

На правах рукописи

ПОПОВ ПЁТР МИХАЙЛОВИЧ

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ  
РАЗРАБОТКАМИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность 05.13.12 - Системы автоматизации проектирования  
(по отраслям)

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

**Ульяновск, 2001**

Работа выполнена на кафедре "Самолетостроение" Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ).

**Официальные оппоненты:** Доктор технических наук, профессор Егоров Ю.П.  
Доктор технических наук, профессор Толмачев В.И.  
Доктор технических наук, профессор Фурсов В.А.

**Ведущее предприятие:** ГНП РКЦ "ЦСКБ - Прогресс" (г. Самара)

Защита состоится " 5 " декабря 2001 г. В 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д212.277.01 Ульяновского государственного технического университета по адресу:

432027, г. Ульяновск, Сев. Венец, 32, ауд. 211.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государственного технического университета

Автореферат разослан "        " \_\_\_\_\_ 2001г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

П.И. Соснин



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Самой трудоемкой и затратной частью машиностроительного предприятия любой отрасли народного хозяйства страны является **подготовка производства** к выпуску новых **высокотехнологичных и наукоемких** изделий, например, самолетов, ракет, реакторов, приборных комплексов, станков с числовым программным управлением (с ЧПУ) и др. [39]. В этих отраслях промышленности объем работ в **подготовке производства** составляет 55-^65% от общего объема производства **основных изделий**. Это обусловлено, прежде всего, **сложностью изделий** подготовки производства с их максимальной механизацией и автоматизацией, из-за **сложности основных изделий** (самолетов, ракет, реакторов, морских и речных судов и др. высокотехнологической и наукоемкой техники).

Радикальное снижение трудоемкости **подготовки производства** (ПП) достигается сочетанием творческого потенциала разработчиков основных изделий и разработчиков систем автоматизированного проектирования и управления разработками (САПУР) с современными программно-технологическими комплексами (ПТК) и системами автоматизированного проектирования (САПР) при условии стандартизации и унификации технологических решений (изделий технологического оснащения, технологических процессов, операций и переходов, проектно-технологических и управленческих функций подготовки производства с созданием информационного тезауруса САПР и др.)

В 80-е годы в нашей стране проблемами комплексной автоматизации подготовки машиностроительных производств (ПМП) занимались многие КБ и заводы, а также видные отечественные ученые, например, Г.К. Горанский, А.Г. Ракович, А.И. Бабушкин и многие другие. [52], Были достигнуты хорошие результаты и созданы известные в стране и за рубежом системы автоматизации проектирования оснастки, инструмента, специализированных штампов, прессформ и др. трудоемких и сложных средств технологического оснащения. Процессы реформирования экономики в нашей стране остановили отечественные разработки систем автоматизации. По состоянию на 1.01.96, по данным РТС [39], отставание в развитии отечественных разработок в области автоматизации процессов подготовки производства (ГОЩ) от передовых стран составило более чем 50 лет. Учитывая такое положение, Министерство Экономики РФ приняло решение приобрести ряд современных программных продуктов высоких версий у западных разработчиков.

Приобретенные программные продукты и рабочие станции типа RS/6000 - 42T, RISC/6000 и др., хотя и построены по модульному принципу с иерархической структурой, но до четвертого уровня иерархии пользователь не имеет права и возможности их изменения. Кроме того, приобретенные **программные продукты и станции** требуют квалифицированных специалистов для обращения с ними.

Но даже квалифицированные пользователи не могут в полной мере спроектировать необходимую **разработку** (оснастку, техпроцесс, инструмент и др.), так как приобретенные **системы** выполнены не под конкретного покупателя (изготавливаемое изделие), а под обобщенное изделие страны-разработчика.

Например, приобретенная система **UNIGRAphics** (разработчик РТС) универсальная, гибкая, быстро перестраиваемая **система проектирования**, должна быть настроена под предметную область производства, с доработкой и пополнением информационной базы под эту область производства, например, **подготовку производства и т.д.**

Из вышеизложенного следует, что **актуальной** проблемой совершенствования подготовки машиностроительного производства (ТОЛП) является разработка, на базе комплексного использования САПР и АС 11 ill, методологии, методов, приемов и правил **оптимизации технологических решений**, проектно-технологических и управленческих процессов и процедур ПМП, обеспечивающих повышение ее эффективности и снижение затратоемкости.

Поэтому, **цель работы - создание общей методологии оптимизации ПМП**, то есть **оптимизации проектно-технологических и управленческих решений** для САПУР; **создание методологии и методик оптимизации** проектно-технологических и управленческих **функций** для пополнения информационных баз данных САПУР и АСТПП; **разработка методик, приемов и правил** организации **тезауруса** - информационного языка АСТПП и САПУР, для комплексного повышения **эффективности ПМП** и использования дорогостоящих заимствованных автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП) и в частности **систем автоматизированного проектирования и управления конструкторско-технологическими разработками (САПРУ-КТР)**.

Для достижения **поставленной цели** необходимо методами **верификации оптимального проектирования и управления разработками**, на примере различных видов производств (судостроения, авиаракетостроения, приборостроения и оборонки), исследовать проектно-технологическую и управленческую информацию с позиции **функциональности и стоимости**, исследовать и проанализировать проекты современных заимствованных САПУР, выбрать оптимальную САПР (из состава АСТПП) для ПМП. На основе критериев **функциональности и стоимости** исследовать проектно-технологические и управленческие функции ПМП, разработать приемы, правила **организации оптимальной** проектно-технологической и управленческой **информации**, то есть сформировать **информационный тезаурус ПМП** с увязкой всех **компонентов** машинного комплекса на основе **структурирования ее математической модели**.

**Научной новизной** в диссертации обладают следующие результаты:

1. Методология проведения анализа конструкторско-технологических разработок на основе функционально-стоимостной инженерии (ОСИ), направ-

ленная на **оптимизацию** технических решений для пополнения информационных баз данных САПР и АСТГШ, при автоматизированном проектировании и управлении разработками в сфере подготовки любого машиностроительного производства (МП).

2. Методология организации **проектно-технологического** массива данных САПУР технологическими процессами МП (в том числе - ракетно-космического и авиационного) на основе **устойчивых словосочетаний - дескрипторов**, связанных между собой **парадигматическими** отношениями, синонимами, акронимами, ассоциациями и др.
3. Концептуальная модель верификационных методов анализа **оптимального управления**, конструкторско-технологических разработок по методологии ФСА, направленная на **оптимизацию** технических решений при **автоматизированном** проектировании и управлении разработками любого МП и **подготовки его производства**.
4. Функциональная и математическая модели проектно-технологической и управленческой информации автоматизированных систем ПМП (в том числе - авиационного); связь параметров модели со стандартными параметрами информационного обеспечения, которые являются исходными для модельного представления всей АСТПП.
5. Методы, правила и приемы систематизации проектно-технологических **функций** для построения информационного **тезауруса** по конструкции (технологии) изделий ПМП (а также летательных аппаратов - самолетов) для повышения эффективности САПР.
6. Синтез проектно технологического массива САПР средств технологического оснащения, с правилами математического моделирования информационной базы, с применением совершенно новых понятий, терминов, определений и экономико-математических расчетов.

**Направлением защиты** в настоящей работе являются:

1. Методология оптимизации проектно-технологических и управленческих решений ПМП в условиях функционирования АСТПП и САПР на основе экономико-математических методов анализа и верификации.
2. Методология и методика математического описания информационных баз данных САПР ПМП для **средств технологического оснащения и технологических процессов** на основе **структурирования ТФНИ**.
3. Методология **организации, проектирования и структурирования проектно-технологической и управленческой информации** об объектах (изделиях) на основе ФСИ с правилами формирования информационного тезауруса для повышения эффективности САПР конструкторско-технологических разработок (САПР-КТР).

### **Практическая ценность и реализация работы.**

Разработаны: **методология оптимизации** проектно-технологических и управленческих решений и функций, позволяющая при подготовке к запуску новых изделий значительно снизить **затратоемкость** подготовительных работ и изделий ПМП; **методология анализа** проектно-технологических решений и **функций** с использованием ФСИ, обеспечивающей взаимоувязку проектных и функциональных показателей со стоимостными и системными показателями процессов и систем; **правила, приемы и методика** анализа проектно-технологических функций и организации информационного **тезауруса** по конструкции и технологии изготовления изделий МП. Выведены расчетные формулы описания информационных баз данных САПР средств технологического оснащения (СТО) и расчетные формулы для нормирования электроэрозионной обработки материалов (сталей и алюминия) в любой отрасли машиностроения и др. По результатам исследований и экспериментов реализованы:

- **методика** проведения анализа конструкций средств технологического оснащения и информационного **тезауруса** на оборонном предприятии АО «Завод «Молот»» при запуске в производство изделий оборонного заказа с экономическим эффектом 1567000 рублей;
- информационный **тезаурус** и переработанный вариант **методики проведения анализа** конструкций средств технологического оснащения для изготовления ответственных элементов **угольного комбайна** в опытном производстве ФГУП НПО «Марс» с экономическим эффектом 2112000 рублей;
- подсистема «Конструкторское проектирование» системы UNIGRaphics, информационный тезаурус и методика проведения анализа конструкций средств технологического оснащения при подготовке к запуску в производство грузового варианта самолета ТУ - 204 - 100А с экономическим условным эффектом 1895000 рублей и др.

**ДОСТОВЕРНОСТЬ** научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертации, базируется на четком представлении задач и методов анализа проектно-технологических **решений и функций подготовки МП** для повышения эффективности САПР и АСТПП, на основе полного использования средств автоматизации проектирования, корректном использовании математических моделей и выкладок, моделированием на ЭВМ, подтверждается экспериментами в заводских условиях и получением **продуктов** подготовки производства (например, технологических процессов, проектов штампов, инструмента и др.) при непосредственном участии автора.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации доложены и представлены на 5,6, 7,9 отраслевых научно-технических конференциях АСТПП и САПР в 1985, 1986, 1987, 1989 г.г. и научно-технических конференциях ОАО «Экспоцентр» «Большая Волга», НМСТ - 97; 32, 33, 34, 35 научно-технических конференциях преподавателей УлГТУ 1998, 1999, 2000, 2001 (г. Ульяновск); на отраслевой научно-технической конференции «Повышение эффективности инструментального производства» сентябрь 1985 г. (г. Горький); на отраслевом научно-техническом совещании



«Проблемы создания САПР - КТР и ГПС в промышленности» (г. Иркутск 1987 г.); на Всесоюзном совещании по САПР на ВДНХ СССР (г. Москва, сентябрь 1987 г.); на Уральских научно-технических совещаниях и Международных симпозиумах по «Использованию методологии ФСА в промышленности» (г. Свердловск, март 1988 г., апрель 1990 г., май 1991 г.); на научно-техническом совещании по развитию инструментального производства (СФ 88 - ТПП61, г. Севастополь, октябрь 1988 г.); на Международном симпозиуме по проблемам использования ФСА в промышленности (г. Суздаль, сентябрь 1990 г.); на Всероссийском совещании по наукоемким технологиям и проблемам (г. Пенза, май 2000 г.); на Международном симпозиуме «Использование экономической инженерии в народном хозяйстве» (г. Екатеринбург, 22, 23, 24 февраля 1999 г.); на научно-технических совещаниях оборонных предприятий по случаю 60-летия ОАО «Завод «Молот»» и 45-летия основания механического техникума (г. Вятские Поляны Кир. обл., август, ноябрь 2000 г.); на научно-техническом совещании руководителей оборонной промышленности (г. Вятские Поляны, апрель 2001 г.) и др.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 52 работы, в том числе 14 книжных (в том числе среди книжных изданий - 4 монографии).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (171 наименование), двух приложений внутреннего и внешнего оформленного отдельной книгой в количестве 260 страниц. Рисунков - 35; таблиц - 6; 302 с. основного текста в компьютерной верстке.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**ВО ВВЕДЕНИИ** сформулирована проблема и поставлена цель исследований, показана актуальность рассматриваемых вопросов, сформированы задачи и порядок исследований (с рисунком), определена научная новизна и дана краткая характеристика работы; также подчеркнуты основные аспекты работы, которые автор выполнял лично, а какие в содружестве с заводскими специалистами и студентами.

**В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ** показана роль автоматизированного проектирования и управления разработками в подготовке производства как инициирующего этапа эволюционного цикла его обновления, обосновывается с позиции функциональности цель **автоматизированного** проектирования и управления, как ожидаемый результат производственной деятельности.

С позиции **функции** (полезного действия) любое целеполагание обязательно завершается определенными результатами, поэтому после формулирования **общей цели - функциональности**, осуществляется априорное построение «дерева целей» - **многоуровневого функционального иерархического графа целей**, когда общая цель разделяется на логически взаимосвязанные обеспечивающие цели (функции)(рис. 1).

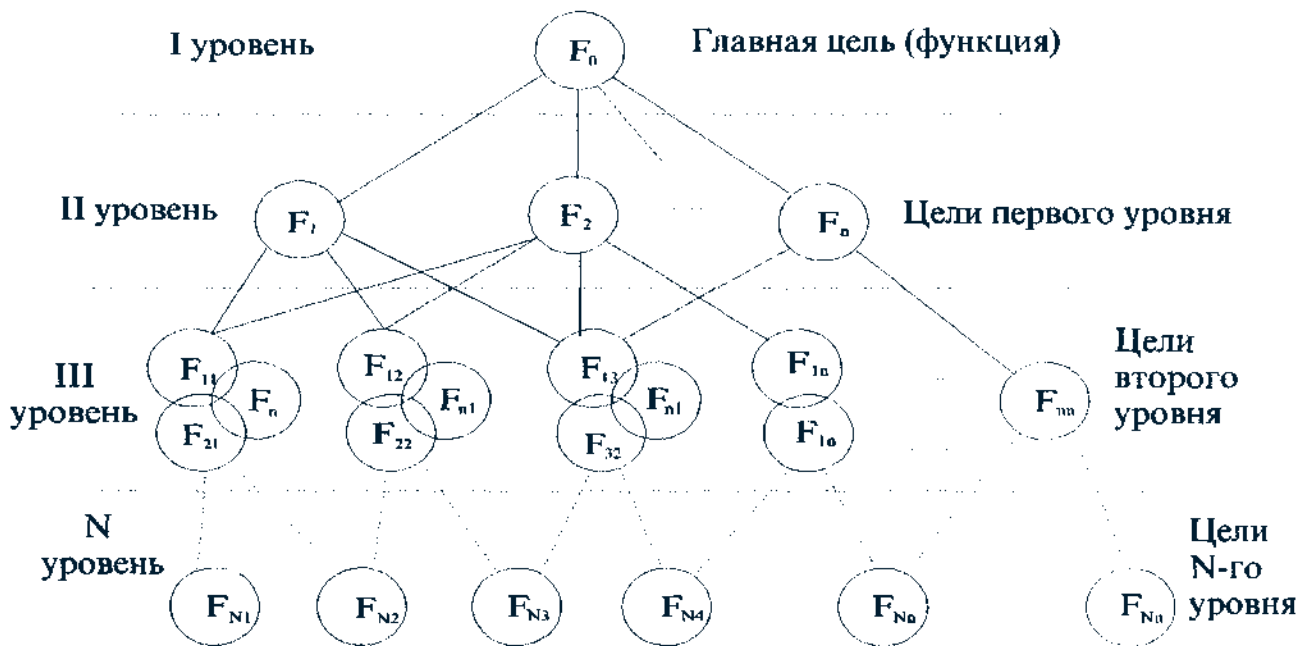


Рис. 1. Функциональный граф целей и задач автоматизированного проектирования (управления) по принципу иерархичности построения

Этот процесс **декомпозиции общей цели** продолжается до той степени конкретизации, когда за формулировками обеспечивающих **функций-целей** начинают вырисовываться конкретные пути и средства их достижения, а через них - пути и средства достижения общей цели.

**Целеполагание** - **априорное видение будущего объекта**, его декомпозиция и логическая увязка всех компонентов.

В общем случае математическое описание объектов проектирования сводится к совокупностям вида:

$$S = \{X, D, Y\} \quad (1)$$

или  $S = \{\Sigma, R, G\}, \quad (2)$

или  $J_{\text{крит}}^N = S_f \{A_{if}, T_{if}, R_{if}, D_{if}, C_{if}, \dots\}, \quad (3)$

в зависимости от вида объекта и системы проектирования,

где  $S$  - состав объекта (или системы) проектирования;

$X$ - входные параметры;

$D$ - действие или операторы, объединяющие действие;

$Y$ - выходные параметры объекта проектирования;

$Z$ - множество элементов и альтернативных технических решений;

$R$  - основные размерные характеристики и другие тактико-технические данные с поправочными коэффициентами;

$G$  - множество структур системы, разложенных по ступеням иерархии;



$J_{кт}^N$  - информационная база САПР или множество конструкторско-технологических решений по функции объекта (в зависимости от функции объекта проектирования);

$S_f$ — множество информационных данных системы по функциональным признакам;

$A_{if}$  алгоритм решения проблемы проектирования объекта (системы) по качеству выполняемых функций;

$T_{if}$  тип требуемого объекта (системы) проектирования;

$R_{if}$ — различные характеристики и требуемые тактико-технические данные объекта проектирования;

$D_{if}$  - данные по материалам, используемым в конструкции, технологические функции и другие показатели будущего объекта (системы);

$C_{if}$ — стоимостные требования, ограничения и показатели;

(...) - другие проектно-технологические и управленческие показатели (например, количество срабатываний - для штампа; дальность полета самолета; стойкость при резании деталей из стали и алюминия - для инструмента и т.д.).

Обобщенная математическая модель **функционального** описания **произвольного элемента** структуры, как и всей структуры в целом, может быть представлена в виде:

$$Y_3 = F(t, s, X_3, U, V), \quad (4)$$

где  $Y_3$  - выходная характеристика элемента, в общем случае - вектор-функция;

$X_3$  — вектор-функция режимных (входных) параметров и воздействий;

$U$ — вектор-функция проектных или управляющих параметров элемента;

$V$ - вектор-функция воздействий среды;

$F$ - вектор-функция преобразования определяющих векторов в выходные характеристики элемента;

$t$  - время принятия решения;

$S$  - расчетные стоимостные показатели (трудоемкость), и т.д.

Анализ модели (4) следует проводить с учетом требований **функциональности**, а также ресурсных и эксплуатационных ограничений.

Эти обстоятельства следует записывать в виде соотношений:

$$\left. \begin{array}{l} Y \in {}^\circ F_Y, \quad X \in {}^\circ F_X, \\ U \in {}^\circ F_U, \quad t \in {}^\circ F_t, \\ S \in {}^\circ F_S, \quad F \in {}^\circ F_f \end{array} \right\} \quad (5)$$

Здесь  ${}^\circ F_{ij}$  - совокупность элементов  $(y, u, s, x, t, f, \dots)$ , обозначает область допустимых состояний соответствующих функций ( $i$ ) и параметров (вариантов) ( $j$ ) и т.д.

Дальше по тексту изложения автор выполняет **характеристическое** описание каждого из составляющих **функциональности**. Используя классическую формулу **эффективности разработки**

$$E_j = \sum_i \frac{^{\circ}F_{ij}}{C_{ij}} \rightarrow \max, \quad (6)$$

где  $E_j$  — степень эффективности осуществления  $i$ -ой **функции** проектируемого объекта в  $j$ '- варианте конструкций;

$^{\circ}F_{ij}$  - качество осуществления  $i$ -ой функции объекта в  $j$ -м варианте;

$C_{ij}$  - полные затраты на достижение качества осуществления  $i$ -ой функции  $j$ -го изделия (варианта объекта).

Далее, с использованием **теории структур** и **ФСИ**, автор приходит к показателю **интегрального качества**  $S_{ik}$  проектируемого объекта подготовки производства:

$$S_{ik} = \frac{\sum_{i=1}^n {}^{\circ}F_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij} \cdot t} \rightarrow \max, \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (7)$$

где  $t$  - время на подготовку и реализацию решений;

( $^{\circ}$ ) - требуемое состояние проектируемого объекта.

В последующем изложении материала приводятся упорядоченные множества элементов **структурной модели** проектирования, указываются их два типа. **Первый тип** может быть выражен как функция оптимизации ( $F$ ), то есть

$$F = f(x_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где  $F$  называется **целевой функцией**, а ее аргументы  $x_i$  - **параметрами или управлениями**.

**Второй тип** связан с процессами, которые описываются системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_i, u_j), \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, r}, \quad (9)$$

где  $X_j$  - так называемые переменные состояния или фазовые переменные;

$U_j$ - переменные управления или параметры управления, влияющие на ход процесса.

Цель **оптимизации** обычно выражается как требование найти изменение управления по времени  $t$   $U_j(f)$ , которое обеспечивает **экстремум функционала**, выражающего некоторую целевую функцию  $F$ , связанную с переходом объекта от заданного начального фазового состояния  $x_i(t_0) = x_{i0}$  к предписанному конечному фазовому состоянию  $x_i(t_1) = X_n$

$$F = \int_{t_0}^{t_1} f_0(x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_r) dt = \text{opt}. \quad (10)$$

Задача оптимального проектирования формулируется следующим образом: найти вектор проектных параметров  $X^* = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , соответствующий минимуму величины критерия оптимальности при выполнении системы неравенств

$$X_{\text{дон}} = \{X/g_j(X) \leq 0, j=\overline{1, m}\}, \quad (11)$$

а краткая запись этой задачи  $\min F(X)$  выглядит как

$$\begin{aligned} X \in X_{\text{дон}}; \\ X_{\text{дон}} = \{X/g_j(X) \leq 0, j=\overline{1, m}\} \text{ и т.д.} \end{aligned} \quad (12)$$

В следующих разделах автор раскрывает и описывает основные методы оптимизации проектных решений, выполняя верификацию методов, базирующихся на классическом математическом анализе и включающих в себя дифференциальное и вариационное исчисления, метод множителей Лагранжа и др.

Согласно принципу оптимальности принятия решений по управлению проектированием сложной системы, проблему разбивают на ряд последовательных этапов, на каждом из которых решают свою оптимизационную задачу. При этом задача минимизации функции многих переменных сводится к последовательному (поэтапному) решению задач минимизации функции одной переменной согласно следующей схеме

$$\min_{x_1, x_2, \dots, x_n} F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \min_{x_2} \{ \min_{x_1} [\dots \min_{x_n} F(x_1, x_2, \dots, x_n)] \}. \quad (13)$$

Далее приводится схема алгоритма поиска экстремума. Например, при любом методе спуска последовательность  $X^k$  подчиняется условию

$$X^{k+1} = X^k + t^k d^k, k=0, 1, \dots, \quad (14)$$

где  $d^k$  есть направление, а  $\|t^k d^k\|$  – величина шага. Если  $d^k$  нормализовано, то есть  $\|d^k\| = 1$ , то величина шага будет равна  $|t^k|$ .

Подбирая, например, величину  $t$ , можно обеспечить выполнение условия  $F(X^{k+1}) < F(X^k)$ . В зависимости от способа выбора шага  $t$  существуют разновидности градиентных методов, среди которых наиболее известны метод градиентного спуска и метод наискорейшего спуска. Например, в методе Ньютона – Рафсона для обеспечения сходимости от начального приближения в алгоритм минимизации помимо определения направления поиска вводится процедура выбора длины шага вдоль него

$$X^{k+1} = X^k - t^k H^{-1}(X^k) \nabla F(X^k). \quad (15)$$

Например, в методе деформируемого многогранника, который является модификацией метода конфигураций, критерий окончания поиска оптимального решения запишется как:

$$\left\{ \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{n+1} [f(a_i^k) - f(a_{n+2}^k)]^2 \right\} \leq \varepsilon, \text{ и т.д.} \quad (16)$$

Первая глава завершается описанием процедур принятия оптимальных решений при вычислении экстремумов для анализа автоматизированной системы проектирования и управления разработками, с использованием метода множителей Лагранжа, методов линейного и нелинейного программирования, вариационного исчисления и принципа максимума.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ автор проводит исследование структурной организации и принципов построения автоматизированных систем ПМП, используя

при этом **верификационные методы** анализа на основе рассмотренных методов оптимизации, изложенных в первой главе, а также на основе ФСИ. В первом параграфе автор дает функциональную и математическую интерпретацию автоматизированных систем, связывая математическими моделями **управляемый** технологический процесс проектирования в условиях функционирования АСТПП, представляет математическую модель обобщенной АСУ:

$$A_{\text{обобщ}f} = S_{ij} \{P_{if}; T_{kf}; M_{jf}; B_{ukf}; C_{imf}; \dots\}, \quad (17)$$

где  $A_{\text{обобщ}f}$  – обобщенная АСУ 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 подготовкой производства по **главной функции производства в предметной области (действия)**;

$T_{kf}$  – подсистема управления типом производства (сборочное, механообрабатывающее и т.д.) по функции производства;

$M_{jf}$  – подсистема материального, инженерного, технического и проектного обеспечения по функции предприятия;

$B_{ukf}$  – подсистема бухгалтерского учета и отчетности, кадров, социально-бытовым вопросам, общим вопросам по функции предприятия;

$C_{imf}$  – подсистема финансовой и стоимостной инженерии, маркетинга, бизнес-планирования, координации действий между службами;

$\{\dots; \dots\}$  – прочие подсистемы (дополняются в зависимости от требований предприятия и функциональности).

В операторной форме процесс подготовки производства запишется как

$$S_{ij} : X_{ij} \rightarrow R_{ij} \rightarrow Y_{ij}, \quad (18)$$

где  $Y_{ij} = \{y_1, y_2, \dots, y_n; u_1, u_2, \dots; y'_1, \dots\}$  – выход **управляющих сигналов** в виде **готового изделия (продукта)** или подсистем (агрегатов) изделий со всеми производными.

При условии замены этой системы совокупностью функций  $\Phi_{ij}$ , ее функционально-структурной моделью (рис.2), обладающей определенным набором свойств, способов и средств достижения цели-функции, будет справедливым преобразование формальной записи системы к виду

$$\Phi_{ij} : X_f \rightarrow R_f \rightarrow Y_f, \quad (18')$$

где система должна представлять собой оператор преобразования

$$X_f \rightarrow R_f \rightarrow Y_f \quad (19)$$



Рис.2. Функционально-структурная модель автоматизированного управления производством (предприятием) с позиции функционального подхода

Описание каждого элемента системы (18') может быть формализовано с помощью выражения

$$F_i = \{P_{if} T_{if}; M_{if}; B_{if} C_{if} \dots; \dots\} \quad (20)$$

при условии, что

$$F_i \in \Phi_{if}, \quad (21)$$

где  $P_{if}$  - указание действия (управляющее воздействие), производимого рассматриваемой АС через его главную функцию;

$T_{if}$  — указание объекта, на который направлено действие  $P_i$  через функцию (полезное действие);

$M_{if}$  - указание особых условий и ограничений, при которых реализуется управляющее воздействие  $P_i$  через функцию объекта проектирования (или управления);

$B_{if}$  и  $C_{if}$  — субъекты управления организацией (объектом, процессом и т.п.), являющиеся материальными носителями функций управления, производящие действия через **функцию стоимости** (экономической и функционально-стоимостной инженерии).

Представим все вышесказанное в виде схемы-графа основных компонент по уровням  $A, P, X, V$ ,

где  $A$  — множество целей;

$P$  - множество признаков;

$X$  — множество технических решений (входных параметров);

$V$  - множество оценок.

Изобразим (рис.3) это граф-схемой.





Рис.3. Схема графа основных компонент автоматизированной системы проектирования по уровням иерархии: ( $V_j - B^{\wedge}$  - блоки информации - информационные комбинаторные блоки (файлы),  $F_j$  - функциональные уровни

Из определения **автоматизированных систем** и выражаясь языком (математическим тезаурусом) теории множеств, **функциональность АСУ** (ТП, производством и др.), то есть проектирование этой технической системы можно связать с отображением на множество **оценок среза производства бинарных отношений**: множество целей и множество признаков, множество признаков и множество технических решений по **функции** системы. Обозначим:

$A_f = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  - множество целей по функции системы;

$P_f = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  - множество функциональных признаков;

$X_f = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  - множество технических решений по типовым функциональным носителям информации;

$V_f = \{v_1, v_2, \dots, v_e\}$  - множество функциональных оценок.

Функция проектирования АС может быть выражена следующей формализованной записью:

$$\Phi(\circ F_{np}): [\Phi \circ \phi(A_0)] \rightarrow V, \quad (22)$$

где  $p$  - бинарное отношение между элементами множеств  $A$  и  $P$ ;

$\phi$  - бинарное отношение между элементами множеств  $P$  и  $X$ ,

где  $(\phi \in ((A \times P); \Phi \in (P \times X); A_0 \in A). \quad (23)$

Установить бинарные отношения  $\Phi$  и  $\phi$  означает, что надо указать на те упорядоченные пары декартового произведения, которые находятся в отношении  $\Phi$  и  $\phi$  соответственно.

Произведение бинарных отношений

$$\Phi \circ \phi = [((a, x) \in (v_p) [(a, P) \in \phi \wedge (P, x) \in \phi]] \quad (24)$$



представляет собой множество упорядоченных пар  $(a, x)$ , таких, что для них существует элемент  $(p)$  множества  $P$ , с которым  $(a)$  находится в отношении  $\langle p \in \text{элемент}(x)$ .

**Срез** произведения по подмножеству  $A_0$  выражается:

$$\Psi \circ \varphi(A_0) = \{[(a, x)] (\forall p) [(a, P) \in \varphi \wedge (P, x) \in \Psi \wedge a \in A_0]\}. \quad (25)$$

Отображение среза произведения бинарных отношений на множество оценок означает функцию, определенную на множестве  $U \circ (p(A_0))$  и принимающую значение на множестве  $V$ . Каждый элемент множества  $V$  при этом представляет собой в общем случае  $n$ -мерный вектор, компонентами которого являются стоимостные характеристики, характеристики полезности и другие.

Далее, перечисляются и определяются **функции** (как полезные действия, свойства и состояния) АСУ ТП, **оптимизируется** ее структура, указываются методы устранения возмущений и др.

В виде математической модели технологический процесс в АСУ ТП представляет собой зависимость:

$$y(t+\Delta t) = A\{U(t) + By(t); F[\zeta(t), \eta(\tau)]\}, \quad (26)$$

где  $y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$  – выходная комплексная переменная;

$\Delta t$  – время от начального цикла действия АСУ ТП до получения контрольной информации о результатах этого действия;

$A$  – оператор действия всей АСУ ТП;

$U(t) = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)\}$  – входные контролируемые воздействия;

$B$  и  $F$  – операторы управляющих и не управляющих воздействий соответственно;

$\zeta(t) = \{\zeta_1(t), \zeta_2(t), \dots, \zeta_n(t)\}$  – контролируемые, но неуправляемые воздействия [например, измеряемые параметры исходных заготовок (или материалов), используемых в технологическом процессе];

$\eta(\tau) = \{\eta_1(\tau), \eta_2(\tau), \dots, \eta_n(\tau)\}$  – неконтролируемые воздействия.

В выражении (26) интервалы изменения временных параметров  $t$  и  $\tau$ :

$$t_0 \leq t \leq t_0 + T; \quad t \leq \tau \leq t + \Delta t,$$

где  $t_0$  – начало отсчета времени;

$T$  – длительность интервала наблюдения за поведением процесса управления.

Поскольку  $\eta(\tau)$  – вектор случайных воздействий, характер которых в общем случае не известен, выражение (26) имеет вид:

$$My(t+\Delta t) = MA\{U(t) + B[My(t)], \zeta(t)\}, \quad (27)$$

где  $M$  – символ математического ожидания.

Далее в главе рассматриваются основные системные показатели автоматизированных систем подготовки производства, определяется коэффициент снижения эффективности ( $K_E = E/E_0$ ), показывающий, какую часть эффективности реального управляющего вычислительного комплекса ( $E$ ) составляет от идеальной эффективности ( $E_0$ ) и т.д.

В последние годы в практике проектирования используют также показатель интегрального качества системы  $S_{ki}$ , который заключается в отношении

данных по функциональности  $\sum_{i=1}^N {}^oF_{ij}$  и расчетным данным по общей стоимости  $\sum_{i=1}^N C_{ij}$ , умноженном на время  $T$  – время проектирования, адаптации и принятия решений по ее эксплуатации на основе результатов опытной эксплуатации:

$$S_{ki\ zom} = \sum_{i=1}^N {}^oF_{ij} / \sum_{i=1}^N C_{ij} T, \quad (28)$$

где  $T = t_{ис} + t_{мод} + t_{пр} + t_{зап} = \sum_{j=1}^N t_j$ ,

Здесь  $t_{ис}$  – время на исследование разработок подобных систем;

$t_{мод}$  – время априорного моделирования;

$t_{пр}$  – время проектирования АСУ ТП;

$t_{зап}$  – время адаптации и запуска системы в производство в своей предметной области;

$j$  – количество временных интервалов между этапами разработки АСУ ТП и т.д.

Критерий весомости вводится при рассмотрении альтернативных технических решений, использованных в системах-аналогах

$$K_{\phi} = \frac{C_j}{Z_i \cdot C_{lim}} \leq 1, \quad (29)$$

где  $Z_i$  – значимость  $i$ -й функции ( $F_i$ ), учитывающей потребительские свойства перспективного аналога ( $0 < Z_i \leq 1$ );

$C_j$  – себестоимость материальных носителей реализующих функцию АСУ ТП ( $F_i$ );

$C_{lim}$  – лимитная себестоимость, выделенная на проектирование и реализацию АСУ ТП

$$C_{lim} \geq \sum_{j=1}^N C_j \text{ и т.д.} \quad (30)$$

Далее по тексту проводится анализ оптимального решения автоматизированной системы при вычислении экстремума с ограничениями в виде равенств, в котором исследуется экстремум функции  ${}^oF: R^n \rightarrow R$ , с наложенным ограничением в виде равенства  $f(x) = 0$ , где  $f: R^n \rightarrow R^m$ . Для решения этой задачи используются метод **прямой подстановки** и метод **множителей Лагранжа** [39].

Чтобы проиллюстрировать применение метода множителей Лагранжа, рассмотрим случай, когда  $X$  представляет собой двумерный вектор. Пусть требуется минимизировать функционал (с фиксированными граничными точками)

$$J = \int_{t_0}^{t_f} \varphi(x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2) dt \quad (31)$$

при ограничении

$$A(x_1, x_2, t) = 0. \quad (32)$$

Необходимое условие минимума определяется равенством нулю первой вариации от (31)

$$\delta J = \int_{t_0}^{t_f} \delta x_1 \left\{ \left[ \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} - \frac{d}{dt} \frac{\partial \varphi}{\partial \dot{x}_1} \right] \right\} + \delta x_2 \left\{ \left[ \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} - \frac{d}{dt} \frac{\partial \varphi}{\partial \dot{x}_2} \right] \right\} dt = 0. \quad (33)$$

Если  $\delta x_1$  не зависит от  $\delta x_2$ , можно просто приравнять каждый из двух членов в (33) нулю. Поскольку наличие ограничения подразумевает зависимость между  $x_1$  и  $x_2$ , следует принять во внимание заданное ограничение. Определив вариацию (32), получим

$$\delta A = \frac{\partial A}{\partial x_1} \delta x_1 + \frac{\partial A}{\partial x_2} \delta x_2 = 0. \quad (34)$$

Из этого также следует, что для любого  $\lambda(t)$  можно умножить (34) на  $\lambda(t)$  и проинтегрировать полученные произведения (выражения), так что

$$\int_{t_0}^{t_f} \lambda(t) \left[ \frac{\partial A}{\partial x_1} \delta x_1 + \frac{\partial A}{\partial x_2} \delta x_2 \right] dt = 0 \quad (35)$$

Сложив (33) и (35), получим

$$0 = \int_{t_0}^{t_f} \left\{ \delta x_1 \left[ \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} - \frac{d}{dt} \frac{\partial \varphi}{\partial \dot{x}_1} + \lambda \frac{\partial A}{\partial x_1} \right] + \delta x_2 \left[ \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} - \frac{d}{dt} \frac{\partial \varphi}{\partial \dot{x}_2} + \lambda \frac{\partial A}{\partial x_2} \right] \right\} dt \text{ и т.д.} \quad (36)$$

Рассмотрим, например, случай, когда время достижения оптимального решения не определено. Предположим, что начальный момент и вектор начального состояния определены. Далее можно получить решение для случая, когда упомянутые величины не определены. Тогда задача сведется к минимизации функции стоимости [34]

$$J = {}^0F[x(t_f), t_f] + \int_{t_0}^{t_f} \Phi[x(t), u(t), t] dt \quad (37)$$

для системы, описываемой уравнением

$$\dot{x} = f[x(t), u(t), t] \quad x(t_0) = x_0 \quad (38)$$

где  $t_0$  фиксировано и в момент достижения  $t = t_f$  справедливо  $q$  – мерное векторное уравнение

$$N[x(t_f), t_f] = 0. \quad (39)$$

Граничное условие  $x(t_f) = Ct_f$ , переходит в более общее  $N[x(t_f), t_f] = 0$ .

Введем в функцию стоимости с помощью множителей Лагранжа ограничения, заданные в форме равенств

$$J = {}^0F[x(t_f), t_f] + v^T N[x(t_f), t_f] + \int_{t_0}^{t_f} \{\Phi[x(t), u(t), t] + \lambda^T(t) f[x(t), u(t), t] - \dot{x}\} dt \quad (40)$$

Определим функцию Гамильтона [41]

$H[x(t), u(t), \lambda(t), t] = \Phi[x(t), u(t), t] + \lambda^T(t) f[x(t), u(t), t]$  и преобразуем интеграл (40). В результате получим

$$J = {}^0F\left[x(t_f), t_f\right] + v^T N[x(t_f), t_f] - \lambda^T(t_f) x(t_f) + \lambda^T(t_0) x(t_0) + \int_{t_0}^{t_f} \left\{ H[x(t), u(t), \lambda(t), t] + \dot{\lambda}^T x(t) \right\} dt \quad \text{и т.д.} \quad (41)$$

**В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ** рассматриваются, исследуются и методом верификации отбираются методы анализа САПУР.

Рассматриваются основные методы анализа на примерах **подготовки производства** и производится подробное математическое описание (моделирование) информационной конструкторско-технологической базы САПР - СТО (средств технологического оснащения).

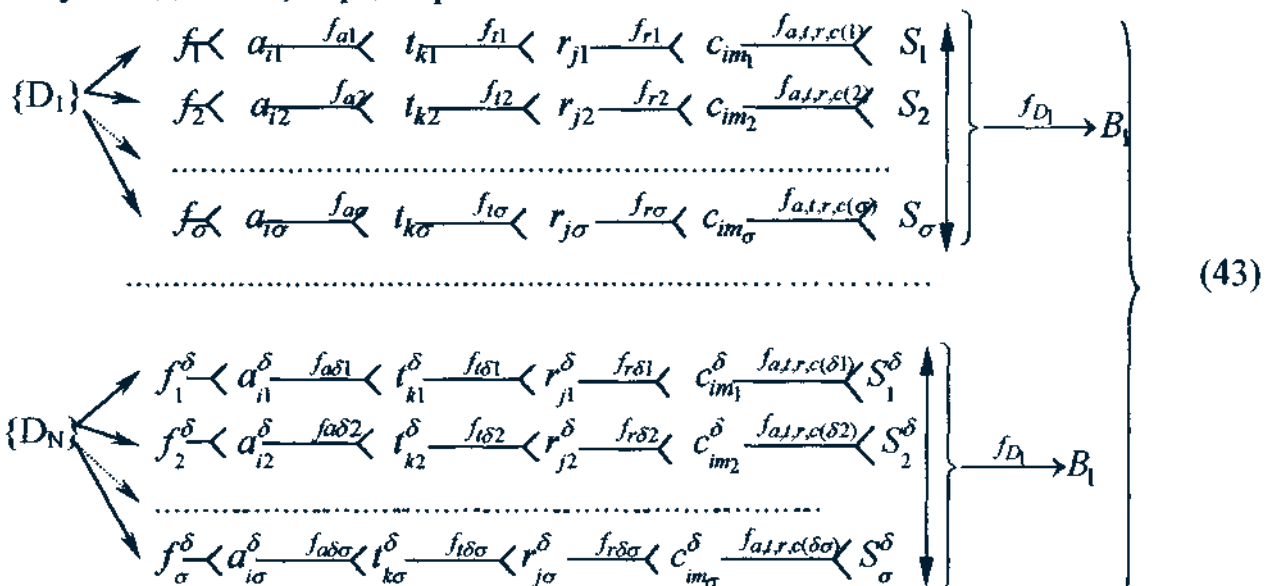
Математическая модель должна обеспечивать возможность определять состав каждого входящего элемента системы. Итак, имеем

$$I_{KT} = S_{fij} \{A_{if}; T_{kf}; R_{jf}; D_{mf}; C_{imf}; \dots\}, \quad (42)$$

где  $A_{if}; T_{kf}; R_{jf}; D_{mf}; C_{imf}$  предопределяют состав независимых множеств для построения типового функционального носителя информации  $S_{fij}$ ;

$S_{fij}$  – типовой функциональный носитель информации (ТФНИ) автоматизированной системы в своей предметной области производства или управления.

Запишем последовательность формирования ТФНИ в виде математических зависимостей, используя теорию структур и булеву алгебру – логику, схему «следствия», «предопределения» и «совместности»



Тогда совокупность  $S_{ji}$  по блокам типовых функциональных представителей и совместностью с отдельными  $S_i$  по-варианту и по уровням математической модели **предопределяет** универсальное информационное множество  $I_{\mathcal{E}}$  в своей предметной области производства, в данном случае производства средств технологического оснащения (СТО)

$$\begin{array}{c}
 S_1 \xleftarrow{f_{a,r,c(1)}} S_2 \xleftarrow{f_{a,r,c(2)}} \dots \xleftarrow{f_{a,r,c(n)}} S_\sigma \xleftarrow{f_{a,r,c(\sigma)}} B_1 \\
 S_1^2 \xleftarrow{f_{a,r,c(2)}} S_2^2 \xleftarrow{f_{a,r,c(2)}} \dots \xleftarrow{f_{a,r,c(n)}} S_\sigma^2 \xleftarrow{f_{a,r,c(\sigma)}} B_2 \\
 \dots \\
 S_1^\delta \xleftarrow{f_{a,r,c(\delta)}} S_2^\delta \xleftarrow{f_{a,r,c(\delta)}} \dots \xleftarrow{f_{a,r,c(n)}} S_\sigma^\delta \xleftarrow{f_{a,r,c(\sigma)}} B_N
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{c} S_1 \\ S_1^2 \\ \dots \\ S_1^\delta \end{array}} \right\} \xleftarrow{\circ F_i} S_1^\delta \rightarrow I_{kT}^N \quad (44)$$

Иначе выражение (44) может быть выражено

$$I_{kT}^N \xleftarrow{\circ F_{ij}} \left\{ \circ F_i \left\{ B_1 \xleftarrow{f_\delta^j} B_2 \xleftarrow{f_\delta^j} B_3 \xleftarrow{f_\delta^j} \dots \xleftarrow{f_\delta^{jN}} B_n^N \right\} \right\} \xleftarrow{\circ F_{ij}^N} \left\{ S_{i/\sigma}^{j/\sigma} \right\}, \quad (45)$$

где  $I_{kT}$  - универсальное информационное множество (ИКТБ АСПСТО) размерности  $N$ .

Распишем функциональные структурно-элементные модели ИКТБ (43) - (45) по уровням самореализующихся функций математической модели от типовых конструктивно-технологических элементов, блоков и так далее до агрегатов и объектов в следующей последовательности:

$$[D \times A] = F_D \| d_\delta(\sigma) \|_A = F_D \begin{array}{c} d_1 \quad d_2 \quad \dots \quad d_n \\ \left[ \begin{array}{cccc} d_1(1) & d_1(2) & \dots & d_1(n) \\ d_2(1) & d_2(2) & \dots & d_2(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_n(1) & d_n(2) & \dots & d_n(n) \end{array} \right] \begin{array}{l} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{array} \end{array}, \quad (46)$$

где  $d_\delta(\sigma) = \begin{cases} 1, & \text{если } d_\delta \text{ и } d_\sigma \in \langle f_D, \text{ то есть } d_\delta, d_\sigma \subset A \text{ на всех уровнях,} \\ 0 - & \text{в другом случае.} \end{cases}$

Тогда совокупность алгоритмов Дг по уровням математической модели от типовых конструктивно-технологических элементов до объектов логически может быть представлена подмножествами декартового произведения множества  $A$  на себя в виде булевой матрицы

$$[A \times A] = F_A \|a_\delta(\sigma)\|_T = F_A \begin{matrix} a_1 & a_2 & & a_n \\ \left[ \begin{array}{cccc} a_1(1) & a_1(2) & \dots & a_1(n) \\ a_2(1) & a_2(2) & \dots & a_2(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n(1) & a_n(2) & \dots & a_n(n) \end{array} \right] \begin{matrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_n \end{matrix} \end{matrix}, \quad (47)$$

где  $a_\delta(\sigma) = \begin{cases} 1, & \text{если } a_\delta \text{ и } a_\sigma \text{ — } T_k \text{ по } f_D, \text{ то есть } T_k \rightarrow A, \text{ тогда } a_\delta, a_\sigma \subset A; \\ 0 & \text{— в другом случае.} \end{cases}$

Далее автор выполняет компоновку **базы** по каждому блоку, используя принципы-методы **следования, предопределения и совместности**.

В итоге автор, используя теорию структур и исследование операций, а также основные аспекты ФСИ (и функционально-стоимостного анализа разработок), записывает универсальное множество  $I_{km}$  в виде функции от логического произведения входящих элементов

$$I_{km}^N = {}^{\circ}F_i^j \{ \|d_\delta(\sigma)\|_A \cap \|a_\delta(\sigma)\|_T \cap \|t_\delta(\sigma)\|_A \cap \|r_\delta(\sigma)\|_T \cap \|c_\delta(\sigma)\|_T \cap \|c_\delta(\sigma)\|_R \cap \|c_\delta(\sigma)\|_A \cap \|B_\delta(\sigma)\|_A \cap \dots \cap \|B_\delta(\sigma)\|_T \cap \dots \} \{ S_{\frac{1}{\delta}} \} = 1! \quad (48)$$

где 1! - наполнение информационной конструкторско-технологической базы по срезам всех входящих в нее элементов и блоков в предметной области производства (в данном случае производстве средств технологического оснащения).

Техническую интерпретацию составляющих множеств (S) по функциям заменим на качественное понятие функциональности

$$S = S_{un} = \frac{\sum_{i=1}^n {}^{\circ}F_{ij}(t)}{\sum_{i=1}^n C_{ij}(t) \cdot t_i}, \quad (49)$$

где  ${}^{\circ}F_{ij}$  - величина функциональности проектирования;

$C_{ij}$  - величина затрат на функцию проектирования;

$i$  - функция;

$j$  - вариант решения;

$t_i$  - время на подготовку и реализацию функций альтернативных технических решений при анализе конструкции и проектировании объекта.

Совокупность множеств  $\{A_{ij}, T_{kf}, R_{if}, D_{nf}, C_{inf}, \dots\}$  есть общий показатель всех функций проектирования в совокупности ( $V_i$ ).

В соответствии с критериями **функциональности** показателей технических решений в виде **функций** автор записывает

$$V_i = \sum_{i=1}^n V_i',$$



где  $V_i$ - показатель значения ТФНИ, как производной от совокупности всех вариантов технических решений.

Для анализа технических решений при проектировании объектов по критерию **функциональности** необходимо ввести показатель **коэффициента значения функции  $K_i$** , который определяется методом **по парного сравнения** компонентов функциональности, деленной на стоимостные показатели по пределам функций и вариантов решений

$$\left\{ \lim_{\substack{i \rightarrow \max \\ j = \text{const}}} \frac{F_{ij}}{C_{ij}} \rightarrow K'_1, \lim_{\substack{i = \text{const} \\ j \rightarrow \max}} \frac{F_{ij}}{C_{ij}} \rightarrow K'_2, \dots, \lim_{\substack{i \rightarrow \max \\ j \rightarrow \min}} \frac{F_{ij}}{C_{ij}} \rightarrow K'_n, \dots, \lim_{\substack{i \rightarrow \min \\ j \rightarrow \max}} \frac{F_{ij}}{C_{ij}} \rightarrow K'_m \right\}$$

где  $\left\{ K'_1 \parallel K'_2, K'_2 \parallel K'_3, K'_3 \parallel K'_4, \dots, K'_n \parallel K'_m, \dots, K'_m \parallel K'_1 \right\} \rightarrow K_i$

при  $K_i \rightarrow 1,$

$$C_{ij} \rightarrow \min,$$

$t \rightarrow \min$ , где  $\min, \max \rightarrow 1, 2, 3, \dots, n$ , показывающие зависимость величины выполнения функции ( $F_{ij}$ ) от величины затрат на функцию проектирования ( $C_{im}$ ) при различных значениях ( $t$ ).

Получим:

$$V_i' = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n K_i} \cdot K_i,$$

отсюда

$$V_i = \frac{V_i' \sum_{i=1}^n K_i}{K_i}. \tag{50}$$

Подставляя полученные значения в формулу (42), получим

$$I_{KT}^N = \frac{V_i' \sum_{i=1}^n K_i \cdot \sum_{i=1}^n F_{ij}(t)}{K_i \cdot \sum_{i=1}^n C_{ij}(t) \cdot t} = \max! \rightarrow 1! \tag{51}$$

Математическая интерпретация моделей (46) – (51) представляет собой пересечение (срез) компонентов:  $a, t, r, c, \dots, \tau_i$  по функциям  $f$  и может быть выражена

$a_{ij} \cap t_{kf} \cap r_{jf} \cap c_{imf} \cap \dots \cap \tau_{if} \cap \dots = 1$ , тогда универсальное множество  $I_{KT}^N$  имеет материализованное и функциональное значение в своей предметной области и т.д.

При использовании **априорных решающих правил** считается, что если множество альтернатив  $S$  и целевые функции  $f_1(x), \dots, f_n(x)$  заданы, то это

вполне достаточно для объективного определения оптимального решения. Простейшим типовым правилом является **принцип равноценной оптимальности**, который можно представить в виде:

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^n f_i(x) .$$

Однако применение этого правила требует выразить все локальные целевые функции в одинаковых единицах измерения. В противном случае их приводят к безразмерному виду путем деления на единицу соответствующего масштаба, в качестве которой, в частности, можно выбрать разность между максимальным  $f_i^M$  и минимальным  $f_i^m$  значениями целевой функции (рис.3) [41].

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^n \frac{f_i(x) - f_i^m}{f_i^M - f_i^m} = \sum_{i=1}^n \lambda_i f_i(x) - C ,$$

где  $\lambda_i = (f_i^M - f_i^m)^{-1}$ ,  $C = \sum_{i=1}^n \lambda_i f_i^m$ .

**Принцип справедливого компромисса**  $\varphi(x) = \prod_{i=1}^n f_i(x)$  чаще удовлетворяет условиям решаемой задачи. В частности, его можно применять, если функции  $f_i(x)$  представляют собой вероятности некоторых событий.

**Принцип гарантированного результата**

$$\varphi(x) = \min_i \frac{f_i(x)}{f_i^M(x)} = \min_i \lambda_i f_i(x) ,$$

где  $\lambda_i = 1/f_i^M$ , обеспечивает максимизацию наиболее низкого относительного значения частной целевой функции.

Наиболее простым является **лексиграфическое правило**, основанное на гипотезе о том, что локальное проектное решение может упорядочить критерии по важности и большее значение важного критерия предпочтительнее более высоких значений менее важных критериев. Если  $f_1(x), \dots, f_n(x)$  упорядочены по важности (по рангу), то обычно в качестве  $\varphi(x)$  следует брать  $f_1(x)$  и сокращать  $P$  до множества  $P_r$ , все элементы которого имеют одинаковые значения  $f_1(x) = f_1^M$ , на множестве  $P_r$  отыскивается множество элементов, доставляющих максимальные значения  $f_2(x)$ , и так да-

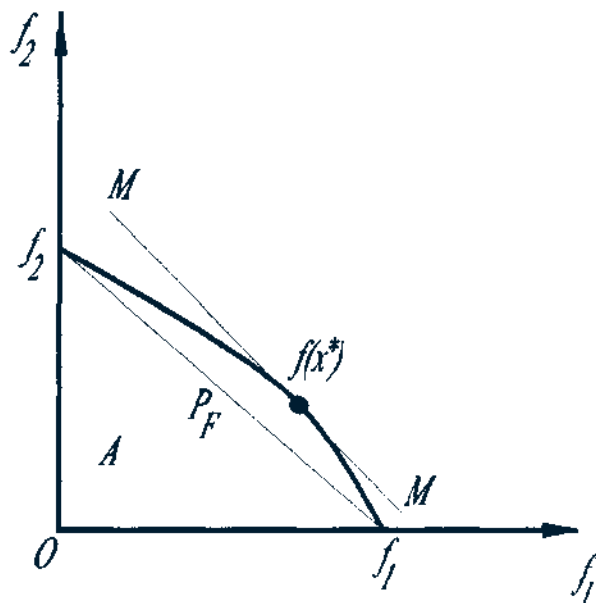


Рис.3. Принцип равномерной оптимальности с предварительным приведением ценовых функций к безразмерному виду  $f_i^M - OJ$

лее, пока не остается единственный вектор значений целевых функций. Оптимальное по лексиграфическому правилу значение обычно лежит на границе множество Парето (рис.4) и обладает минимальными на нем значениями менее важных показателей [41].

Для устранения этого недостатка локальное проектное решение может задать минимально допустимые значения этих показателей, после чего решать соответствующую задачу оптимизации на  $PF$  и т.д.

Далее, автор выводит значения критериев, принадлежащих  $M_i$  [34].

**Критерии из  $M_i$  называют независимыми по предпочтению от критериев из  $L/2$ , если предпочтение между векторными оценками  $(f^1, f^2)$  и  $(g^1, g^2)$ , содержащими одинаковые значения<sup>2</sup> критериев  $L/2$ , не зависит от этих значений и т.д.**

В последовательности изложения разработок, автор подробно останавливается на оптимизации решений для повышения эффективности автоматизированных систем проектирования и управления разработками с позиции ФСИ.

Пусть система  $[(X - \text{затраты}) - (D - \text{оператор}) - (Y - \text{доход})]$  состоит из двух звеньев. (Третье звено  $D$  - оператор, то есть действие условно опустим). **Первое звено** -  $(X - \text{затраты})$  - это деньги и работы, на которые они будут израсходованы. **Второе звено** -  $(Y - \text{доход})$ , - это некоторая сумма денег и продукт, приобретённый на эти деньги (например, программный продукт). Работы (или вычислительные услуги) могут быть разными. Это можно учесть, например, с помощью некоторого признака  $S$ , заданного для определённости некоторым числом из интервала  $[0, 1]$ .

Обозначим через  $B(s)$  и  $E(s)$  соответственно количество работ и количество вложенных в них денежных единиц, приходящихся на единицу признака  $S$ . Разобьём отрезок  $[0, 1]$  точками  $S_i (i=1, \dots, n)$  на малые интервалы длины  $\Delta S$ . Представим, что каждую денежную единицу из  $E(S_i)\Delta S$ , имеющих на интервале  $(S_i, S_j + \Delta S)$ , можно вложить в выполнение одной из  $B(s_j)\Delta S$  работ.

Число возможных способов будет равно  $[B(s_j)\Delta S]^{E(s_j)\Delta S}$ . При этом денежные единицы считаем различными, несмотря на их количественное совпадение, что помогает запомнить в какую работу и какая именно единица была вложена [41].

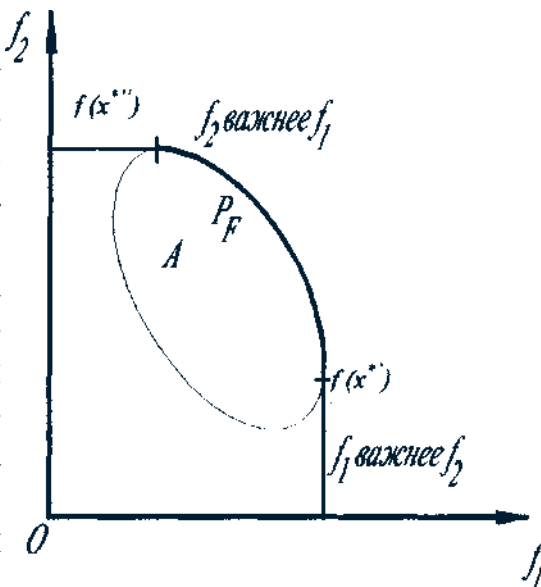


Рис.4. Лексиграфическое упорядочение

Пусть далее  $U(s)$  и  $W(s)$  - соответственно число услуг и число вложенных в них денежных единиц дохода, приходящиеся на единицу признака  $5^*$ . Представим, что каждую полученную от дохода денежных единиц из  $W(S_i)\Delta S$  на интервале  $(S_i, S_i+\Delta S)$ , можно вложить в одну из  $u(8^{\wedge})\Delta S$ , имеющих на этом интервале услуг. Число всевозможных способов будет равно:

$$[U(S_i)\Delta S]^{W(S_i)\Delta S}.$$

Тогда число способов вложения денег в системе из двух звеньев [(X -затраты) - (Y- доход)] и {(Y- доход) - [E(s) - вложения]} равно:

$$[B(S_i)\Delta S]^{E(S_i)\Delta S} [U(S_i)\Delta S]^{W(S_i)\Delta S}.$$

Учитывая в положение по всем признакам и их комбинации, найдём число возможных способов вложений уже по всем признакам:

$$\prod_{i=1}^n [B(S_i)\Delta S]^{E(S_i)\Delta S} [U(S_i)\Delta S]^{W(S_i)\Delta S}.$$

Полагая, что все эти возможности равновероятны, приходим к величине информации, которую в среднем несёт сообщение о реализации одного из указанных способов вложения:

$$I_i = \ln\left\{\prod_{i=1}^n [B(S_i)\Delta S]^{E(S_i)\Delta S} [U(S_i)\Delta S]^{W(S_i)\Delta S}\right\}$$

или:

$$I_i = \sum_{i=1}^n [E(S_i)\Delta S] \ln[B(S_i)] + \sum_{i=1}^n [E(S_i)\Delta S] \ln(\Delta S) + \sum_{i=1}^n [W(S_i)\Delta S] \ln[U(S_i)] + \sum_{i=1}^n [W(S_i)\Delta S] \ln(\Delta S). \quad (52)$$

При заданных денежных средствах и при малых  $\Delta S$  только первое и второе слагаемые зависят от вида  $B(s)$ ,  $E(s)$ ,  $U(s)$ , и  $W(s)$ . Второе и четвертое слагаемые одинаковы для всех таких зависимостей с указанным условием на  $E(s)$  и  $W(s)$  и т.д.

Далее по тексту автор находит **изменение** параметров  $E$  и  $W$ , при котором с наибольшей скоростью изменяется значение функции

$$I^o = \int_{E_0}^E x \ln(k_1 x) dx + \int_{W_0}^W y \ln(k_2 y) dy. \quad (53)$$

Это общая интегральная информационная характеристика, которая каждому состоянию **системы** ( $E$ ,  $W$ ) ставит в соответствие  $\Gamma$ , являющейся суммой величин потенциальных возможностей всех состояний **системы** от минимально возможного ( $B_{min} = E = 1$ ,  $U_{min} = W = 1$ ;) до текущего ( $E, W$ ). Отметим, что  $\Gamma$  является функцией состояния и в строгом смысле: рассматривая на плоскости параметров ( $E, W$ ) произвольный путь, соединяющий начальную точку  $(1/k_1, 1/k_2)$  и текущую точку ( $E, W$ ), получим независимость величины  $\Gamma$  от пути интегрирования в силу потенциальности векторного поля [ $E \ln(k_1 E)$ ,  $W \ln(k_2 W)$ ][41].

После некоторых решений и преобразований  $\Gamma$  запишется:

$$I^o = \frac{E^2}{2} \ln(k_1 E) + \frac{W^2}{2} \ln(k_2 W) - \frac{E^2}{4} - \frac{W^2}{4} + \frac{1}{4k_1^2} + \frac{1}{4k_2^2} \text{ и т.д.} \quad (54)$$

**В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ** проводится **сравнительный анализ** систем автоматизированного проектирования и управления разработками для адаптации и внедрения в подготовку машиностроительного производства, таких как CADD5-5, CATIA, CMATRON, UMGRaphics и АСКТД.

Это выполняется для той цели, чтобы в последующем выполнить **функциональный и системный** анализы методом верификации основных модулей названных систем. **Итак:**

**CADD5-5** - это система для проектирования объектов любой сложности и масштаба. Это комплекс программ, поставленных на мощных станциях фирм Sun Microsystem, DEC и Silicon Graphics. При работе CADD5-5 в сети возможно подключение персональных ЭВМ, на которых устанавливается система автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства Personal Designer и Personal Machinist, разработанная фирмой COPUTERVISION. Оба модуля (обе системы) имеют прямой интерфейс обмена данными и т.д.

**Конструкторско-технологическая система CATIA** представляет собой интегрированный многомодульный пакет, охватывающий широкий спектр задач - от эскизного проектирования до изготовления деталей на станках с ЧПУ.

Последняя версия системы CATIA (5.6) несет в себе массу передовых информационных технологий обработки конструкторско-технологической информации и легко используемые функции, которые включают:

1. Параметрическое и вариационное моделирование;
2. Проектирование на основе характерных типовых конструктивно-технологических элементов деталей, узлов и агрегатов изделий;
3. Точные пространственные тела;
4. Поддержку NURBS;
5. Трехмерный построитель сборочных эскизов;
6. Панель экрана X-Windows<sup>TM</sup>, основанную на пиктограммах;
7. Интерфейс пользователя Motif<sup>TM</sup>;
8. Контекстно-зависимую интерактивную подсказку.

Программные модули CATIA в совокупности и отдельно позволяют постепенно достигать:

1. Проектирования электронных макетов деталей и узлов в точных твердых телах;
2. Объединения операций, создания скруглений и уклонов для твердых тел;
3. Локальную и глобальную параметризацию точных твердых тел;
4. Проектирования на основе примитивов, трафаретных конструкций;



5. Высокопроизводительный чертежный режим и ассоциированные размеры;
6. Возможность модификации изделий через параметрические размеры, и т.д.

**Система UNIGRAphics** имеет хорошую организацию диалога, оригинально организована работа в окнах; в системе высококвалифицированно выполнено **меню**, в связи с чем обеспечивается доступ к нужным функциям с большой скоростью; обеспечено современное сочетание пиктограмм и текста. Пиктограммы понятны и удобны в работе, интеллектуальный курсор обеспечивает быстрый доступ через **всплывающее меню «мышь»** или через **клавишное меню**.

Возможности системы UNIGRAphics в авиационном производстве реализованы в полном объеме: от плазово-шаблонного моделирования до проектирования сложных штампов и пресс-форм. Модуль фотореалистического изображения делает эту систему удобной для проработки и анализа **дизайнерских решений** [например, проекты по интерьеру самолета или космического объекта] и создания качественных рисунков **для рекламы и т.д.**

**Система SIMATRON** также относится к классу систем автоматизированного проектирования и управления разработками и адаптирована в авиационной промышленности, незначительно отличается от системы UNIGRAphics. У системы минимальные подсказки, HELP - отсутствует; динамическое вращение и масштабирование отсутствуют и т.д.

В системе **SIMATRON** при обработке поверхностей очень часто ограничивающий контур не совпадает с границей поверхности, так как редактирование обрезанных поверхностей в версии 6.0 организовано проще и лучше, чем в версии 6.2. В версии 6.2 нет возможности изменить поверхность по параметрическим кривым, можно лишь изменять коэффициенты V и U, а по параметрическим кривым (границам) в данном направлении строится новая поверхность. Также в версии 6.2 системы не строятся скругления между поверхностями **по неполному радиусу (Clif)**. В этом случае пользователю-проектировщику приходится моделировать дополнительные поверхности **DRIVE или MESH** и т.д.

Объединенные с **техническими комплексами и программными продуктами** вышеописанные автоматизированные системы, поставленные на рабочих станциях типа RISC/6000 или RS/6000-42T, предопределили организацию еще одной автоматизированной системы подготовки производства - это автоматизированная система проектирования и управления разработками конструкторской и технологической документации (АСКТД).

**АСКТД** - это подсистема комплексной автоматизированной подготовки авиационного производства, задачей которой ставится ведение конструкторско-технологической документации, автоматизированное формирование, сопровождение и изменение конструкторско-технологической документации, автоматизированное ведение документооборота предприятия в течение всего



цикла создания изделия (проектирование-^ конструирование -^ технологическая подготовка производства-^ производство и изготовление) и т.д.

**В ПЯТОЙ ГЛАВЕ** автор выполняет верификацию и проводит функциональный анализ систем автоматизированного проектирования и управления разработками CADD5-5, CATIA, UNIGRaphics и CIMATRON, с позиции **функционального подхода** в единой АСТПП машиностроительных предприятий. В первом параграфе приводятся, международные сокращения (аббревиатуры) по анализу автоматизированных систем. В следующих параграфах производится подробный функциональный анализ основных подсистем заимствованных вышеназванных САПР.

Далее, проводится подробный инженерный анализ, всех вышеописанных систем и определяется, что самая **универсальная САПР** для использования в подготовке машиностроительного производства, (так как практических **минусов** не имеет и является быстроперестраиваемой) - это:

### **Система UNIGRaphics**

#### **Плюсы:**

- + Легко осваивается.
- + Наилучшая организация диалога.
- + Хорошо организована оперативная помощь.
- + Наиболее надежная система.
- + Наиболее эффективное обучение.
- + Высокая квалификация специалистов EDS.
- + Наилучшее твердотельное моделирование.
- + Наилучшее эскизное проектирование.
- + Наиболее удобное проектирование сборок в совокупности с моделированием.
- + Наиболее полная ассоциативность объектов.
- + Наиболее полная ассоциативность объемов.
- + Наиболее удобное черчение в совокупности с моделированием.
- + Наиболее подходящая система для разработки конструкторской документации на русском языке.

В сфере обработки система UNIGRaphics вне конкуренции:

- + наиболее широкий диапазон конфигураций инструмента;
- + полное фрезерование реализовано отлично;
- + отлично реализовано фрезерование поверхностей;
- + достаточно ориентации инструмента и стратегий обработки;
- + хороший редактор обработки и т.д.

Завершением главы является параграф подбора **инструмента** для исследования, организации и построения **информационного тезауруса** для органи-

зации информационных баз данных систем автоматизации проектирования и управления разработками

**Функционально-стоимостной анализ (ФСА)**- это целенаправленно составленный комплекс технико-экономических методов, сутью которого является **поиск и предложение** лучшего, либо даже принципиально нового решения **функций** анализируемого объекта с целью повышения **эффективности** его использования.

ФСА - это комплекс методов оптимизации соотношений между полезностью объекта и затратами на его изготовление, то есть оптимизации соотношения П/И, где И - издержки, П - полезность

$$\text{или } \text{MAX} \left( \frac{П_{\text{пол}}}{И_{\text{издер}}} \right) = \text{MAX} \left( \frac{\Phi_{\text{функциональность}}}{И_{\text{издержки}}} \right). \quad (55)$$

Здесь же предлагается модель обобщенного объекта проектирования (рис.5).

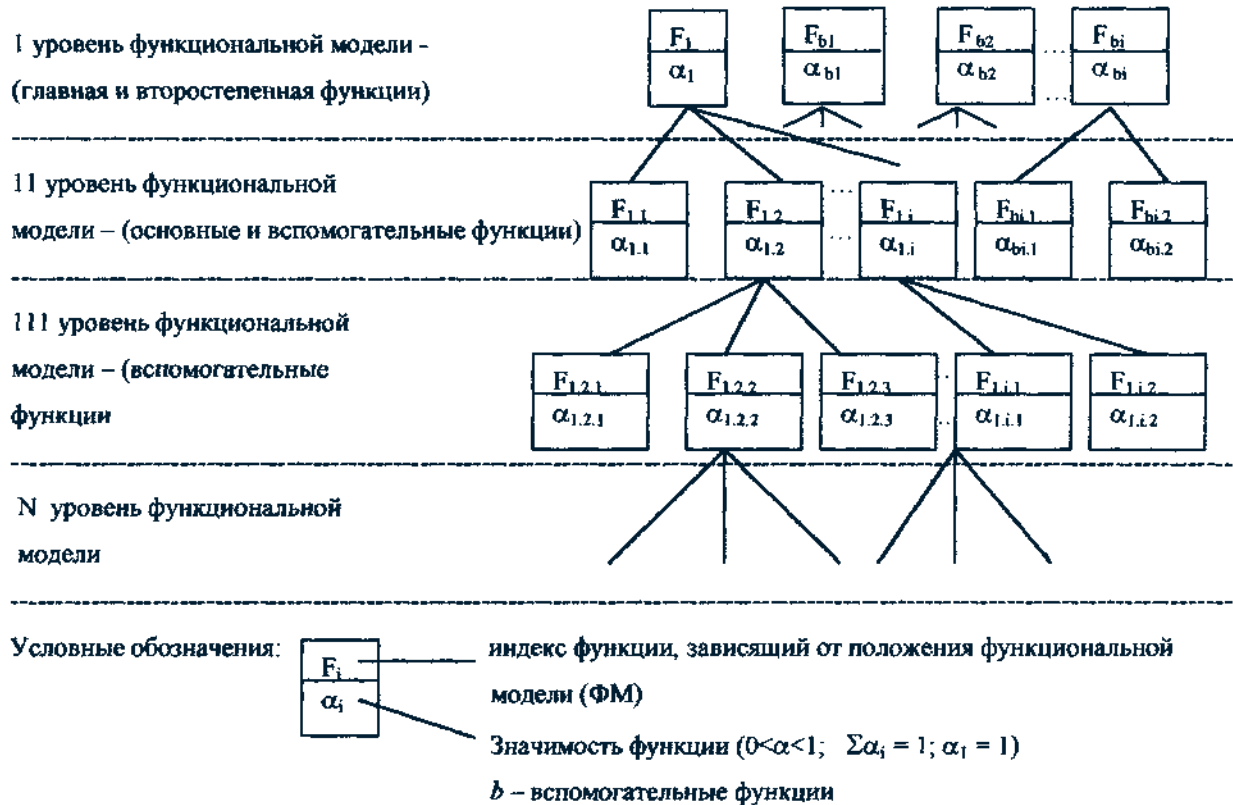


Рис. 5. Функциональная модель объекта

Далее формируется структурная схема формирования **функций** (как полезных действий, состояний или свойств) **объектов проектирования** подготовки машиностроительных производств в виде структурной схемы и т.д.

**В ШЕСТОЙ ГЛАВЕ** описывается **реализация** результатов исследований **разработок и экспериментов** на основе ФСК.

Проводится расчет эффективности внедрения методики проведения ФСА конструкторско-технологических разработок в ПМП.

При автоматизированном выборе технических решений, количество «ручной информации» уменьшается в 4 раза и т.д.

Годовой экономический эффект от внедрения методики проведения ФСА конструкторско-технологических разработок составляет:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_v - E_n k = 157878 - 0,5(35000 + 145000) = 157878 - 90000 = 67878 \text{ руб.}$$

**Модуль по проектированию инструмента UNIGRaphics:**

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2) A, \quad (56)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  - приведенные затраты на разработку одной единицы оснастки (инструмента) вручную и с использованием АРМ-М;

$A$  - количество единиц инструмента, проектируемого в течение года (шт.).

Затраты  $(Z_1 - Z_2)$  определяются по формулам:

$$Z_1 = C_1 + E_n K_1 \quad Z_2 = C_2 + E_n K_2 \quad (57)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  - стоимость разработки одной единицы оснастки вручную автоматизированным способом без внедрения тезауруса;

$K_1$  и  $K_2$  - удельные капитальные вложения на разработку одной единицы оснастки при ручном и машинном проектировании, в руб.

Так как  $K_1 = 0$ , то  $Z_1 = C_1 = 208,9$  руб., то

$$Z_2 = 12,73 + 0,32 \cdot 2,53 = 12,73 + 0,81 = 13,54 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект при проектировании инструмента:

$$\mathcal{E} = (20,89 - 13,54) \cdot 1500 = 11025 \text{ руб.}$$

Расчет годового экономического эффекта от внедрения **технологического модуля** производится по формуле:  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_v - E_n P$  при условии,  $E_n = 0,5$ , а  $\mathcal{E}_v = C_p - C_a$

где  $C_p$  - затраты при ручном проектировании;

$C_a$  - затраты при эксплуатации автоматизированной системы (модуля проектирования).

$$C_p = \frac{V_p \cdot \varphi}{H_B} \cdot C_n, \quad (58)$$

где  $V_p$  - объем обрабатываемой вручную информации (количество символов равно ~ 1161600, один лист - 1452 символа; в год - 800 листов).

Стоимость ручной обработки информации:

$$C_n = \frac{Z_m}{T_{мес}} [(1 - \eta)(1 + \sigma) + R], \quad (59)$$

где  $Z_m$  - среднемесячная зарплата работника ( $Z_m = 175$  руб.,  $T_m = 175$  час);

$\eta, \sigma$  - коэффициенты, учитывающие дополнительную зарплату и отчисления на социальное страхование, составляет величины:  $\eta = 0,19$ ;  $\sigma = 0,14$ ;

$R$  - коэффициент, учитывающий накладные расходы ( $R = 1,67$ ).

Тогда 
$$C_n = \frac{175}{175} [(1 + 0,19)(1 + 0,14) + 1,67] = 3,03.$$

$N_B$  – норма обработки, включая запись символа, определяется статистическим набором данных:

$$N_B = 800 \text{ симв/час};$$

$\varphi$  – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты времени на логические и расчетные операции при подготовке документов  $\varphi = 3$  и т.д.

Далее, автором приводятся следующие расчеты.

Расчетное время на отладку управляющей программы (УП) составит:

$$T_{оп} = K(T_{оп} + T_{ок}), \quad (60)$$

где  $K$  – количество отладок – 3.

$T_{оп}$  – время отладки программы на перевод в нуль, что по опытно-статистическим данным составляет – 0,25 – 0,3 часа;

$T_{ок}$  – время отладки программ на контуре, которое можно определить по формуле:

$$T_{ок} = T_{пз} + T_{оп} + T_{пер}, \quad (61)$$

где  $T_{пз}$  – подготовительно-заключительное время, что в соответствии с отраслевыми нормативами составляет – 0,17 часа;

$T_{пер}$  – время переналадки оборудования при переходе с одного контура на другой, которое определяется по формуле:

$$T_{пер} = 0,05 \cdot n \quad (62)$$

где  $n$  – количество замкнутых контуров.

Время отладки программы определяется по формуле:

$$T_{м.о.} = K_1 K_2 T_{маш.}, \quad (63)$$

$K_1$  – коэффициент приведения к толщине шаблона, который определяется:

$$K_1 = \frac{t_{шабл.}}{t_{дет.}}; \quad (64)$$

$K_2$  – коэффициент приведения режимов обработки деталей к режимам обработки алюминиевого шаблона, который определяется:

$$K_2 = \frac{P_{рез.дет.}}{K_3 P_{рез.шабл.}}, \quad (65)$$

где  $P_{рез.дет.}$  – производительность обработки детали (сложный контур, чистовая обработка) для стали, которая по нормативам составляет – 0,2 мин/мм<sup>2</sup>;

$K_3 = 0,9$  – коэффициент (эмпирический) приведения режимов обработки стали к режимам обработки алюминиевого шаблона;

$P_{рез.шабл.}$  – производительность обработки шаблона из стали и согласно нормативам она равна 0,1 мин/мм<sup>2</sup>, то есть грубая черновая обработка;

$T_{маш.}$  – машинное время обработки детали из стали, определяется по нормам времени на электроискровую (электроэрозионную) обработку.

Исходя из вышеизложенного расчетные формулы:

1. Для алюминия:

$$T_{оп} = 3(0,3 + 0,17 + 0,05 + \frac{2}{t_{дет.}} \cdot \frac{0,2}{0,9 \cdot 0,1} \cdot T_{маш.}) = 3(0,52 + \frac{4,4}{t_{дет.}} \cdot T_{маш.}). \quad (66)$$

2. Для стали:

$$T_{оп} = 1,4 + 0,15 + \frac{13,2}{t_{дет.}} \cdot T_{маш.} = 1,55 + \frac{13,2}{t_{дет.}} \cdot T_{маш.} \text{ и т.д.} \quad (67)$$

**ВО ВНЕШНЕМ ПРИЛОЖЕНИИ** изложены некоторые дополнительные аспекты по выбору критериев оптимальности технологических процессов; основные положения моделирования и обработки информации в САПУР; основные принципы организации **тезауруса** АСУТП, как одного из главных и типичных представителей промышленных АСУ и САПР; сформулированы правила организации тезауруса - типовых формулировок проектно-технологических и управленческих функций ПМП. **Тезаурус** - информационный язык АСУ ТП и САПР, разработан в соответствии с правилами и требованиями международных и государственных стандартов и является полным словарем типовых **формулировок функций**, основанный на устойчивых словосочетаниях, парадигматических соотношениях, синонимах, акронимах и ассоциациях. Основой для его разработки являлись: проектно-технологическая документация подготовки производств: авиационной, приборостроительной, реакторной и оборонной промышленности, а также другая специальная информация, связанная с организацией проектирования конструкторско-технологических разработок в САПР и т.д.

**Во внутреннем приложении** прилагаются акты внедрения результатов диссертации с различных предприятий отрасли машиностроения, а также справка о разработке стандартов и учебно-методических документов. Все **разработки** используются в учебном процессе ряда учебных заведений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные **исследования, разработки и эксперименты** позволили получить следующие **результаты**:

1. Разработана **методология оптимизации** проектно-технологических и управленческих **решений и функций** ПМП для повышения эффективности заимствованных САПУР, на основе ФСИ, включающая возможность и альтернативные решения комплексного повышения эффективности всей подготовки машиностроительных производств в условиях функционирования АСПП.
2. Разработана **методология анализа** проектно-технологических **решений и функций** на основе экономико-математических методов и ФСИ, обеспечивающая взаимосвязку проектных и функциональных решений со стоимостными и системными показателями процессов и систем, отличающаяся



множеством альтернатив и комбинатов технических решений, расширяющая технические и системные возможности САПР ПМП (в том числе - авиационного).

3. Разработаны правила, приемы и методика анализа проектно-технологических функций, организован и реализован информационный **тезаурус** для проектирования технологических процессов МП (в том числе - авиационного), характеризующиеся терминами и составом устойчивых словосочетаний на основе парадигматических отношений, синонимов, акронимов и ассоциаций - **дескрипторов** в соответствии с требованиями государственных и международных стандартов для автоматизированного проектирования технологических процессов и их управления.
4. Выполнено структурирование и математическое моделирование **информационного проектно-технологического обеспечения** систем автоматизированного проектирования изделий (и процессов) ПМП, на основе ФСА для организации и пополнения информационных баз данных САПР по конструкторско-технологическому составу, с целью повышения их эффективности в условиях функционирования АСТПП.
5. Выведен, структурирован, разработан и описан **типовой функциональный носитель информации** (комбинаторный математический модуль САПР) на основе методологии ФСА, для пополнения информационных баз данных САПР ПМП, включающий в своем составе наряду с **типовыми конструктивными элементами** и их математическим описанием **функциональные и стоимостные** показатели изделий подготовки производства.
6. Проведены верификация и системный анализ заимствованных автоматизированных систем подготовки производства по методологии ФСИ, определены **преимущества и недостатки** на основе сравнения с отечественными аналогами, в результате чего выбрана универсальная (унифицированная) **система**, способная выполнять все **функции проектирования** в ПМП с использованием **информационного** тезауруса. Практическая значимость настоящей работы заключается в следующем:
  1. Созданная **методология оптимизации** проектно-технологических и управленческих **решений и функций** позволяет при подготовке к запуску новых изделий значительно снизить **затратоемкость** (в том числе - металлоемкость) подготовительных работ и изделий подготовки производства за счет использования оптимальных комбинатов технических решений в проектных работах в условиях функционирования АС'11111 (и САПР) промышленных предприятий.
  2. Созданная **методология анализа** проектно-технологических решений и **функций** с использованием ФСИ **обеспечивает** взаимоувязку проектных и функциональных показателей со стоимостными и системными показателями процессов и систем, что позволяет повысить эффективность действующих САПР ПМП в 2,3-2,7 раза в условиях функционирования АСТПП за



счет пополнения информационных баз данных **оптимальными** технологическими решениями, отличающимися множеством альтернатив и комбинаций технических решений, что подтверждается экспериментами и опытами на ряде высокотехнологичных производств промышленности страны.

3. Разработанные правила, приемы и методика анализа проектно-технологических функций и **организация информационного тезауруса** по конструкции и технологии изделий МП позволяют создавать универсальные информационные базы САПР изделий, за счет организации функционального массива (и архива) данных в виде **устойчивых** словосочетаний - **дескрипторов**, в соответствии с требованиями государственных и международных стандартов.
4. Выведенные в процессе описания информационных баз данных САПР СТО расчетные формулы и методика расчета экономической эффективности от внедрения САПР, позволяют описать любой проектно-технологический массив данных (базу данных) САПР ПМП, а также рассчитать нормы времени электроискровой (электроэрозионной) обработки материалов (сталей и алюминия) в любой отрасли машиностроения, где таковые системы имеются и есть в наличии соответствующее оборудование.

Результаты диссертации **внедрены при подготовке к запуску в производство новых изделий ряда машиностроительных** предприятий:

1. Внедрение **методики** проведения анализа конструкций средств технологического оснащения и информационного **тезауруса** на оборонном предприятии АО «Завод «Молот»» при запуске в производстве изделий РУ - 9 и РТК - 99, при использовании САПР - КТР, производительность труда конструкторов возросла - в 2,3 раза, технологов - в 2,7 раза. Фактический экономический эффект составил 1567000 рублей. (Активировано)
2. Внедрение информационного тезауруса и переработанного варианта **методики проведения анализа** конструкций средств технологического оснащения для изготовления ответственных элементов **угольного комбайна** в опытном производстве ФГУПНПО "Марс" с использованием САПР, позволило получить фактический экономический эффект в сумме 2112000 рублей (Активировано).
3. Внедрение системы UNIGRaphics, информационного **тезауруса** и методики проведения анализа конструкций средств технологического оснащения при подготовке к запуску в производство грузового самолета ТУ-204-100А, позволило получить экономический эффект в сумме 1895000 рублей. (Активировано).
4. Внедрение в учебный процесс прикладных учебно-методических и научных работ: монографий, учебных пособий, методических указаний и **приложения** к диссертации в Вятско-Полянском механическом техникуме позволило иметь экономию на **закупке** технической литературы 560000 рублей, а общий экономический эффект составил 1966913 рублей (Активировано).

5. По результатам выполнения диссертации, разработаны, внедрены ряд стандартов и других учебно-методических документов, которые используются в учебном процессе на кафедре «Самолетостроение» и ФГУПНПО «Марс» (Справка прилагается).

### **ОСНОВНЫЕ ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

1. Попов П.М. Метод совершенствования системы классификации и кодирования конструкторско-технологической информации в инструментальном производстве.//Статья. Деп. 31.12.86 в БАУ «Судостроение», сер. 4, вып. 3, 1987 (3.04.87), №ДР-2693
2. Попов П.М. Особенности внедрения и эксплуатации системы "Автоштамп -ЕС" на предприятии.//Статья. Деп. 31.12.86 (28.09.87), № ДР - 2694, ЦНИИ "Румб".
3. Попов П.М. Опыт типизации и формирования технологических представителей оснастки при организации информационной базы САПР-СТО.//Статья. Деп. 31.12.86 (от 3.04.87), № ДР-2695, ЦНИИ "Румб".
4. Попов П.М., Петров Е.Н. Основные направления автоматизации процессов в инструментальном производстве.//Статья. Деп. 7.07.87 в БАУ "Судостроение", сер. 5, вып. 9,1987 (11.11.87), № ДР - 2754.
5. Попов П.М. Лобанов С.Д. Метод описания и систематизации конструкторско-технологической информацииУ/Статья. Деп. 7.07.87 в БАУ «Судостроение», сер. 5, вып. 9,1987(11.11.87). №ДР - 2782.
6. Попов П.М., Цыльков Н.К. Метод повышения эффективности САПР "Автоштамп" при организации локальной информационной конструкторско-технологической базы СТО.//Статья. Деп. 10.01.88 в БАУ "Судостроение", сер. 5, вып. 1,1988 (от 19.04.88), № ДР - 2831.
7. Попов П.М., Дергунов В.В., Зайцев В.П. Опыт адаптации и внедрения САПР "Инструмент" на предприятии.//Статья. Деп. 18.02.88 в БАУ "Судостроение", сер. 4, вып. 4,1988 (19.04.88), № ДР-2857.
8. Попов П.Н., Трубина Е.Р. ФСА конструкции концевых фрез при создании локальной ИКТБ по конструкторско-технологическому составу САПР-СТО.//Статья. Деп.15.06.88 в БАУ "Судостроение", сер.5, вып. 8, 1988 (11.08.88), № ДР-2907.
9. Попов П.М., Корнев А.И. Формирование дескрипторного словаря типовых функций локальной информационной конструкторско-технологической базы САПР-СТО.//Деп. 29.06.88 в БАУ «Судостроение», сер. 4, вып. 9, 1988 (27.12.88), №ДР-2989.
10. Попов П.Н., Зубкова Л.С. Опыт использования методов ФСА конструкций оснастки при организации информационной базы САПР-СТО.//Статья. Деп. 4.07.88 в БАУ "Судостроение", вып. 8,1988 (18.08.88), № ДР-2998.
11. Попов П.М. Формирование информационной конструкторско-технологической базы САПРО-СТО.//Статья. Деп. 23.09.88 в БАУ "Судостроение", сер. 4, вып. 11, 1988, №ДР-3031 от 7.03.89.
12. Попов П.М. Математическое моделирование локальной ИКТБ САПР-СТО с использованием методологии ФСА.//Статья. Деп. 23.09.88 в БАУ «Судостроение», сер. 5, вып. 11,1988, №ДР-3032 от 18.10.88.
13. Попов П.М., Петров Е.Н. Особенности кодирования конструкторско-технологической информации в инструментальном производстве.// Статья. Деп. 18.10.89 в сборнике рефератов ДР, ВУМ И, вып. 1,1990, № ДР-3152 от 7.05.90.

14. Попов П.М., Лобанов С.Д. Методология организации и описания локальной информационной конструкторско-технологической базы САПР.//Статья. Деп. 18.10.89 в сборнике реф. ДР, ВИМИ, вып. 1,1990, № ДР - 3176 от 8.05.90.
15. Попов П.М. Организация автоматизированного проектирования инструмента с использованием САПР "Инструмент".//Тез. В сборнике ВНТС "Опыт и практическое применение систем автоматизированного проектирования" (САПР), М., ВДНХ СССР, сент., 1987.
16. Попов П.М. Методологические аспекты использования ФСА в организации конструкторско-технологического состава информационной базы САПР-СТО.//Тез. "Проблемы создания и производства высоконадежных систем и комплексов для промышленных АСУ". Ереван, Армянское республиканское управление НТО, 1988.
17. Попов П.М. Методологические аспекты использования ФСА в инструментальном производстве.//Статья. Деп. В сборнике реф. ДР, ВИМИ, вып. 4,1990, № ДР-3216 от 3.10.90.
18. Попов П.М., Хрюкин Н.В., Масимов А.Г. Опыт использования программы "Трудоёмкость" для определения информационного потенциала деталей.//Статья. Деп. В сборнике реф. ДР, ВИМИ, вып. 4,1990, № ДР-3235 от 3.10.90.
19. Попов Н.М., Масимов А.Г. Метод определения трудоёмкости изготовления деталей сборочных единиц.//Статья. Деп. в сборнике реф. ДР, ВИМИ, вып. 6,1990, № ДР-3241 от 3.01.90.
20. Попов П.М. Оптимизация выбора управляющих функций для организации системы автоматизированного контроля нефтегазотрубопроводов на основе методов классического вариационного исчисления.//Тез., УлГТУ, ОАО "Экспоцентр" "Большая Волга", НМСТ-97, от 10.12.97.
21. Попов П.М. Некоторые аспекты использования методологии ФСА в организации информационных баз САПР технологического оснащения производства самолетов.//Тез., 32 конференция УлГТУ от 28.01.98 (сборник тезисов докладов УлГТУ).
22. Попов П.М., Щеклеин В.С. Организация сквозной компьютерной подготовки студентов специализации «Самолетостроение».//Тез. 32 конференция УлГТУ от 28.01.98 (сборник тезисов докладов УлГТУ).
23. Попов П.М., Дергунов В.В. Метод получения управляющих программ для электроэрозионных станков с системой числового программного управления 2М43.//Статья. УДК658-512.011.56.005:621. Журнал "Авиационная промышленность", вып. 1, 2001.
24. Попов П.М. Правила разработки тезауруса - информационного языка автоматизированных систем. Составление дескрипторного словаря функций авиационного производства.//Методические указания по дисциплине АСПП. УДК621.96/98/075.8/ Ульяновский государственный технический университет, 1998.
25. Попов П.М. Функционально-стоимостный анализ конструкций оснастки для организации информационных баз САПР подготовки авиационного производства.//Методические указания по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине АСПП. УДК621.96/98/075.8/ Ульяновский государственный технический университет, издательский отдел, 1998.
26. Попов П.М., Гаврилов С.Н. Оптимизация технологических функций для организации разработки тезауруса САПР.//Тез. 33 конференция УлГТУ, 19-31 января 1999 (сборник тезисов докладов УлГТУ).

27. Попов П.М, Гаврилов С.Н. Анализ качества компьютерной подготовки лекционного материала на основе функционально-стоимостного анализа.//Тез., 33 конференция УлГТУ, 19-31 января 1999 (сборник тезисов докладов УлГТУ).
28. Попов П.М. Оптимизация технических решений элементов и изделий авиационного производства на основе функционально-стоимостной инженерии для организации информационных баз данных САПР.//МУ для выполнения РГР по дисциплине ОУР и АСПАП., УДК658-512.011.56.005:621 УлГТУ, редакционно-издательский отдел, май, 1999.
29. Попов П.М. Коэффициенты финансовых таблиц и расчетные способы их определения.// У для выполнения контрольных работ по дисциплине «Математика», УДК658-512.011.56.005:621 УлГТУ, редакционно-издательский отдел, июнь, 1999.
30. Попов П.М. Методы решения задач планирования и управления в больших экономических системах.//МУ для выполнения контрольных работ по дисциплине «Математическое моделирование в экономике, УДК658-512.011.56.005:621 УлГТУ, редакционно-издательский отдел, июль, 1999.
31. Попов П.М. Расчетные методы и приемы решения по определению простых и сложных процентов при проведении банковских операций.//МУ для выполнения контрольных работ по дисциплине «Математика», УДК658-512.011.56.005:621 УлГТУ редакционно-издательский отдел, июль, 1999.
32. Попов П.М. Принципы построения систем автоматического управления применительно к управлению летательными аппаратами.//Учебное пособие с грифом УМО, УДК621/96/98.075.621 редакционно-издательский отдел, УлГТУ, октябрь, 1999.
33. Попов П.М. Некоторые правила и приемы определения устойчивости линейных звеньев в отдельных системах автоматического управления летательных аппаратов.//Учебное пособие с грифом УМО, УДК621/96/98.075.621 редакционно-издательский отдел, УлГТУ, октябрь, 1999.
34. Попов П.М. Оптимизация технических решений проектирования и управления на основе экономико-математических методов анализам/Монография под научной редакцией профессора Егорова Ю.Л., УДК658-512.011.56.005:621, ББК 65.050.9.(2)2. П58, УСВ №5 - 89146-100-0 РИО, УлГТУ, ноябрь, 1999.
35. Попов П.М. Психологические аспекты подготовки специалистов высшей технической школы на основе компьютеризации учебного процесса.//МУ к проведения практических занятий по дисциплине «Инженерная психология», УДК 621.96/98(076), ББК 88+32.973я7, П86, УлГТУ, 2000.
36. Попов П.М. Организационная последовательность оптимизации выбора решений на основе функционально-стоимостной инженерии. Прогрессивные технологии, материалы и конструкции: Сборник научных трудов.//Статья. УлГТУ, УДК 621(04), ББК 3я43, П78,1999.
37. Попов П.М., Попов С.П. Объекты проектирования и управления разработками на основе экономико-математических методов анализа.//Тез. УДК 658-512.011.56.005:621, 34 научно-техническая конференция (24 января - 4 февраля 2000г. часть первая).
38. Попов П.М., Гаврилов С.Н. Системный и функциональный анализы показателей интегрального качества проектирования и управления разработками.//Тез., УДК 658-512.011.56.005:621, 34 научно-техническая конференция (24 января - 4 февраля 2000г. часть первая).
39. Попов П.М. Оптимизация управленческих и проектных решений в процессе эволюционного развития автоматизированных систем.//Тез., УДК 658-



- 512.011.56.005:621, 34 научно-техническая конференция (24 января - 4 февраля 2000г. часть первая).
40. Попов П.М., Ляшко Ф.Е. Оптимальное управление в ходе эволюционного развития процессов и система//Учебное пособие с грифом УМО, УДК 621.96/98/075.8/, ББК 32.965.я7, П60.
  41. Попов П.М., Попов С.П. Верификационные методы анализа оптимального управления процессами и системами^/Монография под н/р Варнокова В.В., УДК 658 - 512.011.56.005:621, ББК 32.965.27, вып. 2001.
  42. Попов П.М., Попов С.П. Организация тезауруса по конструкции летательного аппаратов (самолетов)ЛМонография под редакцией профессора Борвинка В.А., УДК 658 - 512.011.56.005:621, ББК 32.965.27, вып. 2001.
  43. Попов П.М., Попов С.П. Оптимизация технического состояния электронной системы управления двигателем.//Тез., УДК 658 - 512.011.56.005:621, 35 н/техн. конф. преподов., 31 января 2001.
  44. Попов П.М. Попов С.П. Организация информационного тезауруса и правил его формирования для оптимизации технических решений САПР.//Тез., УДК 658 - 512.011.56.005:621,35 н/техн. конф. преподов., 31 января 2001.
  45. Попов П.М., Цыльков Н.К. Изменение конструкции штампов на основе проведения функционально-стоимостного анализа разработок.//Рац. предложение, переоформленное в А.С., регистр, номер №2684 от 1.04.96 (А.С. 16031313 СССР, МКШбк/43, опубли. 23.09.89).
  46. Попов П.М. Методика проведения функционально-стоимостного анализа конструкций оснастки и инструмента для организации конструкторско-технологических баз данных САПР-СТО.//Методика (книга для технологов), рег. JVсKE-77631, ГУ МИНСУДПРОМа.
  47. Попов П.М. Правила и приемы автоматизированного проектирования СТО, в том числе штампов и формовок.//Стандарт предприятия, КСУКПСТП рег. №КЕО.204.305.-86 ГПНПО «Марс» МИНСУДПРОМ.
  48. Попов П.М. Порядок кодирования типовых конструктивных элементов инструмента для процесса автоматизированного проектирования/Технологическая инструкция, рег. №КЕ10/НПК 82/87 ГПНПО «Марс» МИНСУДПРОМ.
  49. Попов П.М. Порядок кодирования трафаретных конструкций кондукторов и типовых конструктивно-технологических элементов приспособлений/Технологическая инструкция, рег. №КЕ-Э6935 ГПНПО «Марс» МИНСУДПРОМ.
  50. Попов П.М. Методика описания и систематизации конструкторско-технологической и экономической информации инструментального производства на основе ФСАМ/Методика (технологическая инструкция), рег. №КЕ-77576 ГПНПО «Марс» МИНСУДПРОМ.
  51. Попов П.М. Дескрипторный словарь - перечень типовых формулировок функций инструментального производства/Методика разработки тезауруса, рег. №КЕ-э7960 ГПНПО «Марс» МИНСУДПРОМ.
  52. Попов П.М., Маслов А.А., Погорелое Н.П. Исследование путей и методов использования функционально-стоимостного (ФСА) при совершенствовании систем ТПП с применением вычислительной техники (ВТ).//Научно-техн. отчет НИР, научно-исследовательская работа шифр "КОМ" - госбюджетная, Акт №9/502-277 от 24.12.88, ГУ п/я М-5565 МИНСУДПРОМ.

ПОПОВ ПЕТР МИХАИЛОВИЧ

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКАМИ  
ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Автореферат

Подписано в печать 28.09.01.

Формат 60x84/16. Бумага писчая. Усл.п.л. 2,40. Уч.-изд.л. 2,00.

Тираж 100 экз. Заказ 1792..

Ульяновский государственный технический университет  
432027, г. Ульяновск, Сев. Венец, 32

Типография УлГТУ. 432027, Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32.