

На правах рукописи

Федоров Александр Александрович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ
ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ**

Специальность 05.02.22 – Организация производства (машиностроение)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Ульяновск – 2009

Работа выполнена на кафедре «Самолетостроение» института авиационных технологий и управления ГОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Попов Петр Михайлович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
кандидат технических наук, доцент

Титов Борис Александрович
Лобанов Сергей Дмитриевич

Ведущая организация Федеральное государственное унитарное предприятие Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ - Прогресс», г. Самара

Защита состоится 13 ноября 2009г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д212.215.03 при ГОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева» по адресу: 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева».

Автореферат разослан 12 октября 2009г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Клочков Ю.С.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В настоящее время в Российской Федерации основные грузовые перевозки осуществляются автомобильным транспортом. Все больше становится автомобилей, двигатели которых оснащены электронной системой управления (ЭСУД) или системами электронного впрыска.

Трудоемкость работ по ремонту и обслуживанию автомобилей с ЭСУД постепенно снижается, но из-за износа, загрязнений и коррозии автотехники нарушается стабильная работа как двигателя, так и самих электронных систем, а со временем наблюдаются отклонения установленных параметров технического состояния этих систем от нормативных значений во время эксплуатации. Статистические исследования организации производства по диагностированию ЭСУД дают основание полагать, что в транспортных управлениях (ТУ) предприятий работы по диагностированию поставлены на недолжном уровне: используются технические и электронные средства устаревших модификаций; большое количество автотехники простаивает в очереди на обслуживание от нескольких дней до месяца и более, что вызывает нередко срыв выполнения заданий по грузоперевозкам. В транспортном управлении «Авиастар-СП» десятки машин, двигатели которых оборудованы ЭСУД, простаивают месяцами, ожидая своей очереди на техническое обслуживание и ремонт электронной системы управления двигателем. Услуги стационарных автотехнических центров обходиться автопредприятиям очень дорого.

В этой связи предлагается организацию диагностирования ЭСУД проводить с использованием мобильных лабораторий (например, на базе автомобиля УАЗ), оснащенных компьютерами СОМРАQ с программным обеспечением «МОТОР-ТЕСТЕР-2С» по основному параметру ЭСУД - надежности. Подобная процедура диагностирования позволяет оперативно отыскивать неисправности. Следовательно, разработка оптимального методики организации диагностирования электронных систем управления двигателями внутреннего сгорания является актуальной и может принести при массовом применении значительный экономический эффект, определяемый сокращением простоев автотранспорта.

Цель исследований. Совершенствование организации процессов диагностирования электронных систем управления двигателями внутреннего сгорания по параметрам надежности и качества с использованием современных компьютерных технологий за счёт разработки оптимального метода диагностирования.

Состояние изученности проблемы. Значительный вклад в разработку процессов и систем диагностирования ЭСУД, прогнозирование неисправностей и отказов работы автотехники, проектирование технических систем как инструмента для организации диагностики и прогнозирования неисправностей и отказов, программных средств и программных продуктов внесли отечественные ученые и специалисты Аринин И.Н., Говорущенко Н.Я., Григорьев В.А., Донецкий В.А., Дьяков И.Ф., Михлин В.М., Рыбалко А.Г., Уханов А.П., Цыпцин В.Г., Чукмарев М.В., Игонин А.Н., Волосевич Н.П., Засканов В.Г., Попов П.М., Петров Б.Н., Павлов В.В., Норенков И.П., Горанский А.Г. и другие.

Опубликованные работы вышеназванных авторов содержат результаты фундаментальных исследований в области управления и диагностирования сложных технических систем. В то же время предлагаемая ими методология и инструментарий, реализованные на языке теоретико-множественных описаний, требуют конкретизации с учетом специфики прикладных задач и, в частности, задач, решаемых в настоящей диссертации.

Недостаточность прикладных исследований, посвященных вопросам организации производства диагностирования ЭСУД двигателей внутреннего сгорания по критериям надежности и качества, в том числе по прогнозу состояния ЭСУД и определению её ресурса, предопределили актуальность настоящего исследования.

Задачи исследования. Достижение сформулированной выше цели, предполагает решение следующих задач:

1. Провести исследования состава и описать структуру электронной системы управления двигателями на основе методологии функционально-стоимостной инженерии.

2. Провести анализ технического состояния ЭСУД для организации производства технического обслуживания и диагностирования.

3. Разработать обобщенную математическую модель процесса организации технического обслуживания ЭСУД.

4. Разработать методику организации диагностирования электронной системы управления двигателем в составе системы «Автомобиль» в процессе эксплуатации с использованием метода программированного моделирования.

5. Произвести расчет экономической эффективности внедрения методики организации компьютерной диагностики дефектов ЭСУД.

Область исследований:

1. Методы и средства организации производства (по диагностированию ЭСУД и прогнозированию неисправностей и отказов в процессе эксплуатации) в условиях технических и экономических рисков (паспорт специальности 05.02.22 – Организация производства (машиностроение), п. 9).

2. Организация производства (по ремонту автотехники с ЭСУД в полевых условиях в процессе эксплуатации) в условиях воздействия возможных нештатных и чрезвычайных ситуаций и др. (паспорт специальности 05.02.22 – Организация производства(машиностроение), п. 12).

Объект исследований. Производственно-технологический процесс диагностирования двигателей внутреннего сгорания.

Предмет исследований. Методы и средства построения организационных, управленческих и производственно-технологических процедур по организации производства диагностирования ЭСУД.

Методика исследований включает проведение теоретических, экспериментальных и эксплуатационных исследований процессов организации производства по диагностированию ЭСУД автотехники, прогнозированию неисправностей и отказов, ремонту в полевых условиях (в процессе эксплуатации) на основе комплексной методологии функционально-стоимостной инженерии (ФСИ).

Научная новизна работы заключается в разработке методики организации производства диагностирования электронных систем управления двигателей внутреннего сгорания, построенной на принципах функционально-стоимостной инженерии.

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Методика организации диагностики ЭСУД в составе системы «Автомобиль», учитывающая условия единичного и массового поступления автотехники на обслуживание и ремонт.

2. Модель информационного диагностического тезауруса ЭСУД, сформированного по результатам исследований и экспериментов в процессе проведения диагностики.

3. Способ оценки экономической эффективности процесса диагностирования ЭСУД с помощью передвижных лабораторий.

4. Математическая модель функционирования ЭСУД, обеспечивающая решение задач анализа результатов диагностирования.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Методика математического описания состава электронной системы управления двигателями внутреннего сгорания, полученная с использованием методологии функционально-стоимостной инженерии.

2. Методика организации производства компьютерной диагностики ЭСУД с помощью передвижных лабораторий, обеспечивающая высокую эффективность процесса диагностирования как по экономическим, так и по временным параметрам.

3. Методика априорного прогнозирования неисправностей ЭСУД по результатам диагностирования.

Практическая ценность работы.

Проведенные исследования позволили разработать и создать передвижную диагностическую лабораторию, которая позволяет оперативно проводить диагностику ЭСУД в полевых условиях без привязки к стационарным измерительным комплексам.

Применение мобильных лабораторий позволяет на порядок увеличить скорость процесса диагностирования ЭСУД и тем самым снизить временные и экономические издержки.

Разработанная методика компьютерной диагностики ЭСУД на передвижных лабораториях на стадии первичной диагностики определять будущие отказы в системе и тем самым повышать качество и надежность ЭСУД, продлевая ресурс двигателей внутреннего сгорания.

Реализация результатов исследований:

1. Методика организации диагностики ЭСУД в составе системы «Автомобиль», учитывающая условия кдиничного и массового поступления автотехники на обслуживание и ремонт переданы в виде проектно-технологической документации на предприятия ОАО «Авиакор» - Самарский авиационный завод, в транспортное управления ЗАО «Авиастар-СП» - Ульяновский авиационно-промышленный комплекс, в транспортное предприятие ФНПЦ ОАО НПО «Марс».

2. Методика математического описания состава ЭСУД оформлена в виде учебного пособия и используется в учебном процессе ИАТУ УлГТУ при изучении курса «Основы автоматики и САУ».

Апробация работы. Основные результаты диссертации доложены и представлены на семи научно-технических конференциях в Ульяновском ГТУ (2001-2007 г.г., г. Ульяновск); на шести всероссийских конференциях в Пензенском ГТУ и Пензенском ГСХА) г. Пенза – 2001÷ 2006 г.г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией – 10.

Публикации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 137 наименований. Основная часть диссертации изложена на 167 страницах, содержит 29 рисунков и 12 таблиц.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, изложена общая характеристика работы, поставлена цель исследований, сформулированы задачи и направления ис-

следований, выбраны методы исследований и описания разработок, сформулированы научные положения и результаты, выносимые на защиту; дана краткая характеристика работы по разделам.

В первой главе работы на основе системного анализа проблемы и структурного описания состава объекта исследований – электронной системы управления двигателями по всем входящим элементам выполнена декомпозиция этой системы по составляющим элементам и функции (полезному действию, состоянию и свойству) с целью определения полноты состава ЭСУД в совокупности с системой «Автомобиль». Проводится сравнительный анализ традиционного диагностирования двигателя автомобиля с использованием осциллографов, штатной системы диагностирования «МОТОР-ТЕСТЕР», определяются недостатки этих систем. В ходе анализа устанавливается, что ЭСУД является не только управляющей системой по отношению к двигателю автомобиля, но и системой, надежностью которой в процессе эксплуатации автомобиля можно управлять и прогнозировать неисправности еще до выхода из строя элементов системы. Для математической взаимоувязки компонентов в ЭСУД и двигателя автомобиля, в соответствии с теорией графов, сформирована структурная схема ЭСУД по принципу иерархичности построения. Далее раскрываются и доказываются недостатки процессов диагностирования с помощью системы «МОТОР-ТЕСТЕР», а так же несовершенная организация производства по диагностике и прогнозированию неисправностей и отказов. Предлагается рассматривать зависимость между диагностическим параметром перемещения поршня h и прогиба Δ по формуле $h = h_0 + b\Delta = 15 + 0,53\Delta$, где h_0 – номинальное значение диагностического параметра и рассчитывать этот параметр на ПЭВМ в системе «МОТОР-ТЕСТЕР-2С», усовершенствованной системы «МОТОР-ТЕСТЕР» в результате доработки программного и математического обеспечения.

Формируется, после системно-функционального анализа процесса диагностики по старой схеме, – схема подключения системы диагностирования «МОТОР-ТЕСТЕР» в условиях САЦ и ТУ авиапредприятия (рис. 1). Схема формируется для цели структурного преобразования в системе «МОТОР-ТЕСТЕР-2С» математического моделирования состава системы «Автомобиль» и совершенствования системы организации производства диагностики, прогнозирования неисправностей и отказов с использованием более совершенной ПЭВМ модификации СОМРАQ.

Во второй главе определены требования к объему первоначальной информации о системе организации производства по диагностированию ЭСУД по критериям функциональности; мотивируется выбор наиболее подходящего и объективного метода описания функции управления двигателями – это функционально-стоимостная инженерия и, входящий в нее – функционально-стоимостной анализ для оптимизации технических и качественных решений организации производства диагностирования ЭСУД и прогнозирования неисправностей и отказов автотехники. Далее, по результатам исследований формируются (проектируются) математическая модель системы организации производства и математическая модель состава ЭСУД по функции (как полезному действию, свойству или состоянию), в виде:

$$A_{\text{обобщ}} = S_{ij} \{P_{if}, T_{kf}, M_{jf}, B_{ukf}, C_{imf}, \dots\}, \quad (1)$$

где $A_{\text{обобщ}}$ – обобщенная ЭСУД по функции выполнения полезного действия;

S_{ij} – система (совокупность подсистем) по i -той функции с j -вариантом;

$\{P_{if}; T_{kf}; M_{jf} \dots\}$ – совокупность составляющих подсистем;

P_{if} – подсистема управления зажиганием (ЭБУ – электронный блок управления) по главной функции;

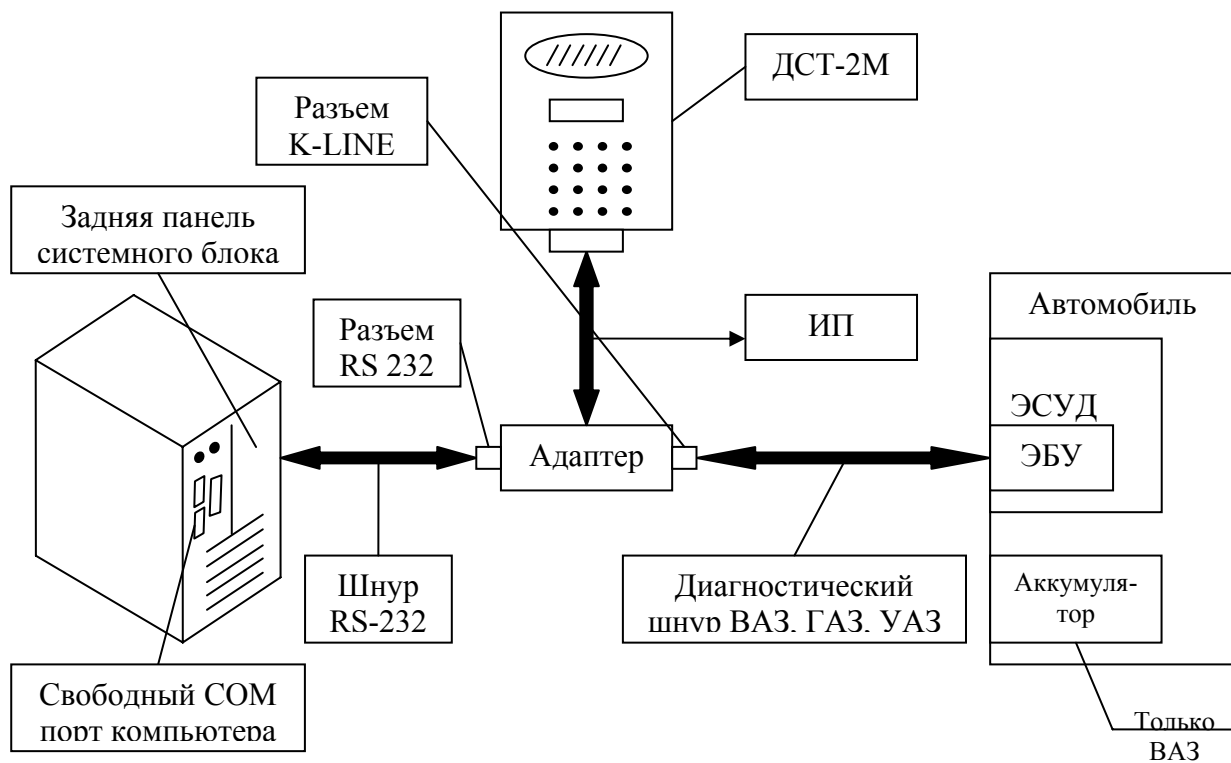


Рис. 1. Схема подключения системы диагностирования “МОТОР-ТЕСТЕР” в производственно-технологический процесс САЦ и ТУ (улучшенная схема)

T_{kf} – подсистема управления массовым расходом воздуха;
 M_{jf} – подсистема управления электробензонасосом (ЭБН);
 B_{ukf} – подсистема контроля температуры охлаждающей жидкости;
 C_{imf} – подсистема электронного впрыска;
 $\{ \dots; \dots; \}$ – прочие подсистемы (дополняются в зависимости от типа ЭСУД).
 В операторной форме определение ЭСУД представляется в виде:

$$S_{ij} : X_{ij} \rightarrow R_{ij} \rightarrow Y_{ij}, \quad (2)$$

где $Y_{ij} = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$.

При условии замены ЭСУД совокупностью функций Φ_{ij} её функционально-электронной моделью будет выражение:

$$\Phi_{ij} : X_f \rightarrow R_f \rightarrow Y_f, \quad (3)$$

после формализации модель (3) записывается в виде:

$$F_i = \{P_{if}; T_{if}; M_{if}; B_{if}; C_{if}; \dots; \dots\} \quad (4)$$

при условии, что $F_i \in \Phi_{ij}$, где P_{if} – указание действия (управляющее воздействие), производимое ЭСУД через главную функцию; T_{if} , M_{if} , B_{if} , C_{if} – указание на действие P_i ; указание особых условий и ограничений; объекты управления в зависимости от типа автомобиля и материального носителя функций диагностирования. Далее расписывается модель в виде формализованной функции (функционала):

$$\Phi(F_{np}^0) : [\psi \circ \varphi(A_0)] \rightarrow V, \quad (5)$$

где φ – бинарное отношение между элементами множеств A и P ; ψ – бинарное отношение между элементами множеств P и X , иначе

$$\varphi \subset (AxP); \psi \subset (PxX); A_0 \subseteq A. \quad (6)$$

Подчеркивается, что каждой цели может соответствовать несколько признаков или подмножество P_0 , с которым a_i находится в отношении φ , является срезом через элемент a_i . Для управления процессом организации производства диагностирования выбрано подмножество A_0 множества целей – функций A , тогда определяется срез через A_0 , то есть

$$\varphi(\Phi_0) = ((P)(Va)[a \in A_0 \wedge (a, P) \subset \varphi]. \quad (7)$$

Также аналогично определяется $\psi(A_0) = ((x)(Vp)[P \in P_0 \wedge (P, x) \in \psi]$, (8) где P_0 – срез множества P по подмножеству A_0 .

Произведение бинарных отношений

$$\psi \circ \varphi = [((a, x))(Vp)[(a, P) \in \varphi \wedge (P, x) \in \psi] \quad (9)$$

представляет множество упорядоченных пар (a, x) , таких, что для них существует (P) множества P , с которым (a) находится в отношении φ с элементом (x) . Тогда срез произведения по подмножеству A_0 выражается как:

$$\psi \circ \varphi(A_0) = [((a, x))(Vp)[(a, P) \in \varphi \wedge (P, x) \in \psi \wedge a \in A_0]. \quad (10)$$

Изображается целевая функция управления процессами организации производства по диагностированию ЭСУД как совокупность:

$$\{\Phi^0(F_{np})\}: [\psi \circ \varphi(A_0)] \rightarrow V \rightarrow opt, \quad (11)$$

где opt – означает оптимизацию решения задач управления организацией производства по диагностированию ЭСУД.

Формируется графоаналитическая модель объекта анализа для цели организации производства по его диагностированию и прогнозированию (рис. 2).

Далее в главе с использованием системы «Kanban» планируется запас комплектующих изделий для организации производства по диагностированию и прогнозированию неисправностей и отказов автотехники, минимизируются суммарные затраты на организацию производства диагностирования:

$$\begin{aligned} \min_{x_1, x_2, \dots, x_N} C = & \sum_{K=0}^N [F(x_{K+1}) - F(x_K)] C_0(x_{K+1}) + \sum_{K=0}^N C_p(x_{K+1})] + \\ & + \int_0^T \sum_{K=0}^N C_3(x_{K+1}) [F(x_{K+1}) - F(x_K)] dt, \end{aligned} \quad (12)$$

где C_0, C_p, C_3 – стоимости: на организацию производства, рабочие и технологические операции и эксплуатацию оборудования, соответственно;

$x_1, x_2, \dots, x_N, x_k, x_{k+1}$ – входные элементы (комплектующие) изделия;

$F(x_k)$ и $F(x_{k+1})$ – функции стоимости запасов;

k – количество комплектующих в стоимостном выражении.

Моделируются суммарные затраты на организацию производства диагностирования, проектируется матричная и графоаналитическая модели затрат. Проводится оптимизация организационных процессов с определением оптимального числа обслуживаемых рабочих мест в ТУ, определяется объем заявок на ремонт и диагностирование:

$$S = h \frac{C_p}{C_s + C_p}, \quad (13)$$

где h – размер (объем) заявок в стоимостных показателях, а затем выводится формула общих ожидаемых затрат на регламентный ремонт:

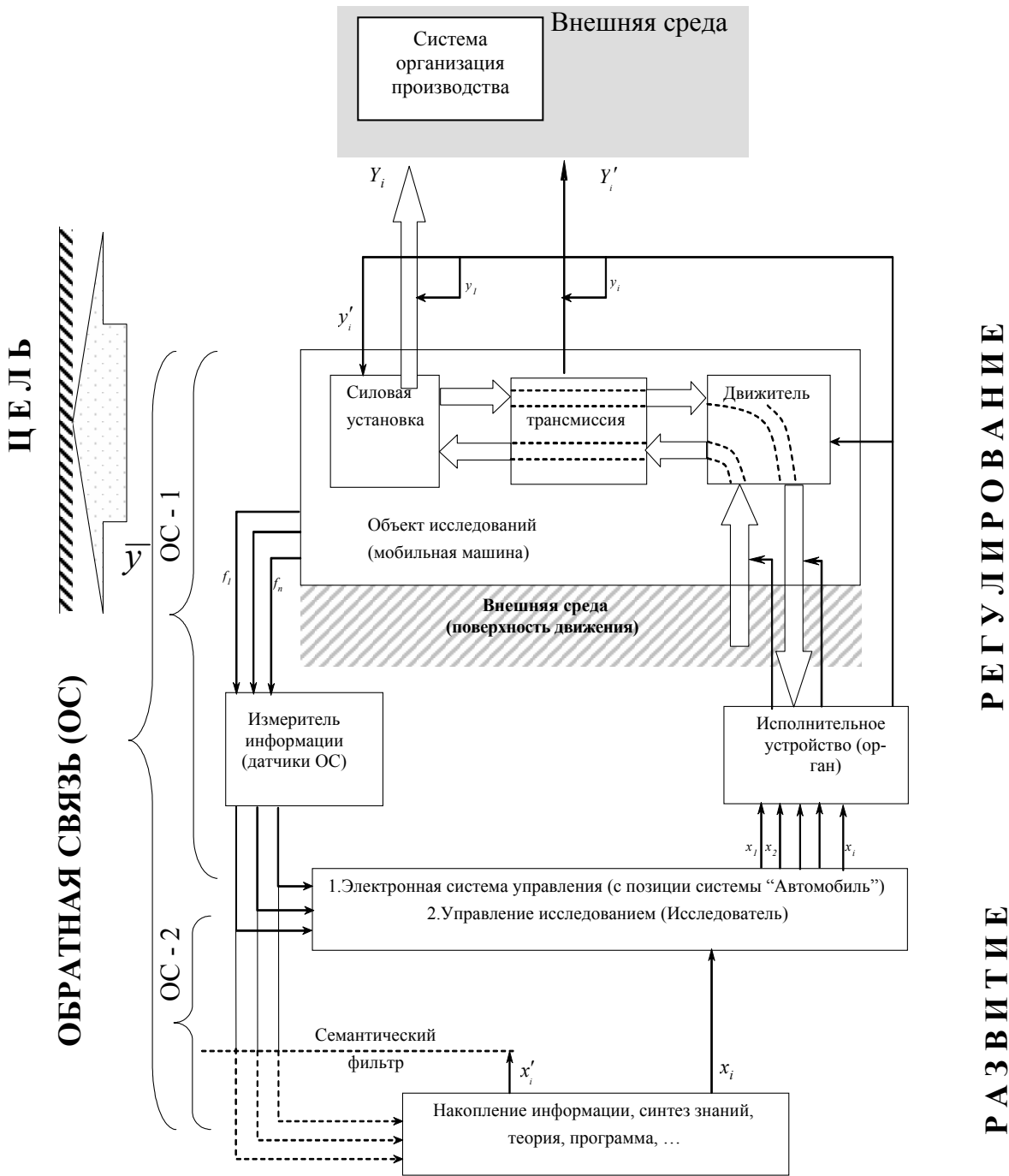


Рис. 2. Оптимальная графоаналитическая модель объекта организации производства по диагностированию

$$C = \frac{C_s}{b} \left[\frac{3}{4} S_0^2 + \frac{S_0^2}{2} \ln \frac{b_0}{S_0} + \frac{C_p}{2bs} \left(\frac{b^2}{2} + \frac{3}{2} S_0^2 - 2bS_0 + S_0^2 \ln \frac{b}{S_0} \right) \right], \quad (14)$$

b_0, b – коэффициенты конкордации. Разрабатывается методика организации производства по прогнозированию и оптимизации ресурса автотехники до усталостного разрушения конструкции на основе системы «МОТОР-ТЕСТЕР-2С», поддерживаемой от компьютера COMPAQ; проектируется графоаналитическая модель зависимости площади F усталостных разрушений от продолжительности эксплуатации в пробеге автотехники (рис. 3).

Отмечается, что фактически интенсивность усталостного разрушения возрастает линейно по мере увеличения площади усталостного разрушения

$$dF / dl = a + b\Delta F, \quad (15)$$

где a – постоянная; ΔF – увеличение площади разрушения; b – коэффициент интенсификации разрушения.

Далее определяются: площадь остаточного ресурса F_D по итогам машинного прогнозирования неисправностей и отказов; долговечность деталей двигателя с ЭСУД до усталостного разрушения конструкции в заданных эксплуатационных условиях (рис. 4 и 5).

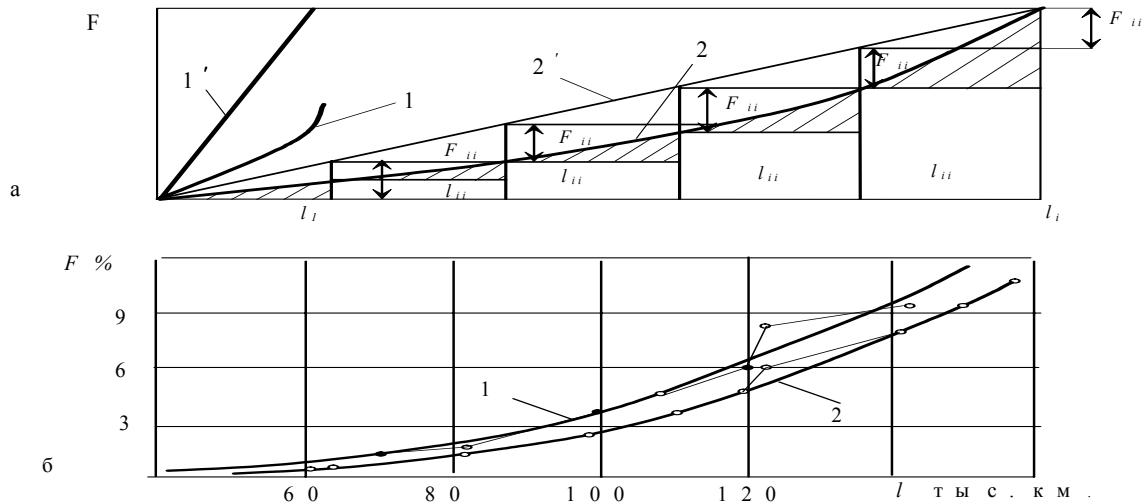


Рис. 3. Зависимость площади F усталостных разрушений конструкции ЭСУД от продолжительности l – воздействий при эксплуатации, где а) при использовании методики линейного суммирования усталостных накопленных разрушений $1'$ и $2'$ соответственно при больших σ_1 и малом σ_2 напряжений в рабочей зоне; $1, 2$ – фактические зависимости; б) – для системы электронного впрыска 1 и системы зажигания 2 двигателей с ЭСУД от пробега l автотехники.

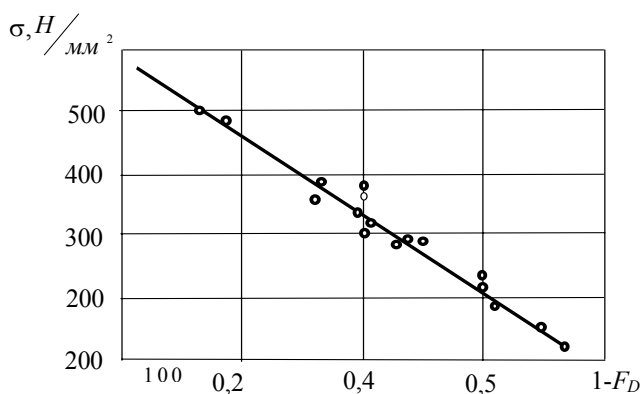


Рис. 4. Зависимость предельной степени повреждения $1-F_D$ от максимального напряжения в конструкции ЭСУД σ цикла для исследованных образцов

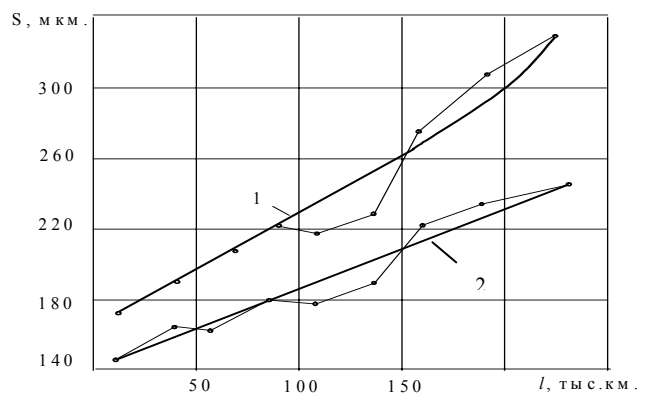


Рис.5. Зависимость подсистемы $S-1$ и системы зажигания – 2 от пробега l ЭСУД в составе системы „Автомобиль“

О влиянии разницы в условиях работы систем автотехники на долговечность можно судить по кривым износа (рис. 5). В главе отмечается, что погрешность прогнозирования в установившихся условиях при соответствующих условиях организации производства и условиях работы автотехники зависят от достоверности изменения технического состояния сопряжений, обоснованности критерия предельного состояния, методики определения параметров закономерности и обоснованности замены подсистем электронных составляющих. Формулируются выводы по главе.

В третьей главе разрабатывается методика организации производства по системной обработке и оптимизации параметров технического состояния автотехники. Проектируются математические модели организации производства ремонтных работ и прогнозирования неисправностей и отказов через модернизированную систему «МОТОР-ТЕСТЕР-2С», с помощью которой определяется оптимальное значение приведенной плотности распределения автосистем (автотехники):

$$\rho = [-2(a_1 + a_2) \pm \sqrt{4(a_1 + a_2)^2 - 4(a_1 + a_2)a_1}] / [-2(a_1 + a_2)], \quad (16)$$

или упрощенно: $\rho = 1 \pm \sqrt{\frac{a_2}{a_1 + a_2}}$, так как $\rho < 1$, можно записать

$\rho = 1 - \sqrt{a_2 / (a_1 + a_2)}$, после чего оптимальная пропускная способность определяется как $\mu = \lambda / [1 - \sqrt{a_2 / (a_1 + a_2)}]$. Тогда оптимальная приведенная плотность с увеличением убытка из-за простоя постов (каналов обслуживания в ТУ) по сравнению с простоем автотехники в очереди плавно нарастает (рис. 6), то есть при $a_1 \gg a_2$ - значение ρ приближается к единице.

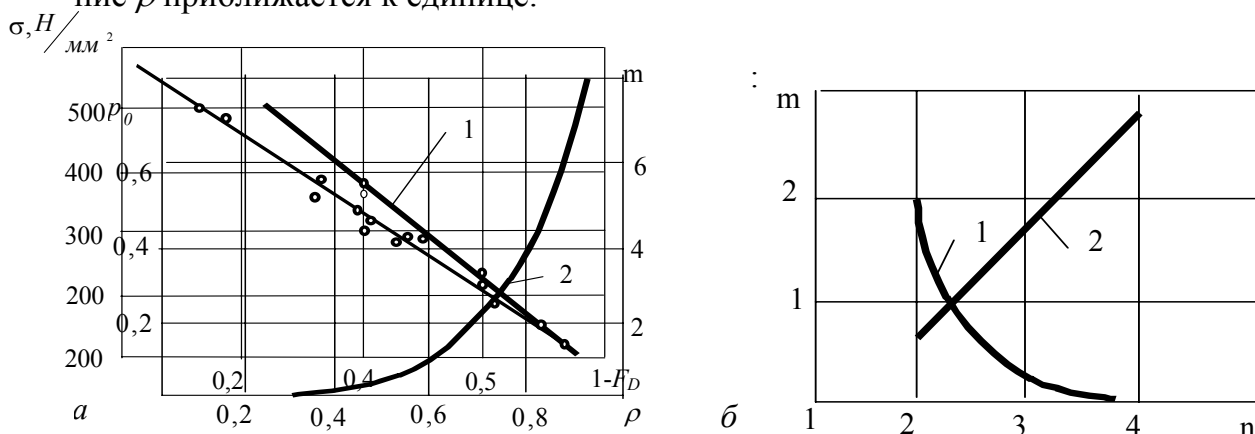
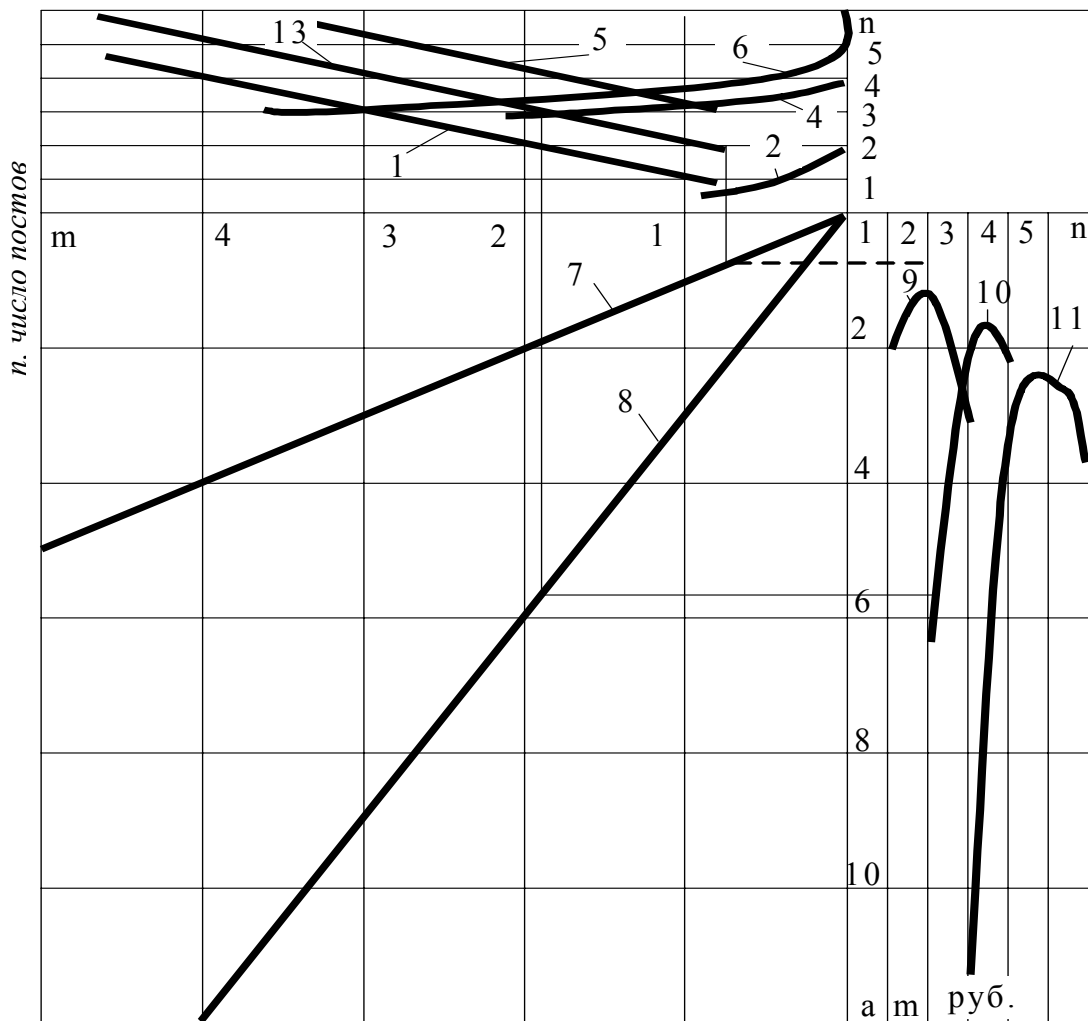


Рис. 6. Зависимость показателей эффективности обслуживания ρ_0 и m :

a – от удельной плотности поступления заявок на канал обслуживания: 1 – вероятность p_0 простоя канала; 2 – среднее число m системы «Автомобиль» в ожидании обслуживания;

b – от числа каналов n обслуживания при $\rho = 3/2$; 1 – среднего числа m автомобилей в ожидании обслуживания; 2 – каналов в ожидании системы «Автомобиль» на обслуживание.

Следовательно, при знании оптимального числа постов от приведенной плотности и соотношения убытков из-за простоя постов и автотехники в ожидании технических процедур по диагностированию ЭСУД и прогнозированию отказов, следует определить оптимальное число постов при заданных: приведенной плотности и убытках (рис. 7).



ρ , приведенная плотность

Рис. 7. Зависимость оптимального числа постов n от приведенной плотности ρ и отношение убытков a_1 и a_2 соответственно из-за простоя постов и систем «Автомобиль» в ожидании ремонта или технического обслуживания:

1, 3, 5 - простой постов m при ρ соответственно 1/2, 3/2, 5/2; 2, 4, 6 – среднее число систем «Автомобиль» m в ожидании ремонта технического обслуживания при ρ соответственно 1/2, 3/2, 5/2; 7 – при $a_1 = 1$ руб; 8 – $a_2 = 3$ руб; 9, 10, 11 – суммарные убытки от простоя постов и систем «Автомобиль» при ρ соответственно 1/2, 3/2, 5/2.

Далее в главе описывается процедура оптимизации процесса организации производства технического обслуживания ЭСУД по затратной технологии в виде формализованной схемы «затраты-доход»; оптимизации параметров системы организации производства по диагностированию ЭСУД при их изменении, оптимизации параметров системы организации производства по прогнозированию неисправностей и отказов ЭСУД с дополнительными условиями при их изменении. Отмечается, что это согласуется с условием оптимального развития при максимально быстром изменении технической характеристики, что можно описать математической моделью вида:

$$W(^0F_{np}) = \frac{C_2}{2} \ln(k_1 C) + \frac{V^2}{2} \ln(k_2 V) - \frac{C^2}{4} - \frac{V^2}{4} + \frac{1}{4k_1^2} + \frac{1}{4k_2^2}, \quad (17)$$

где $W(^0F_{np})$ - объемная функциональная система организации производства по диагностированию и прогнозированию отказов ЭСУД в автотехнике ТУ авиапредприятий;

C – стоимостные показатели производственно-технологических процессов; V – объем вложений в организацию производства; k_1 – количество работ в априорном состоянии организации производства; k_2 – количество работ в апостериорном состоянии организации производства. Формулируются выводы по главе.

В четвертой главе формируется методика организации производства по диагностике ЭСУД на основе математического моделирования и статистических методов обработки наблюдений на основе методологии функционально-стоимостной инженерии и функционально-стоимостного анализа разработок. Отмечается, что в функционально-структурном анализе, при проектировании процессов организации производства и построении совмещенных функционально-элементных и структурных моделей систем, наряду с полной схемой сопряжения элементов и функций сложной системы рекомендуется использовать частные характеристики вида. К их числу можно отнести:

- множество выходных каналов элемента системы C_j , связанных элементарными каналами с выходными контактами элемента:

$$C_k : [Y^{(обн)}] = R\{[Y_i^{(j)}]_1^r \cap R\{[X_i^{(k)}]_1^n\}, \quad (18)$$

- множество входных контактов элемента C_j , связанных элементарными каналами с выходными контактами элемента C_k :

$$[X^{(j,k)}] = R_j^{-1}\{[Y_i^{(k)}]_1^r \cap R\{[X_i^{(j)}]_1^n\}, \quad (19)$$

где R_j^{-1} – оператор, обратный оператору R_j ; R_j – сужение оператора R на множестве контактов $[X_i^{(j)}]_1^n$. Здесь характеристики $[X_i^{(j,k)}]$ и $[Y_i^{(j,k)}]$ позволяют судить о факте наличия связи между элементами (C_j и C_k) и о числе элементарных каналов («интерфейсов»), объединяющих технологические, производственные и технико-экономические элементы процесса организации производства по диагностированию и прогнозированию отказов системы «Автомобиль». Таким образом:

$$R = Q_v^{-1}\{R_{ll}\{P_{\mu}(X_i^{(j)})\}\}, \quad (20)$$

где соотношения $R=P_{\mu}$; C_j , $C_k \in C_{\mu}$; $C_j=C_{\mu}$ и $C_k \in S_v$ – решают комплексную задачу организации производства по диагностированию и прогнозированию отказов в автотехнических системах. Далее в главе рассматриваются основные предпосылки организации производства по диагностике и прогнозированию отказов на персональных ЭВМ с использованием доработанного программного обеспечения – системы «МОТОР-ТЕСТЕР-2С». Отмечается, что на основе экспериментальных исследований процессов диагностирования автотехники модификации ГАЗ, ВАЗ, УАЗ, двигатели которых оснащены ЭСУД в условиях ТУ, выявлены зависимости: $\varepsilon = c \cdot \sigma_k$ (износостойкость); долговечность τ в зависимости от температуры T :

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{(U_0 - \gamma \sigma_k) / kT}, \quad (21)$$

где τ_0 , U_0 , γ – постоянные, определяющие прочностные свойства исследуемого объекта; k – постоянная Больцмана. Справедливость математической модели (21) очевидна для большого круга агрегатов и деталей автотехники, в том числе и ЭСУД, при значительной вариации температуры и напряжения (определяется с помощью специальных датчиков производства ЦНИИ СЭТ, включаемых в систему «МОТОР-ТЕСТЕР-2С» и ПЭВМ типа СОМРАQ). Также экспериментально выведена формула для определения напряжения разрушения деталей и подсистем диагностического комплекса

$$\sigma = 1/\gamma [U_0 - kT \ln(\tau / \tau_0)] = (1/\gamma) \cdot U_0 - kT \ln(\tau / \tau_0), \quad (22)$$

где $k \ln(\tau/\tau_0), U_0, \gamma$ - здесь принимаются постоянными; после некоторых упрощений, напряжение разрушения записывается как $\sigma_k = a' - b't$, (23)

где $a' = \frac{1}{\gamma} U_0$, а $b' = k \ln(\tau/\tau_0)$. Тогда, рекомендуется на основе линейной зависимости износостойкость ($\varepsilon = c \cdot \sigma_k$) от напряжения разрушения определять через произведение:

$$\sigma_k \cdot \varepsilon = C \sigma_k = Ca - Cb't = a_1 - b't, \quad (24)$$

а интенсивность изнашивания α для всех видов деталей, агрегатов и подсистем автотехнических систем, рекомендуется выразить как:

$$\alpha = 1/\varepsilon = 1/C \sigma_k = 1/C(a - b't) = 1/(a' - b't). \quad (25)$$

Далее, формируются рекомендации и выполняется заключение методологической направленности организации производства по диагностированию, прогнозированию неисправностей и отказов автотехники. В главе также формируется и подробно излагается методика организации производства по диагностированию ЭСУД, разрабатывается подробный производственно-технологический процесс проведения работ по диагностированию и прогнозированию отказов на примере процессора отечественного производства типа «Январь-4» с использованием диагностического тезауруса, введенного в базу данных системы «МОТОР-ТЕСТЕР-2С» в совокупности с компьютером СОМРАQ; специальных датчиков производства ЦНИИ СЭТ, включаемых в названную систему. Формируются и проектируются структурные схемы включения приборных комплексов в систему диагностирования и прогнозирования; разрабатывается специальная тестовая таблица предполагаемых отказов и неисправностей с рекомендациями по устранению этих неисправностей в процессе эксплуатации автотехники. Рекомендуется состав производственно-технологических функций диагностирования и прогнозирования отказов в виде свернутой математической модели:

$$S = F\{X, D, Y\}, \quad (26)$$

где F – функционал производственно-технологического процесса;

X – входные контролируемые параметры организации производства комплекса работ по диагностированию и прогнозированию отказов автотехники; D – операторы действия [информационно-диагностический дескриптор – функция (как полезное действие, свойство или состояние анализируемого – проверяемого объекта – системы)]; Y – выходные параметры по результатам диагностирования и прогнозирования отказов (по временному ресурсу). Описываются свойства и возможности специальных датчиков производства ЦНИИ СЭТ. На основе методологии ФСИ определяется оптимальный объем работ по производственно-технологическим процессам и организации производства по техническому обслуживанию, текущему ремонту, диагностике и прогнозированию на отказ автотехнических систем; прогнозируется оптимальный страховой запас изделий, деталей, узлов, агрегатов и других запасных частей и изделий, необходимых для четкой организации производства; подчеркивается, что предусмотренный априорный состав комплексной системы организации производства работ по диагностированию и прогнозированию автотехнических систем с использованием логистической системы «Kanban», предопределяет качество работ, надежность автотехнических средств в процессе штатной эксплуатации и продлении их работоспособности (долговечности) и сроков безаварийной работы. Проводится расчет экономической эффективности внедрения методики организации производства по компьютерной диагностике ЭСУД на основе моделирования, что позволило определить эффективность от внедрения автоматизированной системы диагностирования и про-

гнозирования при организации производства этих работ с коэффициентом $K_b=1,15$, а в стоимостном выражении на одном (исследуемом) предприятии достичь общей экономии в сумме $\Delta_y=157878$ руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

На основании вышеизложенного следует, что:

1. В результате проведенных исследований состава ЭСУД сформирована обобщенную структурно-функциональную модель электронного впрыска, которая позволила определить: конструктивные и технологические недостатки системы ЭСУД в части диагностирования и прогнозирования на отказ.

2. Определены параметры технического состояния электронной системы управления двигателем, что позволило организовать процессы диагностированию и технического обслуживания при эксплуатации с помощью передвижных лабораторий.

3. Разработана обобщенная математическая модель методики организации производства технического обслуживания ЭСУД на основе метода статистических наблюдений и функциональной стоимостной инженерии, что позволило автоматизировать производственно-технологические процедуры диагностики и прогнозирования отказов.

4. Разработана методика организации процессов диагностирования и прогнозирования отказов ЭСУД при эксплуатации, позволяющая значительно снизить трудоемкость работ и достичь индекса валидности $K_b=1,15$.

5. Сформулированы научно-обоснованные рекомендации по организации производства работ по диагностированию и прогнозированию отказов ЭСУД, позволившие получить экономический эффект $\Delta_y=157878$ руб.

Основные положения диссертации опубликованы

в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией

1. Попов, С.П. Техничко-методические и научно-технические обоснования организации производства по диагностированию электронных систем управления двигателями [Текст] / С.П. Попов, А.А. Фёдоров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, специальный выпуск «Технологии, процессы и системы в ходе их эволюционного развития». - Т.1. - 2006. - Самара. - С. 164-170.
2. Кочергин, В.И. Графоаналитическое моделирование автоматизированного проектирования процессов управления и контроля ресурсными испытаниями изделий [Текст] / В.И. Кочергин, Г.Л. Ривин, А.А.Федоров // Проблемы машиностроения и автоматизации. -2008. -№ 1. -С. 63-71.
3. Трушников, В.Е. Моделирование процессов в гомогенной зоне смесителя модернизированного реактора риформинга природного газа [Текст] / В.Е. Трушников, А.А.Федоров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «Четверть века изысканий и экспериментов по созданию уникальных технологий и материалов для авиаракетостроения УНТЦ-ФГУП ВИАМ». 2008. Том 2. С. 98-103.
4. Трушников, В.Е. Моделирование процесса конверсии в модернизированном реакторе риформинга природного газа [Текст] / В.Е. Трушников, А.А. Федоров // Из-

вестия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «Четверть века изысканий и экспериментов по созданию уникальных технологий и материалов для авиаракетостроения УНТЦ-ФГУП ВИАМ». 2008. Том 2. С. 103-108.

5. Кочанова, О.Д. Комплексная информационная производственная система в задачах технико-экономического моделирования и прогнозирования сборочного производства [Текст] / О.Д. Кочанова, Т.В. Денисова, А.А. Федоров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «Технологии, процессы и системы в ходе их эволюционного развития». 2007. Том 2. С. 58-66.
6. Федоров, А.А., Интерпретация метода системно-функционального анализа состава электронной системы управления двигателями для организации производства по ее диагностированию и прогнозированию отказов [Текст] / А.А.Федоров, П.М.Попов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2007. № 2. С. 86-91.
7. Попов, П.М. Построение технических процедур оптимизации сборочных процессов при наличии ресурсов с использованием системы автоматизации проектирования [Текст] / П.М. Попов, А.А. Федоров, С.П. Попов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «50 лет содружества науки УлГТУ и машиностроения». 2007. С. 161-167.
8. Трушников, В.Е. Применение гребневой регрессии и интегральных методов в моделировании селективного окисления оксида углерода при получении водорода [Текст] / В.Е. Трушников, А.А.Федоров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «50 лет содружества науки УлГТУ и машиностроения». 2007. С. 191-196.
9. Федоров, А.А. Анализ проблем и недостатков планово-экономической системы управления сборочными процессами авиастроительного предприятия [Текст] / А.А.Федоров, О.Д. Кочанова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «50 лет содружества науки УлГТУ и машиностроения». 2007. С. 196-201.
10. Федоров А.А., Попов П.М. Основной инструмент исследования состава электронной системы управления двигателями по параметру надежности [Текст] / А.А.Федоров, П.М. Попов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «Технологии, процессы и системы в ходе их эволюционного развития». 2006. Том 1. С. 156-164.

в других изданиях

11. Попов, С.П. Организация процессов производства диагностирования электронных систем управления двигателями методами программированного моделирования [Текст] / С.П. Попов, А.А. Фёдоров, М.В. Чукмарёв // Современные технологии производства и управления в авиастроении. - Ульяновск, 2005. - С. 131-136.