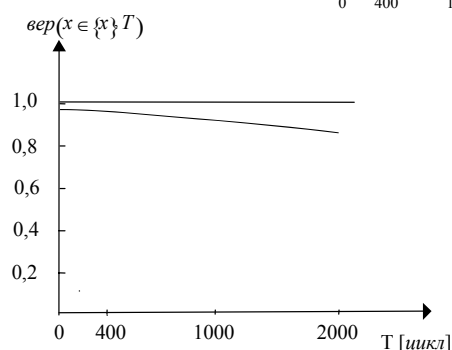


Рис. 5. Зависимости $вер(x_i \in [x_i], T)$.

Рис. 6. Зависимость $вер(x \in [x], T)$.



Зависимости $вер(x_j \in [x]_j, T)$ позволяют определить значения проектных показателей надёжности функционирования ТК для рассматриваемой динамической системы.

В третьем разделе исследованы методы и алгоритмы оценки надёжности ТК в процессе опытной отработки и испытаний.

Задача состоит в определении точечной и интервальной оценок \hat{P} и \underline{P}, \bar{P} по всей накопленной в ходе испытаний информации с учетом её разнородности.

Рассматриваются наиболее эффективные модели. Это рекуррентная и аппроксимационная модели. Аппроксимационная модель имеет вид:

$$i = \overline{1, v}; P_i = P_0 + \sum_{i=1}^i \Delta P_i = P_\infty - (P_\infty - P_0) \prod_{i=1}^i \left(1 - \frac{a \kappa_i}{P_\infty}\right), \text{ где } P_\infty = \frac{a}{a + \varepsilon}; L = \prod_{i=0}^v \binom{n_i}{\hat{m}_i} P_i^{n_i - \hat{m}_i} (1 - P_i)^{\hat{m}_i};$$

$$a, P_0, P_\infty: -\ln L \rightarrow \min; \hat{P}_H = \hat{P} - U_\gamma \sigma_P, i = vj/n,$$

Здесь P_i - вероятность безотказной работы ТК на i -ом этапе испытаний; a, P_0, P_∞ - параметры аппроксимационной модели; a, ε - коэффициенты, характеризующие увеличение или уменьшение P_i после проведения i -ой доработки; L - функция максимального правдоподобия; j - номер испытания. Рекуррентная модель имеет вид:

$$P(A) = P(H_0)P(A/H_0) + P(\bar{H}_0)P(A/\bar{H}_0), \hat{P}(A/H_0) = 1 - \frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2}, \hat{P}(A/\bar{H}_0) = 1 - \frac{m_2}{n_2}, 0 \leq \hat{R} \leq 1,$$

$$\hat{P}(A) = \hat{R} \left(1 - \frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2}\right) + (1 - \hat{R}) \left(1 - \frac{m_2}{n_2}\right), H_1(P_1 < P_2): \hat{R} = R'; H_2(P_1 > P_2): \hat{R} = 1 - R'; H_3(P_1 \neq P_2): \hat{R} = 2 \min(R', 1 - R'),$$

Здесь $P(H_0)$ - вероятность осуществления гипотезы, заключающейся в том, что доработка (изменение режима испытаний) не изменила надёжности изделия и результаты испытаний до и после доработки принадлежат одной генеральной совокупности; m_1 и m_2 - число отказов в испытаниях до и после доработки соответственно; n_1 и n_2 - число испытаний до и после доработки соответственно, $m_{12} = m_1 + m_2$ и $n_{12} = n_1 + n_2$.

Для определения оценки ПН отработываемого ТК по результатам испытаний формируются выборки статистических данных. При этом выборки данных по неустранимым отказам обрабатываются традиционным способом по биномиальной модели. Данные по отказам с устранимыми причинами обрабатываются с помощью исследованных моделей.

В сравнении с применяемой на предприятии-разработчике биномиальной схемой оценки достигнутой надёжности, эффективность использования имеющейся информации

повышается, за счёт «вклада» самой модели роста надёжности, выражаемого в сокращении объёма опытов, необходимых для достижения значения $ПН$ оцениваемого образца.

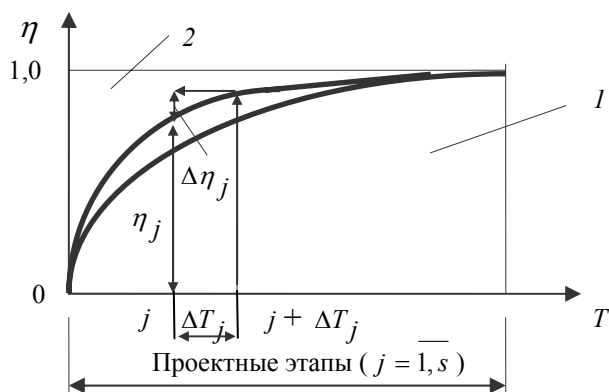
В четвертом разделе анализируются факторы, определяющие точность, достоверность и эффективность оценки надёжности в процессе создания ТК, исследуются возможности корректировки достоверности оценки надёжности ТК в процессе проектирования, отработки и испытаний.

С позиций информационно-системного подхода рассматриваются две группы факторов, определяющих точность и достоверность оценки значений $ПН_{ij}$. Это факторы, определяющие точность и достоверность оценки значений $ПН$ в «информационной системе координат» j -го проектного этапа, и факторы, определяющие точность и достоверность оценки в «информационной системе координат» завершающего этапа разработки ТК.

Качественное представление тенденции, отражающей взаимодействие темпов разработки изделия с мерой адекватности η_j приведено на рис. 7.

- 1- зона недоверности, определяемая факторами 1-й группы;
- 2- зона недоверности, определяемая факторами 2-й группы.

Рис. 7. Соотношение информационного коэффициента адекватности η и темпа разработки ТК (T - длительность разработки ТК).



Анализ зависимости $\eta = \eta(T)$ показывает, что перенесение центра тяжести проектных работ на начальные проектные этапы приводит в части повышения точности и достоверности оценки $ПН$ разрабатываемого ТК к очевидному эффекту: $\gamma_{j+1} = \gamma_j(\eta_j + \Delta\eta_j)$, $\Delta\gamma_{j+1} = \gamma_j \cdot \Delta\eta_j$, где $\Delta\gamma_{j+1}$ - приращение переносимой достоверности на последующий проектный этап за счёт приращения значения информационного коэффициента адекватности. Данный эффект связан с характером перераспределения «ролей», которые играют погрешности, характеризующие точность и достоверность оценивания $ПН$ ТК по координате T , в зависимости от продолжительности разработки изделия.

В пятом разделе изложены принципы построения автоматизированной системы точной и достоверной оценки надёжности ТК на этапах его создания.

Методология информационно-системного подхода отражает концепцию, определяющую необходимость автоматизации анализа и оценки надёжности образцов техники. Автоматизированная система анализа и оценки надёжности создаваемого ТК (АСОН) является решающим условием практической реализуемости этой методологии, которая изначально в качестве своего предмета исследует информационные потоки, а в качестве цели в практической сфере изыскивает эффективные способы и средства их рациональной организации. Центральной частью АСОН является *ИДМН* проектируемого ТК. Для реализации в АСОН *ИДМН* должна быть раскрыта, конкретизирована и адаптирована. С этой целью в диссертации разработан обобщённый алгоритм оценки надёжности ТК в процессе его создания в виде блок-схемы.

Разработаны алгоритмы и программы оценки *ПН* ТК и его подсистем по результатам обработки и испытаний с использованием рекуррентных и аппроксимационных моделей. Исполняющие программные модули разработаны с использованием пакетов программ MathCad, MatLab (рис. 8, 9).

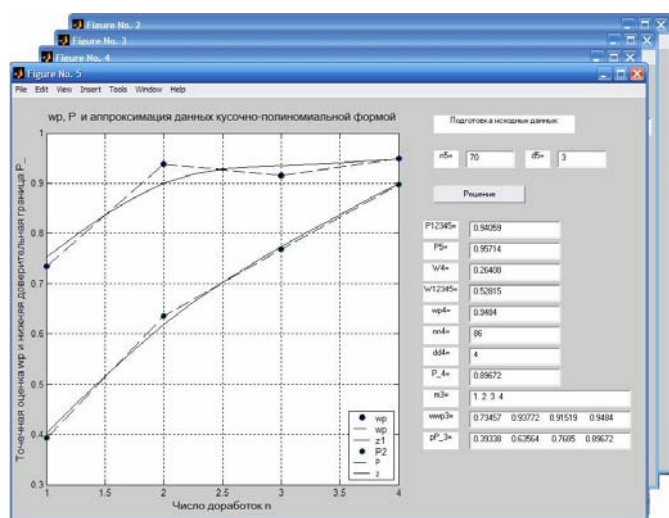


Рис. 8. Окно ввода исходных данных для расчёта *ПН* и вывода результатов расчёта по рекуррентной модели в среде MATLAB.

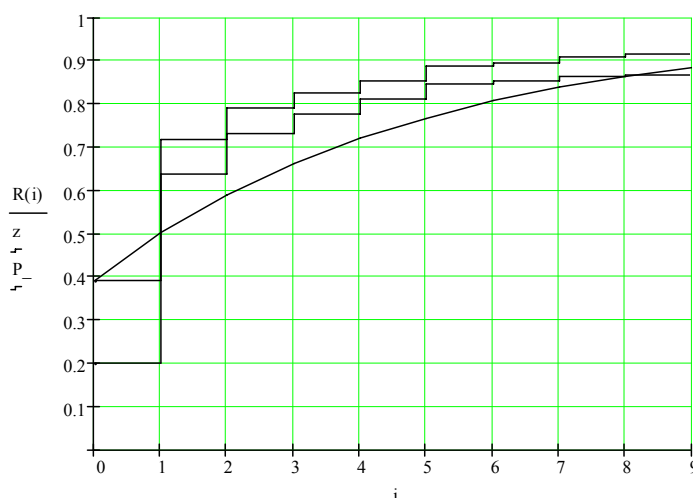


Рис. 9. Результат решения задачи оценки надёжности ТК по аппроксимационной модели в среде MATHCAD.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проделанных в работе:

1. Осуществлены теоретическое обоснование и последовательное изложение методологических положений в виде понятий, определений, критериев, операторов, моделей, представляющих проектирование изделия, как управляемый информационный процесс.

Разработаны информационно-системная модель процесса создания ТК заданной надёжности и *ИДМН* создаваемого ТК. Введённые информационно-системные положения и модели обеспечивают теоретические основания для построения целостной и эффективной информационной системы оценки надёжности изделия на стадиях НИОКР.

2. Разработана система методов проектной оценки надёжности создаваемого ТК. Система включает - метод, использующий анализ надёжностной топологии принципиальных схем конструкций ТК; - экспертно-статистический метод оценивания *ПН* ТК на ранних проектных стадиях; - метод проектной оценки *ПН* ТК, совмещающий конечно-элементное моделирование с процедурами статистических испытаний. Предложенные методы повышают эффективность поиска и принятия проектно-конструкторских решений в процессе создания ТК заданной надёжности.

3. Разработана комплексная логико-вероятностная модель точной и достоверной оценки *ПН* создаваемого ТК на стадиях испытаний и отработки. Комплексная модель объединяет в одном алгоритме биномиальную, рекуррентную и аппроксимационную модели, использующие для оценки надёжности всю имеющуюся неоднородную информацию о поведении обрабатываемого изделия, учитывающие особенности надёжностной структуры изделия, учитывающие фактор обучаемости в условиях постоянных воздействий на конструкцию ТК в виде доработок.

4. Обоснована модель коррекции достоверности оценки *ПН* ТК с использованием представления о факторах, определяющих точность и достоверность оценки в «информационной системе координат» текущего проектного этапа и о факторах, определяющих точность и достоверность оценки в «информационной системе координат» завершающего этапа создания ТК.

5. Построен обобщённый алгоритм и предложены принципы построения целостной и эффективной информационной системы точной и достоверной оценки надёжности ТК на стадиях НИОКР, реализуемой в форме автоматизированной системы оценки надёжности. При этом разработаны и апробированы расчётные программные модули, автоматизирующие выполнение трудоёмких процедур оценки надёжности ТК по результатам испытаний и отработки. Программы разработаны в среде пакетов MATLAB и MATHCAD.

В приложении обосновываются оценка надёжности конструктивной схемы автоматизации ТК, экспертная оценка надёжности ТК, расчётная схема статистического анализа

динамической системы «откат-накат» и подготовка исходных данных, экспериментальное исследование вероятностных характеристик параметров функционирования ТК.

ПУБЛИКАЦИИ

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. **Чан Конг Зунг.** Точность, достоверность и эффективность оценки ПН в процессе создания ТК заданной надежности // Актуальные вопросы управления в организационно-технических системах: Сб. трудов БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. Выпуск 2. СПб.: БГТУ, 2004. С. 169 - 172 .
2. **Чан Конг Зунг.** Конечно-элементное статистическое моделирование в проектной оценке надежности ТК // Актуальные вопросы управления в организационно-технических системах: Сб. трудов БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. СПб.: БГТУ, 2004. С. 173 - 176.
3. **Чан Конг Зунг.** Проектная оценка надежности гидравлического тормоза технического комплекса с использованием процедур статистического моделирования // Вторые Уткинские чтения: материалы конференции. Т.1 / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2005. С. 125 - 128.
4. **Вященко Ю. Л., Чан Конг Зунг.** Машинный метод точной и достоверной оценки надежности технического комплекса по результатам испытаний ограниченного объема // Вторые Уткинские чтения: материалы конференции. Т.2 / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2005. С. 157 - 159.
5. **Вященко Ю. Л., Чан Конг Зунг.** Повышение точности и достоверности оценки надежности технического комплекса с позиций информационно-системных представлений // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения: Труды VI Междунар. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. С. 146 - 149.

Подписано в печать _____. Формат 60 x 84^{1/16}. Бумага документная.
Печать трафаретная. Уч.-изд л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № _____.

Балтийский государственный технический университет
Типография БГТУ
190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д.1.