

Ха Нгуен Бинь

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
ОТРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
НА НАДЕЖНОСТЬ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННО-СИСТЕМНОЙ
ФОРМАЛИЗАЦИИ**

Специальность 05.13.01

“Системный анализ, управление и обработка информации (информатика)”

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой 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 Ледовский Анатолий Дмитриевич

кандидат технических наук,
доцент Афанасьев Александр Сергеевич

Ведущая организация: ОАО Машиностроительный завод «Арсенал».

Защита состоится «22» июня 2006г. в 12 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, корпус 9, а. 325.

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

Автореферат разослан «08» июня 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Шашихин В. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В технических областях продолжают сохраняться негативные тенденции. В традиционном проектировании проявляются главные недостатки: наблюдается затрата больших сил, средств и времени в процессе отработки и испытаний для получения требуемого проекта. Отсутствие современных технологий управления и обработки данных в процессах отработки и испытаний приводит к уменьшению эффективности отработки на надежность, к увеличению сроков отработки. Недостаточная реализация возможностей моделирования на проектных этапах создания технических комплексов (ТК) заданной надежности приводит к увеличению числа доработок. Эти недостатки медленно устраняются. Следствием сказанного является то, что принимаются некондиционные ТК по надёжностным характеристикам, принимаются ТК без достаточного объективного подтверждения соответствия образцов требованиям ТТЗ по надёжностным показателям, затягиваются сроки сдачи образцов ТК. Причины отмеченного заключаются в том, что методология и инструментарий анализа, оценки и обеспечения надёжности, используемые на проектных этапах ТК несовершенны. Это приводит к неопределённости и отсутствию достаточной гарантии в достигнутом уровне надёжности создаваемых ТК; к затягиванию процесса отработки ТК; к трудностям, с которыми постоянно сталкивается заказчик при приёмке и разработчик при сдаче продукции, вынужденные возникающие между ними противоречия в конечном итоге преодолевать принятием субъективных решений о соответствии ТК требованиям ТТЗ по надёжности.

Это состояние показывает, что исследование и совершенствование методологии и инструментария для устранения указанных противоречий и повышения эффективности процесса проектирования ТК являются актуальными задачами. В связи с этим тема диссертации: «Оптимизация параметров процесса проектирования, отработки и испытаний ТК на надежность на основе информационно-системной формализации» является актуальной задачей.

Исследовательским объектом работы является

ТК - сложные технические системы, работающие в режиме высокодинамичных циклических нагрузений, имеющие высокую степень автоматизации, включающие в себя разнообразные по физической природе подсистемы (механические, гидро-, пневмо-, электро-, оптико-механические, электронные, лазерные и др.) и выполняющие разнообразные функции в широком диапазоне условий эксплуатации и режимов.

Предметом диссертационной работы являются модели, алгоритмы и методики для повышения эффективности отработки и испытаний на надежность и оптимизации параметров процессов проектирования, отработки и испытаний ТК заданной надежности.

Целью исследования является разработка и обоснование моделей, алгоритмов и методик, оптимизирующих параметры процессов создания ТК заданной надежности на основе информационно-системной формализации.

Для достижения цели, в работе решались следующие **основные задачи**:

1. Постановка задачи оптимизации параметров процессов проектирования, отработки и испытаний ТК на надёжность с использованием информационно-системной формализации.
2. Обоснование путей реализации задачи оптимизации параметров процессов проектирования, отработки и испытаний ТК на надёжность за счёт разработки инструментов и комплексного алгоритма повышения эффективности процесса отработки на надёжность подсистем ТК.
3. Применение разработанных инструментов для демонстрации достигаемого эффекта при их реализации в процессах отработки и испытаний конкретных подсистем ТК заданной на надёжность.
4. Оптимизация параметров контрольных испытаний ТК на надёжность на основе информационно-системного подхода.
5. Разработка программного обеспечения решаемых задач.

Методы исследования. Научной основой исследования являлись информационно-системные принципы, теории информации управления и моделирования, теории надежности, методов статистического моделирования. Научной базой послужили работы Вященко Ю.Л., Горского Ю.М., Рипса Я. А., и других.

Научная новизна.

- На основе информационно-системной формализации обоснована постановка новой задачи оптимизации надежности ТК.
- Предложен «инструментальный комплекс» для повышения информационной эффективности процесса проектирования, отработки и испытаний ТК на надежность.
- На основе информационно-системного подхода выполнено моделирование задачи оптимизации надежности второго рода. Дано приближение решения задачи надежности с использованием логико-вероятностной метода, информационного метода и процедуры экспертного анализа.
- Разработаны метод, алгоритм и программы для определения оптимального объема контрольных испытаний на надежность на основе информационно-системного подхода.

Практическая ценность выполняемой работы определяется:

- Созданием новой методологии для решения реальной проблемы совершенствования процесса проектирования ТК заданной надежности на основе информационно-

системной формализации.

- Обобщением результатов выполненных реальных исследований для разработки комплекса инструментов с целью повышения эффективности процесса проектирования, отработки и испытаний ТК на надежность.

- Моделированием задачи оптимизации надежности второго рода и приближением ее решения при использовании информационного метода, логично-вероятностного метода и метода экспертного анализа.

- Разработкой метода определения оптимального объема контрольных испытаний в соответствии с информационно-системной формализации.

- Построением алгоритмов для использования предложенных инструментов.

Внедрение результатов работы в учебном процессе и НИР кафедры Е-1 БГТУ имени Д.Ф. Устинова, Технического Университета им. Лэ Куй Дона.

Внедрение подтверждено: удостоверением технического университета имени Лэ Куй Дона о возможности применения результатов диссертации; актом об ожидаемой экономической эффективности применения результатов диссертации в условиях СРВ; актом о внедрении результатов диссертации в учебной процессе кафедры Е-1 БГТУ.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались:

- на международной конференции «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения», СПбГПУ, Санкт-Петербург 2005.

- на общероссийской научно-технической конференции «Вторые Уткинские чтения», БГТУ, Санкт-Петербург 2005.

- на заседаниях кафедр Е-1, И-3, Н-5 БГТУ, 2005.

Публикации

По теме диссертации опубликованы 6 печатных работ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Общий объем работы – 200 стр., в том числе 25 таблицы и 62 рисунка.

Положения, выносимые на защиту:

- Постановка новой задачи оптимизации надежности второго рода, формализующей исследования для повышения эффективности процесса проектирования ТК и совершенствования технологии отработки и испытаний на надежность.

- Использование современных методов статистического моделирования для решения поставленной оптимизационной задачи. Исследование и создание комплексного алгоритма использования теоретических и экспериментальных инструментов.

- Реализация предложенных инструментов при отработке на надежность конкретных

подсистем ТК с целью подтверждения их реальной эффективности.

- Моделирование оптимизационной задачи надежности второго рода и приближение ее решения на основе логико-вероятностного и информационного методов и экспертной системы.

- Метод определения оптимального объема контрольных испытаний ТК на надежность.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность проводимой работы, формулируются цель и задачи исследования, определяется методологическая основа решения задач и проведения исследований, описывается структура работы.

В первой главе дано обоснование постановки задачи оптимизации параметров процессов проектирования, отработки и испытаний ТК на надежность на основе использования представлений информационно-системной формализации.

Поскольку информационным управляемым процессом является процесс проектирования ТК, рассматриваемый как процесс последовательного снятия неопределенности в целенаправленном поиске окончательного варианта. В данном разделе построена информационно-системная модель (ИСМ) процесса создания ТК заданной надежности (рис. 1).

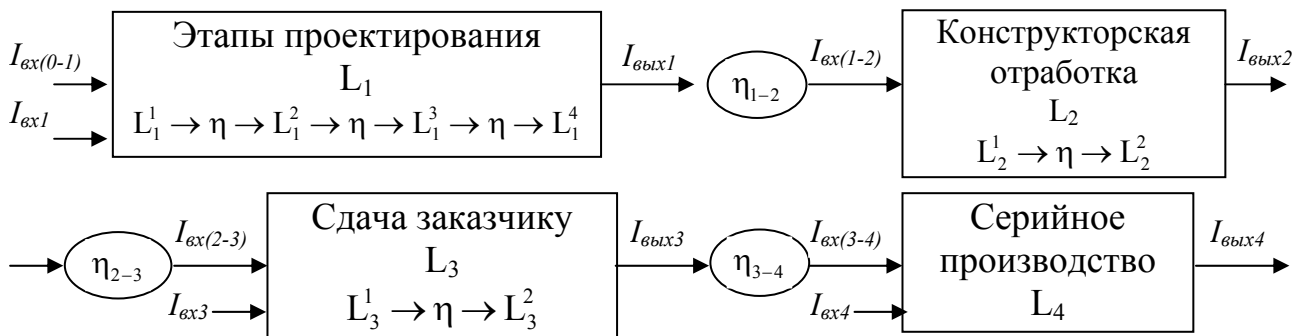


Рис. 1. Информационно-системная модель процесса создания ТК заданной надежности.

Информационно-динамическая модель надежности (ИДМН), соответствующая j -му этапу разработки, представляет собой:

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

В процессе создания ТК заданной надежности необходимо декомпозировать ТК и построить структурно-логическую схему надёжности (СЛСН) и математическую модель работоспособности ТК. Зависимость ПН ТК от ПН_{Э_i} элементов, представленных его СЛСН, и от параметров построенной модели работоспособности имеет следующий вид:

$$ПН = \prod_{i=1}^n ПН_{Э_i}; \quad ПН = \Phi[вер(t \geq t_{отк})] = \prod_{i=1}^n \Phi_{Э_i}[вер^{-1}(x_{Э_i}(t_{Э_i}) \in [x]_{Э_i})]$$

В качестве статистических процедур оценивания информативности текущего проектного этапа при известных значениях $([\underline{ПН}_j], \gamma_j)$ могут использоваться соотношения: $I_{выхj} = \gamma_j \lg \frac{\gamma_j}{1 - \underline{ПН}_j} + (1 - \gamma_j) \lg \frac{(1 - \gamma_j)}{\underline{ПН}_j}$, где $\underline{ПН}_j$ - нижняя граница доверительного интервала $[\underline{ПН}_j, 1]$; γ_j - доверительная вероятность.

Введенные в разделе 1 информационно-системные представления позволили обосновать постановку задачи оптимизации надежности 2-ого рода, формулируемой в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_j \\ \eta_j \end{array} \right\}_{j = \overline{1, s}} : \quad \begin{array}{l} C_{\Sigma} \rightarrow \min \\ \{ ПН_{ij} \in [\underline{ПН}_{ij}] \gamma_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s} \} \\ T \leq T^* \end{array}$$

где C_j - поэтапные затраты; η_j - показатель адекватности; C_{Σ} - суммарные затраты; $ПН_{ij} \in [\underline{ПН}_{ij}] \gamma_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s}$ - требование по i -ому показателю надежности на j -ом проектном этапе, T - затраты времени. Здесь, C_{Σ} - критерий оптимизации; C_j, η_j - управления; $ПН_{ij} \in [\underline{ПН}_{ij}] \gamma_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s}; T \leq T^*$ - ограничения задачи оптимизации.

Задачи оптимизации надёжности 2-го рода сопряжены с совершенствованием процесса создания ТК заданной надежности за счёт рациональной организации проектных работ, управления распределением информационных, энергетических и интеллектуальных ресурсов и, в конечном итоге, за счёт оптимального распределения затрат собственно по этапам разработки ТК.

Совершенствование технологических процедур проектных этапов должно осуществляться по программе, обобщающей как имеющийся опыт, так и новые подходы и разработки. Программа формируется из задач, которые представляют собой согласованные между собой частные оптимизационные задачи, подчинённые задаче оптимизации надёжности 2-го рода.

На рис. 2 показан комплексный алгоритм повышения эффективности процесса отработки и испытаний ТК на надёжность, предполагающий декомпозицию структуры ТК, анализ особенностей функционирования и конструкции подсистем ТК.

С учётом полученной оценки из предлагаемого набора теоретических и экспериментальных инструментов осуществляется выбор необходимых, определяется целесообразная степень перераспределения объёмов задач отработки на надёжность каждой подсистемы ТК по соответствующим проектным этапам.

Таким образом, в первой главе обоснована теоретическая основа диссертации, поставлена задача оптимизации надежности 2-ого рода, определены пути реализации поставленной задачи.

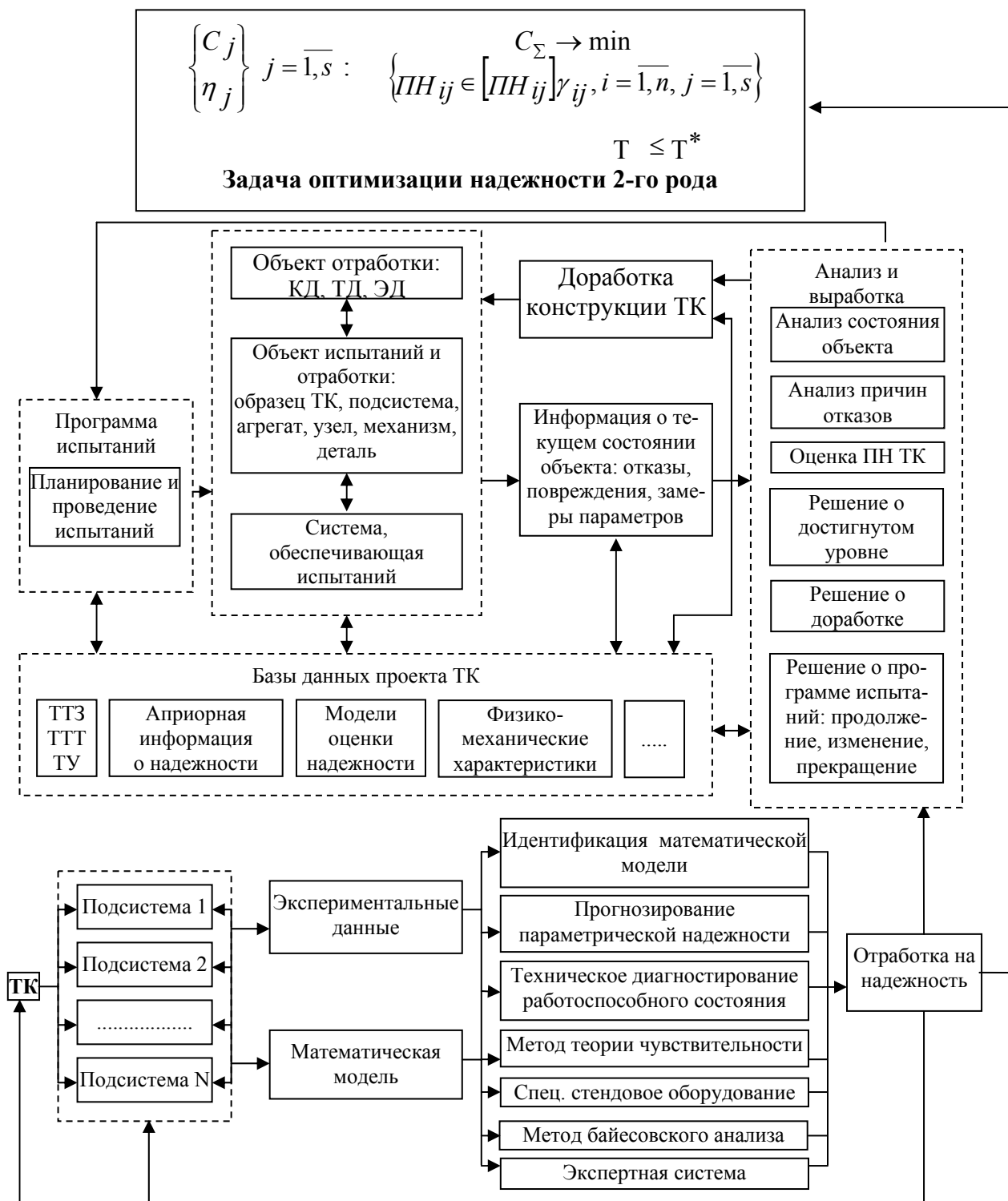


Рис.2. Алгоритм повышения эффективности процесса проектирования ТК заданной надежности, обработки и испытаний на надежность.

Во второй главе обоснована теоретическая основа инструментов для повышения информативности и совершенствования технологии анализа, оценки и обеспечения надежности ТК в процессе обработки и испытаний.

При этом, идентификация является методом уточнения математических моделей по результатам испытаний. Определение параметров и структуры математической модели, обеспечивающих наилучшее совпадение выходных данных модели и реальных процессов при одинаковых входных воздействиях является задачей идентификации

Прогнозирование является методом рассмотрения поведения ТК на этапах отработки и испытаний на основе моделирования на ЦЭВМ изменения параметров ТК.

Теория чувствительности позволяет определить изменение выходных параметров ТК при изменении некоторых конструктивных и эксплуатационных параметров.

Техническое диагностирование является процессом определения технического состояния ТК по косвенным признакам.

Экспертная оценка является методом на основе способности экспертов для поиска эффективных решений в условиях неопределенности.

Таким образом, на основе информационно-системной методологии теоретически обоснован инструментальный комплекс.

В третьей главе выполнены отработка и испытания конкретных подсистем ТК при использовании инструментов, предполагаемых во второй главе.

Инструмент идентификации использован для отработки гидротормоза (ГТ) (рис. 3) по математической модели $\ddot{x} = \frac{1}{m_0 + m_{пр}} (P_{кн}(t) - R(x, \dot{x}))$, где $P_{кн}(t)$ – движущая сила;

m_0 – масса откатных частей; $m_{пр}$ – приведенные массы; x – перемещение откатной массы.

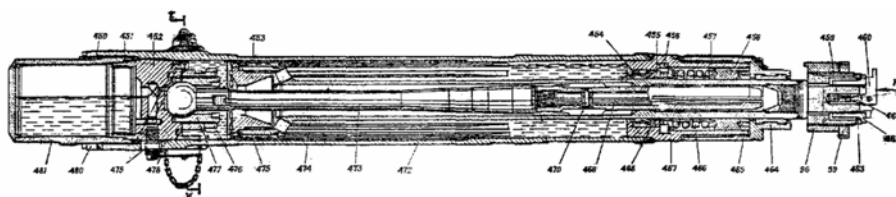


Рис. 3. Гидротормоз.

Для решения задачи идентификации математической модели движения откатных частей необходимо уточнить значения параметров k, k_4, f', μ_6, μ_c . На основе моделей с уточненными значениями коэффициентов был проведен расчет профиля веретена, обеспечивающего надежное функционирование ГТ.

Использование метода функции чувствительности позволило провести анализ функций чувствительности ГТ и определить области экстремальных значений, соответствующие зонам повышенной чувствительности. К примеру, анализ функций чувствительности скорости откатных частей позволяет за счет отказа от подключения к ведущему звену на соответствующих им участках ведомых звеньев, способствовать более стабильной работе автоматики (рис. 4.).

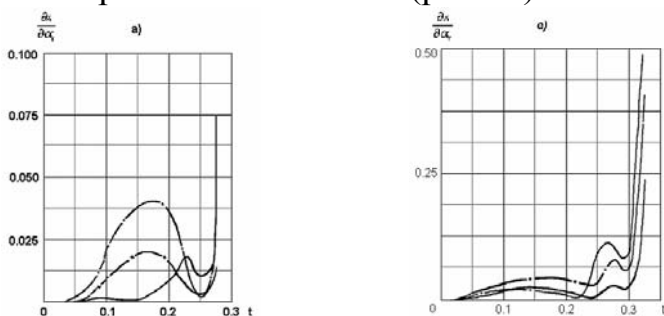


Рис. 4. Графики функций чувствительности
а, в – расчетные ситуации, соответственно, при $t_3 = +40, +15, -40^\circ\text{C}$.

Анализ результатов моделирования, полученных оценок позволил сделать вывод о том, что реализация варианта обработки позволяет достигнуть сокращения сроков обработки профиля веретена на ~30-35%.

При обработке досылателя (рис. 5.) использование модели досылки с учетом ударов позволяет определить на стадии проектирования параметры пакетов пружин досылателя. Экспертные оценки возможных затрат показывают, что результатом применения утомодели досылки является исключение периода обработки пакета пружин на стенде и сокращение периода обработки в процессе отладочно-заводских испытаний на 38%. Результаты расчета скорости досылки по идентифицированной модели показаны на рис. 6.

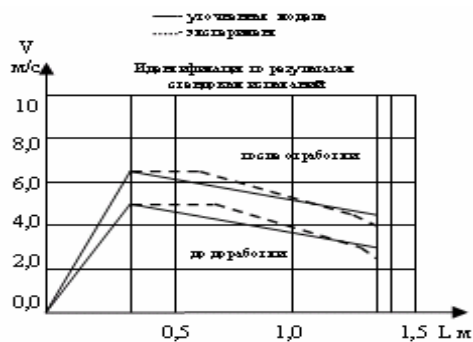
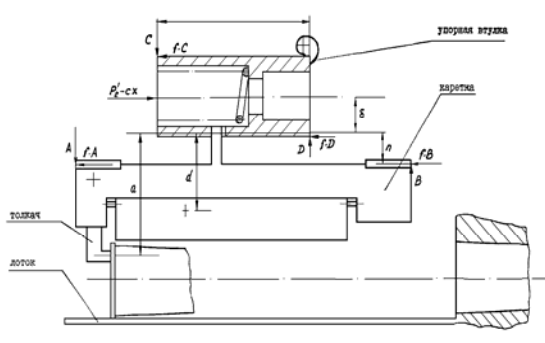


Рис. 5. Расчётная схема процесса досылки.

Рис. 6. Результаты расчета скорости досылки

Для оценки и контроля надежности оптико-механической подсистемы (ОМП) (рис. 7) при обработке необходимо определить кривую роста надежности по результатам доработок.

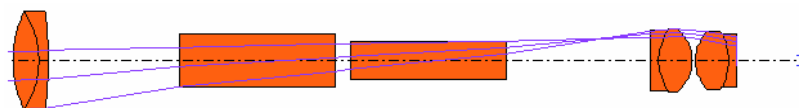


Рис. 7. Общий вид, схема конструкции и схема оптической системы ОМП

В результате обработки ОМП получены следующие данные, приведенные в таблице 1, где i – номер доработки; n_i – число испытаний; m_i – число отказов; c_i – число устраняемых причин отказов.

Таблица 1. Исходные данные по отладке ОМП.

I	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
n_i	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	3	1
m_i	2	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1
c_i	0	1	2	4	1	2	1	3	1	6	2	1	1	2	1	1

Результаты расчета изменения надежности ОМП по экспериментальным данным приведены в таблице 2. График изменения вероятности безоткатной работы ОМП показан на рис. 8.

Таблица 2. Результаты расчета изменения надежности ОМП

C_i	0	3	7	11	15	23	25	28
σ_{P_i}	0,28	0,24	0,16	0,14	0,10	0,99	0,99	0,07
P_i^*	0,33	0,39	0,47	0,50	0,56	0,65	0,67	0,70
P_n^*	0	0,08	0,26	0,32	0,40	0,53	0,75	0,63

Использование метода прогнозирования параметрической надежности позволяет оценить параметрическую надежность ОМП, определяемую нестабильностью конструктивных параметров оптических систем (ОС) из-за изменения температуры окружающей среды. Параметрическая надежность ОМП оценивается с учётом показателя качества ОС – аберрации. Расчёты проводятся по исходным данным, которые показаны в табл. 3. График прогноза показан на рис. 9.

Таблица 3. Данные измерений сферической аберрации ОС

Температура $T, ^\circ\text{C}$	10	12,5	13	13,5	15	17,5	19	24	25	27	29
Сферическая аберрация CS, mm	0,12	0,15	0,16	0,17	0,175	0,18	0,185	0,19	0,2	0,21	0,22

Прогнозирование параметрической надёжности использовалось при отработке механизмов автоматики ТК (рис. 10). Рассматривается отработка на надежность автоматики ТК с выкатом подвижных частей.

Анализ полученных результатов показал, что повышение стабильности (уменьшение среднеквадратического отклонения параметра) требует совершенствования технологического процесса изготовления комплектующих деталей ТК с целью уменьшения разброса их начальных характеристик.

На рис. 11. показаны зависимости от наработки оценок $вер(L \in [L])$. Задаваясь требуемым уровнем надежности по параметру, например, $P_m = 0,99$, можно оценить соответствующую наработку $N_{(P_T)} = 1145$ циклов. При решении задачи отработки оптимального допуска (принимая значение $P_T = вер(L \in [L], N=2000) = 0,99$, при уровне значи-

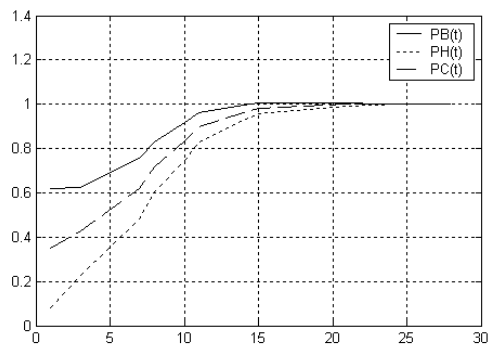


Рис. 8. Изменение вероятности безоткатной работы ОМП в процессе отработки

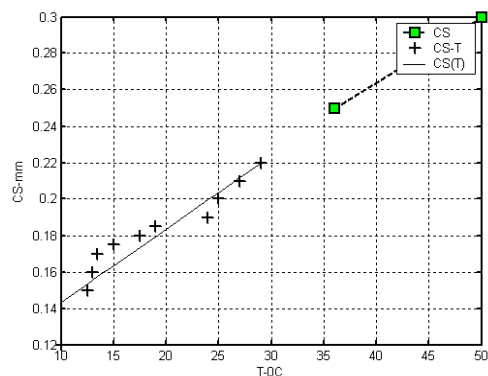


Рис. 9. Прогноз изменения сферической аберрации

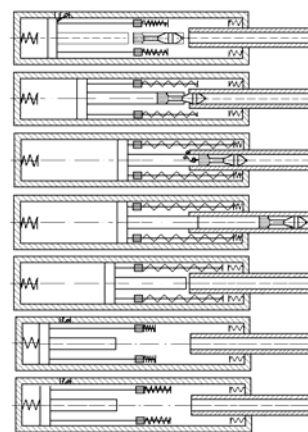


Рис. 10. Схема работы автоматики.

мости $\gamma=0,95$) получается величина регулировочного допуска на длину отката: $[L_p] = [0,0137; 0,02897]$ (м). Обеспечение параметрической надежности по параметру L предполагает проведение мероприятий, направленных на увеличение допуска (верхней его границы) на параметр или увеличение жёсткости тарельчатых пружин верхнего штока на 17%.

Использование метода диагностирования на основе построения модели переноса информации (МПИ) и конечно-элементной (КЭ) модели позволило рекомендовать ускорение перегружателя в направлении перегрузки и в направлении обратного хода.

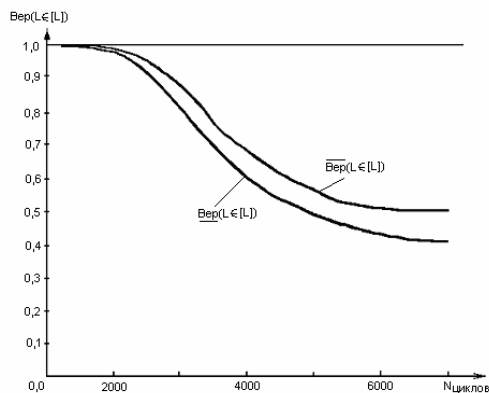


Рис. 11. Оценки вероятности выполнения условия работоспособности.

Анализ полученных результатов позволил определить текущее состояние и спрогнозировать значения параметрических ПН перегружателя с наработкой за счет построение функции влияния прямых параметров на контролируемые характеристики. Схема модели представлена на рис. 12. На рис. 13 построены функции влияния.

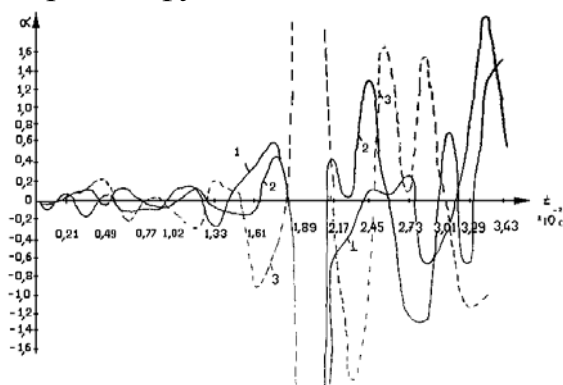
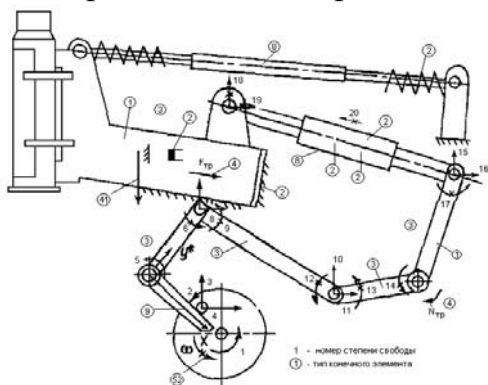


Рис. 12. Схема конечно – элементной модели перегружателя ТК.

Рис. 13. Функции влияния прямых параметров на ускорение перегружателя.

Таким образом, комплекс взаимосвязанных инструментов, использован для отработки на надежность ряда реальных подсистем ТК. Полученные результаты показали, что в соответствии с конкретными ситуациями проектирования должны выбираться те «инструменты», использование которых обеспечивает достижение цели оптимизационной задачи.

В четвертой главе проводятся моделирование оптимизационной задачи надежности второго рода и приближение ее решение. Схема моделирования задачи показана на рис. 14.

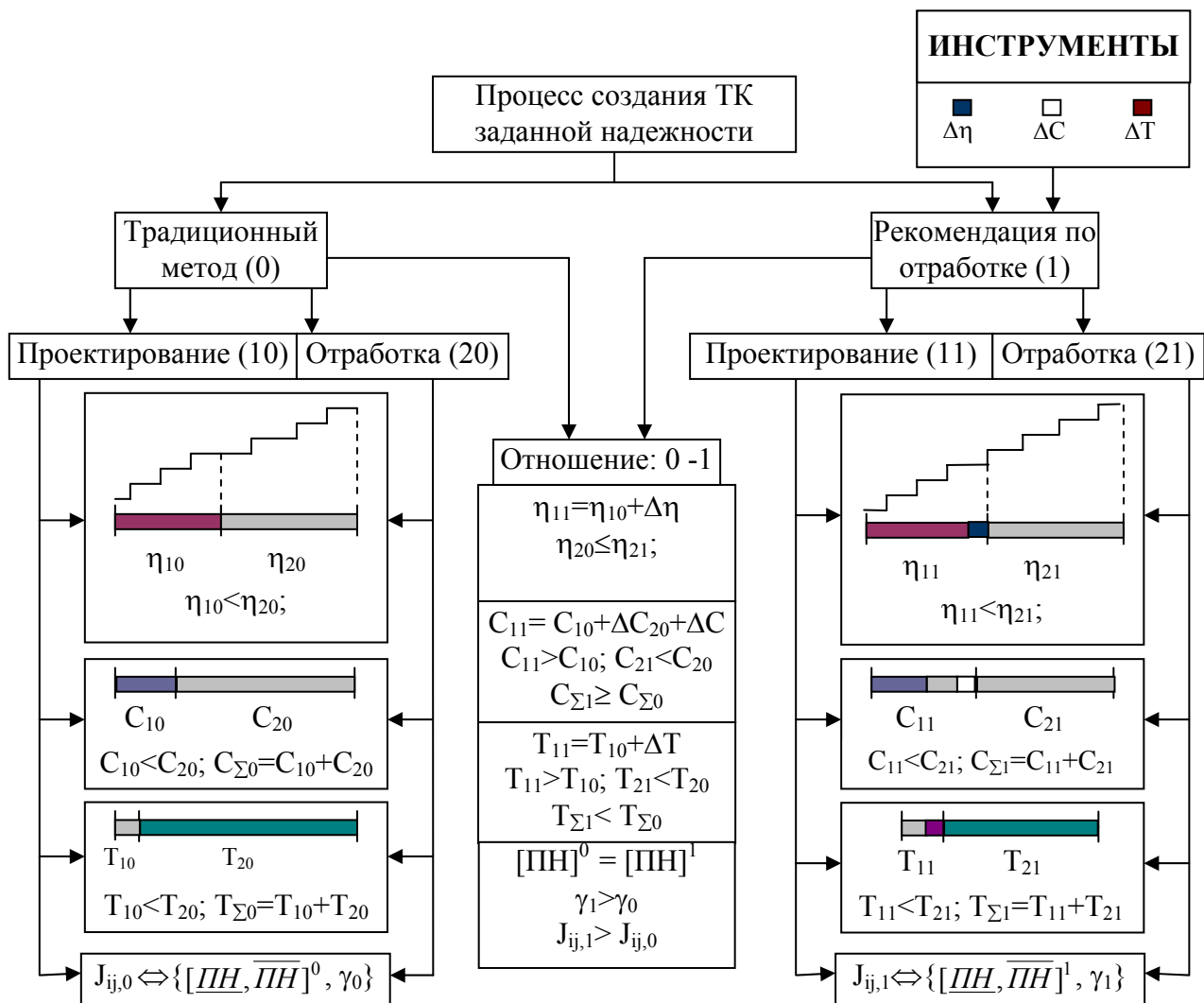


Рис. 14. Моделирование оптимизационной задачи надёжности второго рода

Предполагается, что процесс разработки ТК заданной надёжности в традиционном виде (0) включает в себя два этапа: проектирование (10) и отработку (20). Каждому этапу ставятся в соответствие параметры с индексами $\eta_{10}, C_{10}, T_{10}; \eta_{20}, C_{20}, T_{20}; C_{\Sigma 0}, T_{\Sigma 0}$. Аналогично, при рассмотрении процесса разработки, осуществляемого с использованием информационно-системной методологии и рекомендуемых «инструментов» по отработке ТК на надёжность (1), вводятся параметры $\eta_{11}, C_{11}, T_{11}; \eta_{21}, C_{21}, T_{21}; C_{\Sigma 1}, T_{\Sigma 1}$.

Таким образом, каждый из вариантов процесса разработки (0 и 1) включает в себя совокупности состояний K (k_1 - состояние проектирования, k_2 - состояние отработки) и совокупности признаков $Y(y_1, y_2, y_3)$, соответствующие варьируемым параметрам (η, C, T).

В варианте процесса разработки ТК заданной надёжности по схеме 1 следует ожидать повышения эффективности проектных процедур, выражаемого следующими соотношениями:

$$\eta_{11} = \eta_{10} + \Delta\eta, \quad \eta_{21} = \eta_{20}; \quad C_{11} = C_{10} + \Delta C, \quad C_{21} = C_{20} - \Delta C,$$

$$C_{\Sigma 1} = C_{\Sigma 0}; \quad T_{11} > T_{10}, \quad T_{21} < T_{20}, \quad T_{\Sigma 1} < T_{\Sigma 0}.$$

Приведенные соотношения отражают целевую направленность решения рассматри-

ваемой задачи.

В конкретных ситуациях выполнено приближение решения оптимизационной задачи надежности второго рода.

Первая ситуация: Определение состояния системы создания ТК заданной надежности по традиционной схеме (0). Данные приведены в табл. 4.

Таблица 4. Значения параметров состояний проектирующей системы

Параметры состояний системы	Состояние	
	k_1	k_2
Коэффициент - η_{10} и η_{20} (y_1)	0.7	0.99
Стоимость - C_{10} и C_{20} (y_2)	0.05	0.95
Время - T_{10} и T_{20} (y_3)	0.1	0.9

Количество информации относительно всех состояний и признаков системы, значения условных вероятностей $P(y_j/k_i)$, вероятностей независимых признаков $P(Y^*/k_i)$, вероятности появления комплекса признаков $P(Y^*)$ и вероятностей, рассчитанных по формуле Байеса, приведено в табл. 5.

Таблица 5. Информация и вероятность, содержащаяся в признаках системы

Информация	y_1	y_2	y_3		$P(Y^*/k_i)$	$P(Y^*)$	$P(k_i/Y^*)$
$J_{k_1}(y_i)$	0,8465	-	-	$P(y_j/k_1)$	0,0057	0,0298	0,0441
$J_{k_2}(y_i)$	-	0,3037	0.2257	$P(y_j/k_2)$	0,0370		0,9559

Результаты проведенных расчётов показали, что в процессе традиционного проектирования этапы отработки и испытаний играют решающую роль в создании ТК заданной надежности.

Вторая ситуация: Определение состояния системы проектирования по схеме (1) при изменении стоимости по этапам разработки, изменении времени проектирования и информационного коэффициента адекватности.

Таблица 6. Значения признаков состояний проектирующей системы

Параметры признаков состояний системы	Состояние	
	k_1	k_2
Коэффициент - η_{11}, η_{21} (y_1)	0.9	0.99
Стоимость - C_{11}, C_{21} (y_2)	0.24	0.76
Время - T_{11}, T_{21} (y_3)	0.13	0.8

Данные приведены в табл. 6. Полученные результаты показаны в табл. 7.

Таблица 7. Информация и вероятность во второй ситуации

Информация	y_1	y_2	y_3		$P(Y^*/k_i)$	$P(Y^*)$	$P(k_i/Y^*)$
$J_{k_1}(y_i)$	0,4888	-	-	$P(y_j/k_1)$	0,0169	0,0297	0,1928
$J_{k_2}(y_i)$	-	0.2021	0.3117	$P(y_j/k_2)$	0,0363		0,8072

Полученные результаты адекватны постановке рассматриваемой оптимизационной задачи надежности второго рода и отражают тенденции приближения оптимального решения.

Результаты исследования показывают, что информационность традиционного процесса создания и его эффективность повышаются при перераспределении затрат стоимости и времени. Одновременно, затраты времени в процессе отработки и испытаний уменьшаются. Это подтверждает, что в процессе проектирования использование инструментов для повышения эффективности анализа, оценки и обеспечения надежности ТК имеет место большой смысл.

Одновременно рассматривается закон изменения информационной функции при изменении значений надежности ПН и доверительной вероятности γ для получения оптимального доверительного интервала, доверительной вероятности и значения частной информации. Результаты и графики оптимизации показаны в табл. 8 и рис. 15.

№	1	2	3	4	5
P_n	0.8200	0.8760	0.8880	0.8970	0.9080
γ	0.8324	0.8627	0.8673	0.8732	0.8804
J_{max}	1.7349	2.3470	2.5007	2.6384	2.8212
J^*	3.1699	5.5341	7.4912	9.4657	11.5817

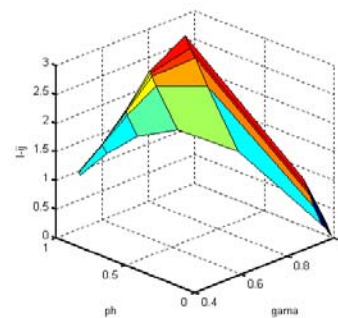


Рис. 15. закон изменения информационной функции

Наряду с обсуждением общего решения оптимизационной задачи надежности второго рода, в главе 4 рассматривается задача определения оптимального объема контрольных испытаний. Данная задача является частной по отношению к оптимизационной задаче надежности второго рода. В диссертации рассмотрен вопрос определения оптимального объема контрольных испытаний ТК на надежность на основе информационно-системного подхода. При известных значениях нижней границы вероятности p_n , рисках поставщика и заказчика $\alpha_{тр}$ и $\beta_{тр}$, потерях $c(x_1, u_0)$ поставщика при ошибочных решениях определяется оптимальный объем контрольных испытаний $n_{c\ onn}$. В качестве критерия оптимальности используется показатель полезности информации $(V(X))$. Предполагается, что при любом плане испытаний с ограниченным приемочным числом зависимость математического ожидания полезности информации $V(X)$ от количества испытываемых изделий n имеет максимум, соответствующий $n_{c\ onn}$. Это значит, что объем контрольных испытаний не должен превышать $n_{c\ onn}$. Значение $n_{c\ onn}$ определяется уравнением $\Delta V(X) / \Delta n = 0$.

С учетом изложенного, выражения для средних рисков поставщика и заказчика примет вид:

$$\alpha = 1 - \frac{1}{1 - p_n} \int_{p_n}^1 L(p/u_1) dp, \quad \beta = \frac{1}{p_n} \int_0^{p_n} L(p/u_1) dp, \quad \text{где}$$

$$L(p/u_1) = \sum_{m=0}^c C_n^m (1-p)^m p^{n-m} - \text{функция правдоподобия возможных значений на-}$$

дежности при решении u_1 о приемке, где n – число испытаний, m – число отказов.

Полезности информации $V(X, u_1)$ и $V(X, u_0)$ находятся по приведенным выше выражениям $V(X, u_j) = \eta(u_j)I(X, u_j)$, а полезность информации, характеризующая план испытаний в целом, определяется по $V(X) = \sum_U P(u_j)V(X, u_j)$. Разработаны алгоритм определения оптимального объема контрольных испытаний и программа для вычислений. Результаты вычислений показаны на рис. 16 и табл. 8.

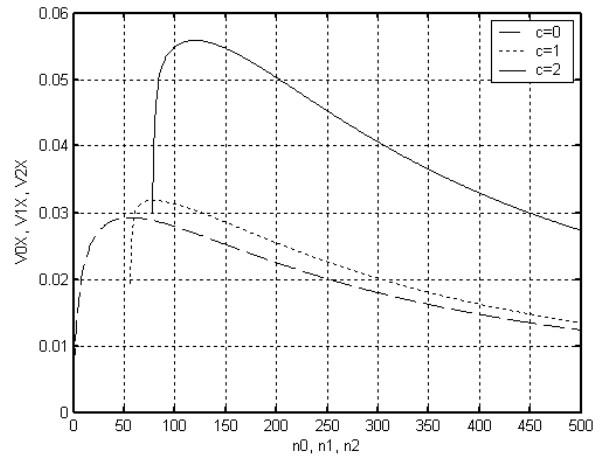


Рис. 16. Зависимость $V(X)$ от числа испытаний n при числе отказов $c=0, 1, 2$.

Табл. 8. Результаты определения оптимального объема контрольных испытаний

№	P_H	$c=0$			$c=1$			$c=2$		
		$n_{\text{опт}}$	$\alpha_{\text{опт}}$	$\beta_{\text{опт}}$	$n_{\text{опт}}$	$\alpha_{\text{опт}}$	$\beta_{\text{опт}}$	$n_{\text{опт}}$	$\alpha_{\text{опт}}$	$\beta_{\text{опт}}$
1	0,9	11	0.4020	0.0262	17	0.3302	0.0273	26	0.4598	0.0139
2	0,99	56	0.2349	0.0100	78	0.1362	0.0131	120	0.2478	0.0079
3	0,999	356	0.1587	0.0016	464	0.0685	0.0029	693	0.1446	0.0019

Таким образом, полученные результаты при исследовании решения поставленной задачи показали, что рациональная организация системы проектирования позволяет снять неопределенность и повысить эффективность процесса проектирования, обработки и испытаний ТК на надежность. Планирование контрольных испытаний на надежность по критерию полезности информации приводит к экономии средств и сокращению объемов испытаний. Например, при допустимом уровне надёжности порядка 0,9 объем испытания по разработанной методике оказывается в 1,6÷2 раза меньше объёма испытаний, полученного при планировании традиционными методами.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

1. Использование информационно-системной методологии позволило представить проектирование ТК заданной надежности как управляемый информационный процесс. Предложенные информационно-системной принципы формализации процесса создания ТК и модели составили теоретическую основу для постановки задачи оптимизации параметров процессов проектирования, обработки и испытаний ТК на надежность (задача оптимизации надежности второго рода).

2. Установленный характер связи затрат и уровня адекватности результатов разработки текущего проектного этапа относительно окончательного облика ТК обеспечивает необходимые предпосылки для реализации задачи оптимизации параметров процессов проектирования, обработки и испытаний ТК на надежность, для построения

комплексного алгоритма и инструментария повышения эффективности процессов создания ТК.

3. На основе информационно-системной методологии теоретически обоснован инструментальный комплекс. Использование инструментального комплекса направлено на повышение информативности, совершенствование технологии и ускорение процесса отработки ТК на надёжность.

4. Разработанный инструментальный комплекс сопровождается системой принятия решения и экспертной системой, обеспечивающей текущее управление отработкой, активизирующей анализ и оценку обрабатываемого ТК за счёт своевременного генерирования информации, необходимой для проведения "упреждающих" доработок.

5. Использование разработанного принципа совмещения традиционных схем фиксирования данных при оценке надёжности, в основу которого положено определение с учётом "упреждающих" доработок параметров моделей, составляющих алгоритм оценки ПН обрабатываемого ТК, исключает информационные потери, имевшие место из-за альтернативного использования индикаторной и параметрической информации.

6. Комплекс взаимосвязанных теоретических и экспериментальных инструментов, обеспечивающий повышение информативности и совершенствование технологии процесса отработки и испытаний на надёжность ТК использован для отработки на надёжность ряда реальных подсистем ТК.

7. В соответствии с конкретной ситуацией отработки на надёжность правильный и рациональный выбор инструментов может уменьшить затраты стоимостные и времени для всех подсистем ТК. Это приводит к уменьшению суммарных стоимостных затрат и времени на реализацию процесса проектирования ТК заданной надёжности.

8. На основе информационно-системной методологии, теоретических инструментов и прикладных исследований, осуществлено моделирование и приближение решения задачи оптимизации надёжности второго рода.

9. Планирование контрольных испытаний на надёжность по критерию полезности информации приводит к экономии средств и сокращению объемов испытаний. Так, при допустимом уровне надёжности порядка 0,9 объем испытаний по разработанной методике оказывается в 1,6÷2 раза меньше объёма испытаний, полученного планирование традиционными методами. При допустимом уровне надёжности порядка 0,99 объём испытаний оказывается меньше, соответственно, в 3÷4 раза.

10. Результаты, полученные при работе над диссертацией в виде методологических положений, методик, методов, математических моделей, алгоритмов, программ расчётов на ЦЭВМ, рекомендаций и предложений, реализованы в учебный процесс и НИР кафедры Е-1 БГТУ.

Результаты диссертации внедрены в учебный процесс по специальности 05.03.01 во Вьетнаме, они послужили основанием для разработки учебного пособия в области

надежности. Результаты работы используются при выполнении программы специальности, при разработке новых учебных курсов.

В приложение вынесен пакет программ обеспечения решаемых задач в среде Matlab.

Список публикаций автора по теме работы.

1. Ю.Л. Вященко, Ха Нгуен Бинь. Инструменты управления процессом отработки и испытаний на надежность технического комплекса // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения, СПбГПУ, Санкт-Петербург 2005. С. 150-152.

2. Ха Нгуен Бинь. Задачи отработки на надёжность оптико-механических приборов // Общероссийская научно-техническая конференция «Вторые Уткинские чтения», Том 1, БГТУ, Санкт-Петербург 2005. С. 114-117.

3. Ха Нгуен Бинь. «Активизация» процесса отработки на надёжность технического комплекса // Общероссийская научно-техническая конференция «Вторые Уткинские чтения», Том 1, БГТУ, Санкт-Петербург 2005. С. 118-121.

4. Ю.Л. Вященко, Ха Нгуен Бинь. Прогнозирование параметрической надежности оптических систем при изменении температуры окружающей среды // Сборник «Наука и техника», ВТИ, Вьетнам 2005. С.50-55.

5. Ха Нгуен Бинь. Задача оптимизации параметров процесса создания ТК заданной надежности // Актуальные вопросы управления в организационно-технических системах, «Сборник трудов студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых БГТУ», Санкт-Петербург 2004. С. 162-165.

6. Ха Нгуен Бинь. Комплексная методика повышения эффективности процессов проектирования ТК заданной надежности, отработки и испытаний на надежность // Актуальные вопросы управления в организационно-технических системах, «Сборник трудов студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых БГТУ», Санкт-Петербург 2004. С. 166-168.

По материалам диссертации получены следующие свидетельства:

1. Удостоверение технического университета им. Ле Куй Дона о способности применения результатов диссертации.

2. Акт об ожидаемой экономической эффективности применения результатов диссертации в условиях СРВ;

3. Акт о внедрении результатов диссертации в учебной процессе кафедры Е-1 БГТУ.

Подписано в печать __.06.2006. Формат 60x84^{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.

