

На правах рукописи



ГОВОРКОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ПО
ИНФОРМАЦИОННЫМ МОДЕЛЯМ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2012

Работа выполнена на кафедре «Самолётостроение и эксплуатация авиационной техники» ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Ахатов Рашид Хадиятович**
Кандидат технических наук, доцент НИ ФГБОУ «Иркутский государственный технический университет», доцент кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники.

Официальные оппоненты: **Кольцов Владимир Петрович;**
Доктор технических наук, профессор НИ ФГБОУ «Иркутский государственный технический университет», профессор кафедры оборудования и автоматизации машиностроения.

Лившиц Александр Валерьевич
Кандидат технических наук, доцент ФГБОУ «Иркутский государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой технологии ремонта транспортных средств и материаловедения.

Ведущая организация: **ОАО «Иркутский научно-исследовательский институт авиационных технологий и организации производства»**

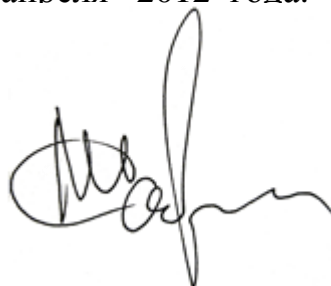
Защита состоится «24» мая 2012 года в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.073.02 при НИ ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет» по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИ ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», с авторефератом – на официальном сайте университета www.istu.edu.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, учёному секретарю Диссертационного Совета Д 212.073.02. Салову В.М.
e-mail: salov@istu.edu

Автореферат разослан « 20» апреля 2012 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета, к.т.н.,
профессор



В.М. Салов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время обеспечение технологичности принято относить к наиболее трудноформализуемым задачам технологической подготовки производства. Для их решения нет достаточно разработанного математического аппарата, строгих формальных методик. Результат решения в значительной мере зависит от опыта, знаний и творческой интуиции формирующих его специалистов.

Отработка изделия на технологичность – сложная задача, при решении которой конструктор должен не только обеспечить высокий технический уровень и эксплуатационные качества создаваемого изделия, но и в полной мере учесть требования производства, то есть обеспечить его производственную технологичность.

На практике процессы обеспечения технологичности конструкции изделия (ТКИ) могут быть решены с использованием систем геометрического моделирования. Применение этих систем неразрывно связано с современными информационными технологиями для интеграции процессов, выполняющихся в ходе всего жизненного цикла продукции и её компонентов. Поэтому очевидно, что обеспечение ТКИ, являясь одной из задач подготовки производства, должно также рассматриваться в контексте применения CALS технологий.

Неизбежно то, что на этапах конструкторско-технологической подготовки производства оценка достигнутых показателей технологичности в большинстве случаев носит лишь характер прогнозирования. Решению данной проблемы посвящены работы Максаковой Е.Н., Кульчева В.М., Прялина М.А., Аверченкова В.И. и др.

Разработка формализованных алгоритмов принятий решений на этапах конструкторско-технологического проектирования (анализ возможности применения высокопроизводительных процессов обработки и типовых технологических процессов (ТП), рациональный выбор вида заготовок, разработка маршрутных и операционных ТП и др.) посвящены работы Б.Е. Челищева, С.П. Митрофанова, Н.М. Капустина, В.Л. Михельсон-Ткача, В.В. Павлова и др.

В целом, несмотря на достаточно большое количество научных работ, рассматривающих различные подходы к формализации и автоматизации решения различных задач обеспечения ТКИ, до настоящего момента не разработано методик, математических моделей и алгоритмов, позволяющих поддерживать автоматизированный процесс обеспечения ТКИ на всех этапах подготовки производства.

Цель работы. Разработка формализованных процедур обеспечения технологичности конструкции изделий машиностроения в условиях применения интегрированных САПР, позволяющих снизить трудоёмкость и сократить длительность технологической подготовки производства и способствующих повышению качества проектных решений.

Объект исследования. Конструкции изделий машиностроения на этапе их проектирования и технологической подготовки производства.

Методы исследования. В качестве общей методологической основы использован системный подход, заключающийся в анализе закономерностей выбора методов изготовления отдельных конструктивных элементов изделия с учетом структуры этого изделия и состава объектов технологической системы. При выполнении работы использовались положения оценки технологичности изделий в машиностроении и самолётостроении, теории множеств, алгебры логики и аналитической геометрии, а также методов статистической оценки эмпирических данных об оценке технологичности конструкции изделий в машиностроении. При разработке указанных моделей и методов использовались средства САД-системы Siemens PLM Software NX 7.5, система управления баз данных MySQL и среда программирования Java.

Научная новизна

1. Создана информационная модель изделия на основе метода представления и анализа деталей по заданным показателям технологичности.
2. Созданы математические модели объектов производственной среды на основе продукционно-фреймовой структуры, применимые в системе анализа оценки технологичности изделия для выбора наиболее оптимального по совокупности условий конструктивного решения.
3. Разработан алгоритм комплексной оценки технологичности с использованием информационной модели.

Практическая ценность

1. Предложена информационная модель изделия и алгоритм анализа технологичности конструкции изделия с учетом заданных показателей технологичности, применимая в системах трехмерного моделирования.
2. Создана программная система, позволяющая посредством графического интерфейса вводить исходные параметры изделия, технологические показатели, редактировать и формировать типовые конструктивные решения и проводить технологический контроль.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Информационная модель изделия с минимальным количеством значимых параметров, необходимых для оценки технологичности изделия.
2. Математическая модель объектов производственной среды, представленные в виде продукционно-фреймовой структуры.
3. Алгоритм комплексной оценки технологичности с использованием информационной модели.

Достоверность: подтверждена воспроизводимостью экспериментальных и производственных испытаний. Обоснованность выводов подтверждается опытом практической реализации результатов исследования в производстве.

Реализация работы. Диссертационная работа выполнена в рамках НИР: № **МС-21/ИТ-09/06** «Оптимизация моделирования конструктивных элементов и типов механообрабатываемых деталей, применяемых в конструкции ЛА, для конструирования самолета МС-21» (20.03.2009 – 20.11.2009 гг.), № **143/10** «Разработка классификатора конструктивных элементов сборочной оснастки для определения норм времени при конструкторском и технологическом проектировании» (11.05.2010 – 31.12.2010 гг.), № **МС-21/7** «Разработка критериев и методики оценки конструкции ЛА самолета МС-21 на технологичность», выполненных для ОАО «Корпорация «Иркут» (01.05.2010 – 31.12.2010 гг.), а также № **334/10** «Разработка и внедрение высокоэффективных технологий проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолета МС-21», тема по дополнительному соглашению №2 «Система проектирования изделий АТ с обеспечением заданных критериев технологичности» (06.10.2010 г. – по настоящее время).

Результаты работы использованы при выполнении НИРС и в учебном процессе кафедры «Самолётостроение и эксплуатация авиационной техники» Иркутского государственного технического университета в виде лекций и лабораторных работ по дисциплинам «Технология производства самолетов», «Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологических процессов». Имеются два акта внедрения: на ИАЗ – филиала ОАО «Корпорация «Иркут» и в ИрГТУ.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XII Международной научной конференции «Решетнёвские чтения» в 2009 г. (СибГАУ, г. Красноярск), на научно-технических конференциях Факультета транспортных систем ИрГТУ в 2008-2010 гг. (ИрГТУ, г. Иркутск), на первой всероссийской научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (13-19 апреля 2011г, ИрГТУ, г. Иркутск), на всероссийском научно-практическом семинаре «Высокоэффективные технологии проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолетов» в 2011г (Иркутский авиационный завод, г. Иркутск).

Публикации. По материалам исследований опубликовано 10 печатных работ, в том числе 5 статей, из них 2 – в издании из перечня журналов ВАК.

Структура и объём. Настоящая работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка и приложений. Основное содержание диссертации насчитывает 193 страниц, содержит 26 таблиц, 67 рисунков, библиографический список из 141 наименования, копии 2 актов внедрения. Общий объём работы 197 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** кратко описывается текущая ситуация, связанная с автоматизированными системами, не позволяющими в полной мере проводить анализ изделий на технологичность на всех этапах жизненного цикла изделия.

Обоснована актуальность темы диссертации, показана научная новизна и практическая ценность работы.

В **первой главе** произведен анализ состояния проблемы и обзор существующих методов обеспечения технологичности и на основании действующих стандартов и работ Амирова Ю.Д., Балабанова А.Н., Ананьева С.Л., Михельсона-Ткача В.Л. Заломновой К.В., и других ученых проанализированы основные понятия технологичности конструкции, её обеспечения и оценки.

Также рассмотрены пути формализации и автоматизации некоторых задач обеспечения технологичности конструкции изделий, в частности, автоматизации количественной оценки ТКИ (работы Кушнарченко С.Г., Кононенко В.Г., Прялина М.А., Кульчева В.М. и др.) и качественной оценки (работы Шкаберина В.А., Аверченкова В.И. и др.).

На основании периодической литературы по САПР, а также информационных ресурсов компаний производителей современных CAD/CAM/CAE – систем проведен анализ данных систем на наличие в них средств, позволяющих решать различные задачи обеспечения ТКИ.

Исходя из цели работы и результатов проведенного анализа современного состояния в области методики анализа и формализации данных при обеспечении ТКИ, были сформулированы следующие задачи:

- 1) разработать математическую модель в виде образа изделия, на основе данных электронной модели изделия и формализованных данных производственной среды, необходимых и достаточных для решения задач анализа изделия на технологичность конструкции;
- 2) определить основные принципы качественной и количественной оценки технологичности изделий машиностроения на основе использования математической модели в виде информационного образа изделия;
- 3) разработать формализованные процедуры отработки изделия на технологичность на этапе изготовления на основе информационного образа изделия;
- 4) произвести анализ эмпирических данных, используемых при традиционной отработке изделия на технологичность, с целью выделения эквивалентных данных из множества формализованных параметров электронной модели;
- 5) разработать методику анализа изделия машиностроения с заданными критериями технологичности, основанную на использовании предлагаемых алгоритмов и математических моделей.

Во **второй главе** решается задача математического представления объектов производственной среды с использованием теории распознавания образов. В **разделе 2.1** определяются основные требования к разрабатываемой модели, а так же выдвигается гипотеза, согласно которой **набора значимых параметров подмножества конструктивно-технологических параметров изделия, достаточно, чтобы сформировать поле конструктивных решений с заданными критериями технологичности изготовления изделия на основе данных производственной среды, при этом состав значимых**

параметров определяется существующим алгоритмом расчета каждого анализируемого значения показателя ТКИ. Произведен выбор основного математического аппарата для решения поставленной задачи, с учетом требований к модели.

В разделе 2.3 для поиска и математического описания минимального состава значимых параметров конструктивных элементов предложена дискретная структурно-реляционная модель изделия, названная информационной моделью (рис. 1). Она отражает необходимые конструктивно-технологические характеристики изделия, используя минимальный объем данных.

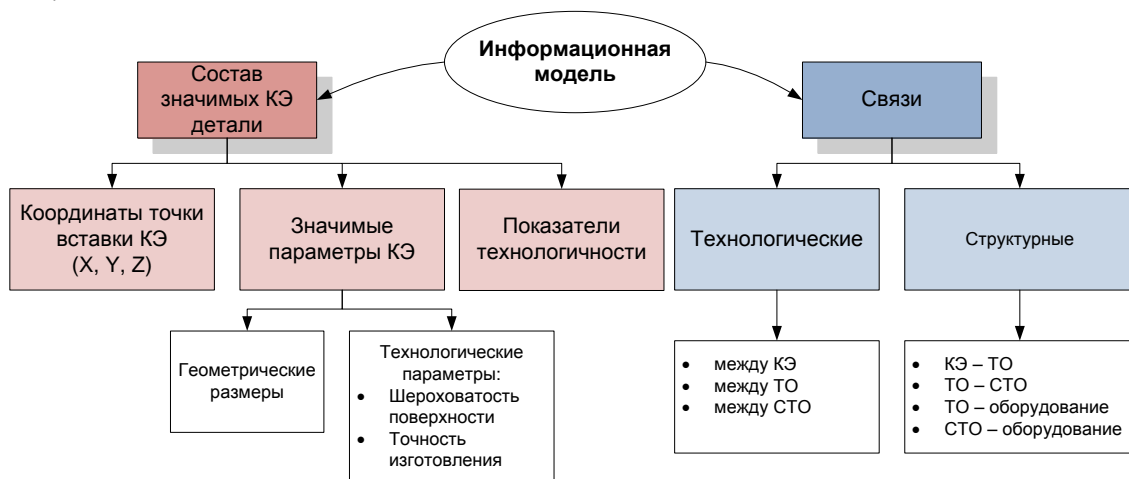


Рис. 1. Структура и состав данных информационной модели

Информационная модель строится на основе данных электронной модели (ЭМ) изделия (рис. 2) с помощью программных средств САД-системы и связанной с ней системой управления данными об интегрированных параметрах производственной среды. Выбор и анализ состава конструктивных элементов осуществляется по формальным критериям, заложенным в информационной модели. Это позволяет автоматизировать процесс подготовки модели, что способствует повышению объективности принятия решений, качества и производительности подготовки модели.

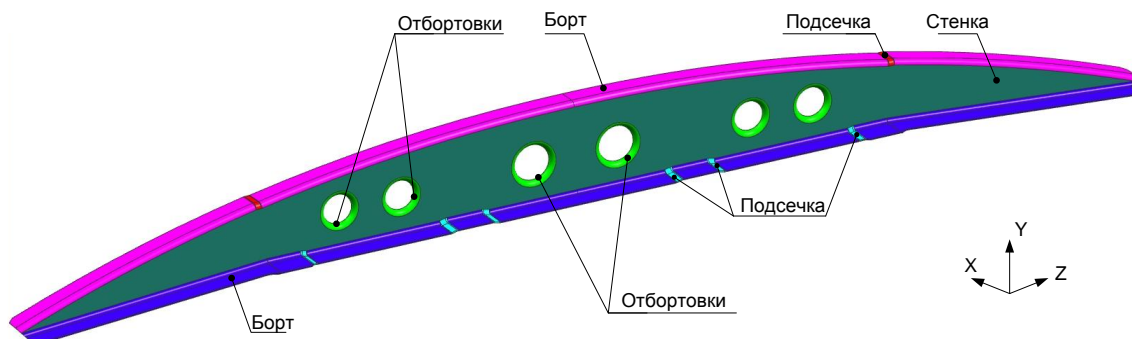


Рис. 2. Электронная модель изделия «диафрагма»

Основу информационной модели составляет множество конструктивных элементов (КЭ) в составе ЭМ изделия. КЭ информационной модели есть

подмножество всего множества КЭ детали, в котором для каждого значимого КЭ определены соответствующие конструктивно-технологические параметры изделия и отношения с другими объектами производственной среды (технологические операции, средства технологического оснащения (СТО), оборудование). Обозначим множеством $F_{ИЗ}$ все КЭ проектируемого изделия и подмножеством $F_{ЗН}$ значимых элементов её информационной модели. Тогда для каждого значимого элемента, как элемента $f_{ЗНi}$ подмножества $F_{ЗН}$, справедливо выражение:

$$f_{ЗНi} \in F_{ЗН} \subset F_{ИЗ},$$

где $f_{ЗНi}$ – значимый элемент проектируемого изделия;

$F_{ЗН}$ – множество значимых элементов в изделии;

$F_{ИЗ}$ – множество всех конструктивных элементов в изделии.

Расположение и количество конструктивных элементов определяется конструкцией изделия, а также зависит от поставленной задачи. В частности, при решении задач, связанных с выбором и анализом состава конструктивных элементов, КЭ располагаются на поверхностях детали, с привязкой к базовым плоскостям изделия, теоретическому контуру (для бортов и поясов), точкам приложения технологических нагрузок и т.д. В этом случае подмножество конструктивных элементов $F_{ЗН}$ входит во множество всего изделия. Координаты конструктивных элементов определяются из ЭМ изделия, построенного в САД-системе. При необходимости, в ходе решения поставленной задачи состав конструктивных элементов может изменяться, при этом новые координаты конструктивных элементов берутся на основе данных ЭМ изделия.

В каждом конструктивном элементе информационной модели заданы параметры, описывающие существенные для решаемой задачи характеристики изделия или его элементов. Эти параметры могут быть представлены в скалярном, логическом или ином виде. Состав заданных параметров зависит от решаемой задачи.

В **разделе 2.4** предложена концепция комплексной автоматизации обеспечения ТКИ в условиях применения интегрированных САПР и интеллектуальных компонентов.

В качестве основы разрабатываемой концепции приводятся методы, основанные на использовании теоретико-множественных моделей объектов технологической системы. Отношения между рассматриваемыми объектами при изготовлении изделия можно представить в виде следующей иерархии классов «технологическая система» (рис. 3).

На схеме показаны все характерные для каждого класса объектов отношения: для ТП – агрегирование (в данном случае включение) технологических операций и деталей; для технологических операций – отношения использования по ссылкам на изготавливаемые детали и используемые СТО.

При построении системы анализа ТКИ, базирующейся на предлагаемой в данной работе методике, характер поведения проектируемых объектов внутри

системы также удобно представить в терминах объектно-ориентированного анализа.

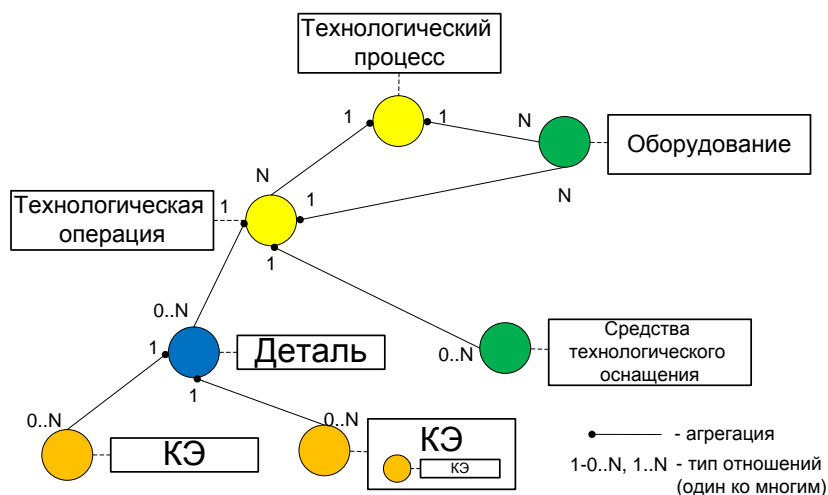


Рис. 3. Иерархия классов «технологическая система»

Также используется совокупность сравнительной качественной и количественной оценок технологичности, предусматривающих сравнение существующих вариантов конструктивных исполнений элементов конструкции изделия и выбора наиболее технологичного в заданных производственных условиях (рис. 4).

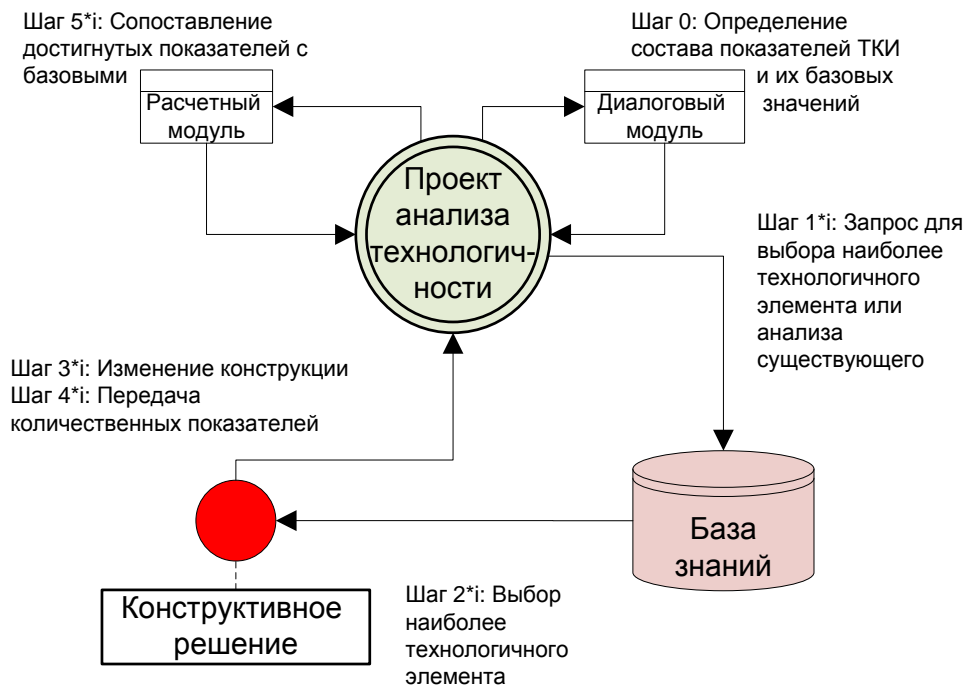


Рис. 4. Схема объектов системы анализа ТКИ

В разделе 2.5 рассматриваются математические алгоритмы предлагаемой методики анализа технологичности конструкций изделий. Главным ядром системы

является модуль формирования вариативного поля конструктивных решений с заданными критериями технологичности (рис. 5).

Массив входных данных представляет собой кортеж типа:

$$M = \{F^{KЭ}, D, D^t\} \neq \emptyset,$$

где $F^{KЭ}$ – функция, выполняемая проектируемым КЭ;

D – множество используемых параметров КЭ, таких, что для каждого j – го КЭ рассматриваемого КР не может быть двух одинаковых параметров:

$$\forall d_j \in D(KЭ_j) \neg d_j: d_j \wedge d_k \neq \emptyset (j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m),$$

где n – количество конструктивных элементов в представляемом КР;

m – количество параметров рассматриваемого конструктивного элемента;

D^t – технологические параметры проектируемого КЭ. Например, качество поверхности, материал, режимы обработки резания и т.п.

Следует отметить особенности заполнения массива входных данных. При решении прямой задачи массив заполняется конструктором в диалоговом режиме, на основе имеющихся баз данных КЭ и другой информации. При решении обратной задачи массив заполняется автоматически на основании конструктивно-технологического образа изделия, содержащийся в среде проектирования изделия и технологического процесса (ТП).



Рис.5. Алгоритм формирования и анализа конструктивных решений

После задания значений данных параметров модуль оценки технологичности формирует запрос к базе знаний на выборку множества решений,

удовлетворяющих входным данным, после чего следует итерационный процесс анализа правил выбора конструктивных решений. В результате система формирует подмножество конструктивных решений следующего вида:

$$KR = \{KR_1, \dots, KR_n\}, KR_i \in K (i = 1, \dots, n), \\ \forall KR_i (F_j(KP_i) \equiv F_j) \wedge (F_{j+1}(KP_i) \equiv F_{j+1}) \wedge (D^t(KP_i) \equiv D^t),$$

где KR_1, \dots, KR_n – элементы выбираемого множества, являющегося подмножеством множества K всех КР, содержащихся в базе знаний системы;

n – количество элементов множества КР, удовлетворяющим входным данным.

После окончания цикла формирования альтернативного множества КР следует определение для каждого КР значений показателей его технологичности. При этом в случае выбора конструктором качественной оценки технологичности происходит определение суммарного (интегрального) веса каждого КР по результатам экспертного ранжирования КР по неравнозначным критериям оценки технологичности:

$$\forall KR_i R(KP) = \sum_{j=1}^h r_{ij} \cdot b_j, (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, h),$$

где b_j – вес, определяющий важность j – го критерия оценки ($0 < b_j < 1; j = 1, \dots, h$);

r_{ij} – вес i – го КР по j – му критерию оценки.

При использовании механизма количественной оценки технологичности используется формула, аналогичная предыдущей, в которой r_{ij} имеет несколько другой смысл:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{k_j}{k_j^{\text{баз}}}, & \text{если } k_j \text{ имеет размерность} \\ k_j, & \text{если } k_j \text{ безразмерно} \end{cases}$$

где k_j – значение j – го показателя технологичности КЭ;

$k_j^{\text{баз}}$ – базовое значение j – го показателя технологичности по всему изделию.

Значения k_j могут быть на данном этапе проектирования рассчитаны укрупненно, при использовании математических моделей, построенных на основании экспертных знаний в данной предметной области.

После выполнения расчетов значений показателей для каждого КР из множества KR происходит упорядочение данного множества по убыванию понятия «наиболее технологичное КР» (K_T).

Для случая качественной оценки:

$$\exists KR_i \in KR: R(KR_i) = \max_{i=1} R(KR_i) \rightarrow KR_i = K_T,$$

т.е. КР с максимальным значением интегрального веса является наиболее технологичным.

Для случая количественной оценки:

$$\exists KR_i \in KR: R(KR_i) = \min_{i=1} R(KR_i) \rightarrow KR_i = K_T.$$

Остальные элементы множества упорядочиваются по условию:

$$\forall KR_{T_i}: R(KR_{T_i}) > R(KR_{T_{i+1}}), (i = 1, \dots, n).$$

Для удобства оценки полученных результатов веса КР можно пропорционально приводить к весу наиболее технологичного. Тогда вес наиболее технологичного КР будет равняться 1, а веса остальных решений в интервале $(0;1)$ – для случая качественной оценки и $(1; \infty)$ – для случая количественной оценки.

1. Таким образом, КР в базе знаний можно представить следующим кортежем:

$$K = \{K_1, \dots, K_n\}.$$

При этом,

$$\forall K_i \in X_k,$$

где X_k – предметная область КР

$$K_i = \{ID^K, F^{KЭ}(K_i), KЭ(K_i), C(K_i), R(K_i)\}.$$

Конструктивные элементы:

$$KЭ = \{ID^{KЭ}, D, O\}.$$

где $ID^{KЭ}$ – идентифицирующий номер хранения в базе знаний КЭ;

O – технологические методы изготовления КЭ:

$$O = \{ID^O, D^t, C\}.$$

где ID^O – идентифицирующий номер хранения в базе знаний технологических методов изготовления КЭ;

C – правила применения метода изготовления:

$$C = \{C_1, \dots, C_n\} \neq \emptyset,$$

при этом,

$$\forall C_i \in C: C_i = \{\text{если, то, иначе}\}.$$

Итак, конструктивно-технологическим образом изделия являются непосредственно типовые конструктивные решения:

$$S = \bigcup_{i=1}^n K_i,$$

где K_i – типовое конструктивное решение.

Такой подход удобен для решения задачи обнаружения нетехнологичного сочетания конструктивных элементов конструкции, поскольку в этом случае конструктор получает доступ к анализируемому изделию путем выбора соответствующего узла дерева.

2. Массив выходных данных представляет собой кортеж типа:

$$M_1 = \{F^{KЭ}(K_T), D(K_T), D^t(K_T)\}.$$

3. После упорядочения выбранного множества информация об элементах данного множества и результатов их оценки выводится в диалоговое окно конструктора. Конструктор выбирает конкретное решение, после чего происходит передача данных в среду проектирования изделия и ТП:

- рассчитанные значения количественных показателей заносятся в промежуточный файл;
- осуществляется возможное изменение элементов согласно КР в твердотельной модели изделия (обновляется «образ изделия»).

4. В блоке «анализатор формул и правил выбора КР» заложены правила выбора, а также ранжирования КР по рангу важности. При ранжировании каждой альтернативе объекта ставится в соответствии число натурального ряда.

При этом ранг 1 получает наиболее предпочтительная альтернатива, а ранг N – наименее предпочтительная, т.е. альтернативные рекомендации должны упорядочиваться по возрастанию рангов. Решение такой задачи можно осуществить в терминах теории нечетких множеств.

В **разделе 2.6** обоснована целесообразность использования экспертных компонентов продукционного типа для автоматизации решения задач обеспечения ТКИ. С использованием системного и объектно-ориентированного подходов описана концепция обеспечения технологичности конструктивных элементов изделий в условиях применения CAD/CAM/CAE – систем и на её основе разработана концептуальная структурная схема комплексной автоматизированной системы обеспечения ТКИ.

В **третьей главе** рассматриваются вопросы, связанные с разработкой информационной модели изделия и алгоритмов основных процедур процесса анализа ТКИ. В **разделе 3.1** произведено обоснование выбора изделия как объекта отработки методики. В **разделе 3.2** приводится методика разработки информационной модели изделия, а также анализ структуры изделия. В **разделе 3.3** описаны вопросы построения и анализа исходной информационной модели на основе трехмерной модели. В **разделе 3.4** предложены алгоритмы выбора состава объектов производственной среды для производства изделия с учетом заданных показателей технологичности и имеющейся технологической базы производства. В **разделе 3.5** приводятся принципы формирования и анализ конструктивных решений проектирования изделия. Формирование входных данных для оценки технологичности изделий осуществлялось на основе полученных от производственных подразделений списков формализованных критериев оценки технологичности для листовых, профильных и монолитных изделий.

Алгоритм качественной оценки изделия можно условно разбить на 2 этапа:

- анализ геометрических характеристик конструктивных элементов, входящих в структуру изделия;
- анализ возможностей имеющего производственного базиса предприятия для изготовления отдельных КЭ и изделия в целом.

В основе формализации процедур оценки ТКИ при проектировании изделий машиностроения целесообразно опираться на следующие принципы:

- конструктивные компоненты деталей и сборочных единиц классифицируются и для каждого конструктивного элемента классификатора формируются параметризованные электронные макеты;
- каждый конструктивный элемент анализируется на предмет выявления всех объектов технологической системы, оказывающих влияние на показатели ТКИ (технологические процессы, средства технологического оснащения, оборудование (О), инструмент и др.);
- для каждого конструктивного элемента выявляется основной критерий технологичности для решения задачи оптимизации выбора конструктивных параметров проектируемого изделия. Все параметры изделия ранжируются по степени влияния на критерий ТКИ принятый в качестве целевого;

– формализация процедур выявления степени соответствия рекомендуемых значений параметров проектируемой конструкции фактически производится на основе автоматического считывания действительных значений параметров конструкции из разрабатываемого КЭМ изделия. Знак и величина расхождения фактических и рекомендуемых значений параметров определяет численное значение ТКИ. Полученные оценочные значения для всех параметров конструкции анализируются с учетом значимости каждого параметра.

На первом этапе качественной оценки изделия первым шагом является выбор имеющихся рекомендаций в базе знаний по ключевому параметру, а именно по типу анализируемой детали. Далее происходит предварительный анализ выбранного типа заготовки для изготовления изделия в целом. Третьим шагом в алгоритме является пошаговое сравнение геометрических параметров конструктивных элементов, входящих в состав детали (рис. 6).

Имеющиеся дополнительные технологические параметры в информационной модели изделия необходимы для следующего этапа качественной оценки, а также при расчете комплексного показателя технологичности (количественная оценка).

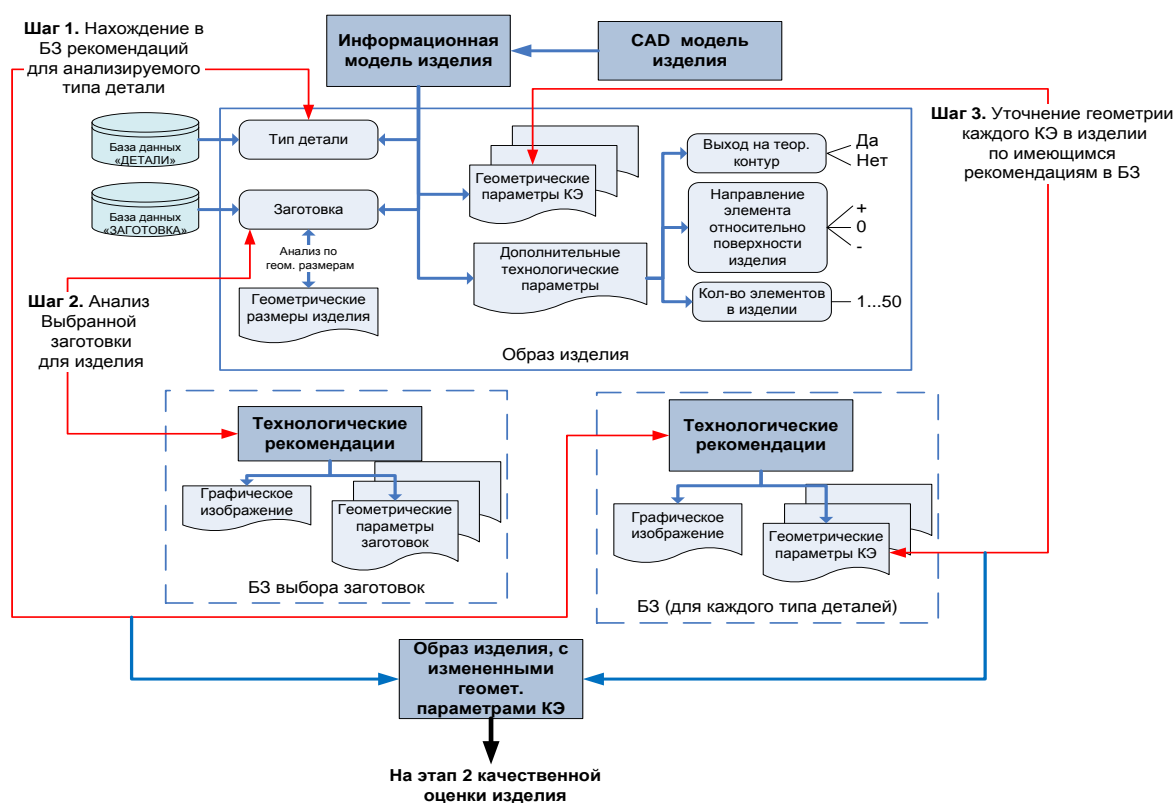


Рис. 6. Алгоритм качественной оценки изделия

Второй этап качественной оценки (формирование конструктивных решений изготовления) изделия представлен в виде алгоритма на рис. 7.

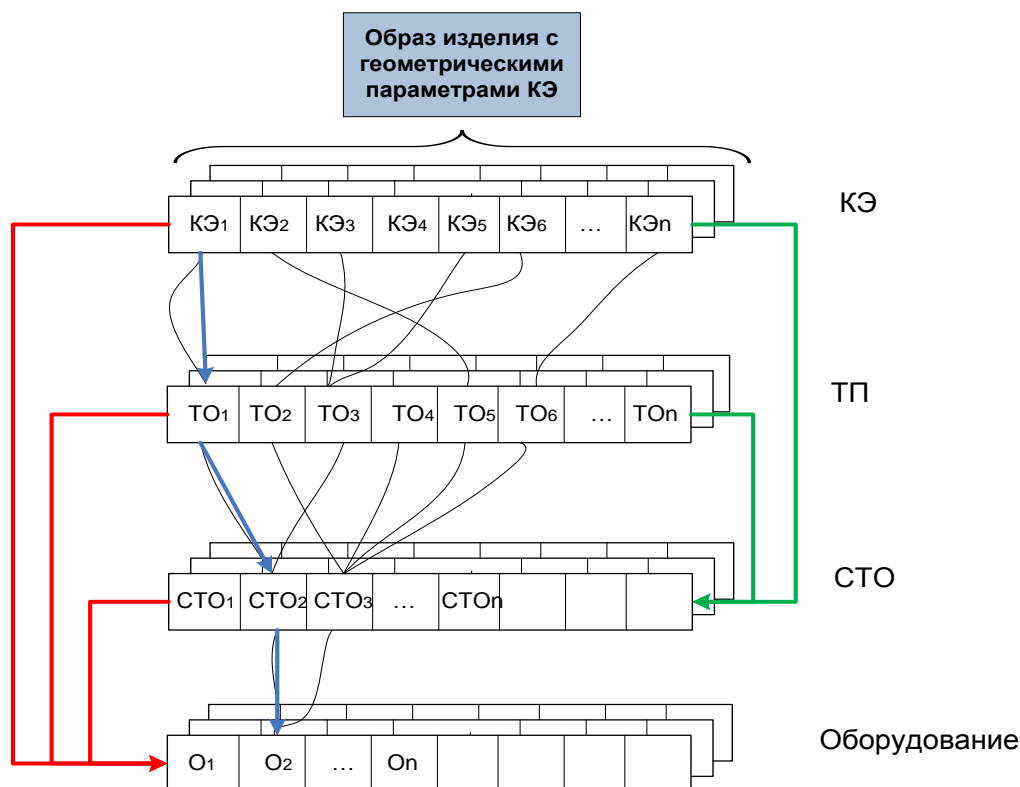


Рис. 7. Схема формирования конструктивного решения изготовления изделия

Последовательность действий следующая:

1) для каждого КЭ в изделии определяется из БЗ технологическая операция ($ТО_i$) его изготовления. Первоначально определяются все возможные технологические операции, а потом возможно уменьшения вариантов до одного на основе ранжирования КР с учетом заложенных в базу знаний весовых характеристик;

2) на основе двух факторов: КЭ и ТО в БЗ типовых конструктивных решений определяются взаимно соответствующие средства технологического оснащения, имеющиеся на производстве и необходимые для реализации технологической операции изготовления КЭ;

3) на основе трех составляющих: КЭ, ТО и СТО в БЗ типовых конструктивных решений определяется имеющееся на предприятии технологическое оборудование O_j для изготовления данного КЭ.

Для каждого найденного элемента конструктивного решения фиксируется (запоминаются в рабочей памяти) конкретные значения показателей технологичности на основе правил, заложенных при формировании типовых конструктивных решений (для дальнейшей количественной оценки).

В **четвертой** главе освещаются вопросы апробации теоретических положений, приведенных в 3 главе. А именно проектирование функциональности программной системы, реализующий процедуры выполнения анализа ТКИ. В **разделе 4.3** основные этапы формирования технологической модели изделия. В **разделе 4.4** приводятся программные алгоритмы работы каждого модуля системы (рис. 8). Разработанная система

реализована в качестве приложения к интегрированной CAD системе трехмерного моделирования UGS NX. В качестве лингвистического обеспечения была использована среда программирования Java. База данных и знаний реализованы в СУБД реляционного типа MySQL.

Таким образом, применение системы обеспечивает адаптацию метода к заданному производству, аккумулируя знаний о технологическом базисе производства. Тем самым обеспечивается адаптивность метода в целом, учитываются субъективные и объективные особенности производства. На этапе формирования образа изделия производится декомпозиция трехмерной модели детали на общие КЭ и на этапе формирования конструктивных решений отбор по их параметрам КЭ производства (КЭП) из технологического базиса производства (база знаний системы). Метод распознавания работает с конструкторскими моделями, построенными твердотельными примитивами, чем обеспечивается инвариантность методики анализа ТКИ к способу построения модели. Результатом этапа конструктивных решений является выбор нескольких вариантов изготовления детали. На этапе ТКИ отбирается технологичный вариант изготовления. Технологичным является тот вариант, в котором максимум КЭ покрыт КЭП адресуемым к минимуму ТП. Таким образом, обеспечивается максимальная степень технологической преемственности детали.

Полученная технологическая модель детали может быть использована для проектирования ТП детали непосредственно или после преобразования модели. Таким образом, решается задача преобразования модели детали этапа конструкторской подготовки производства в модель этапа технологической подготовки производства.

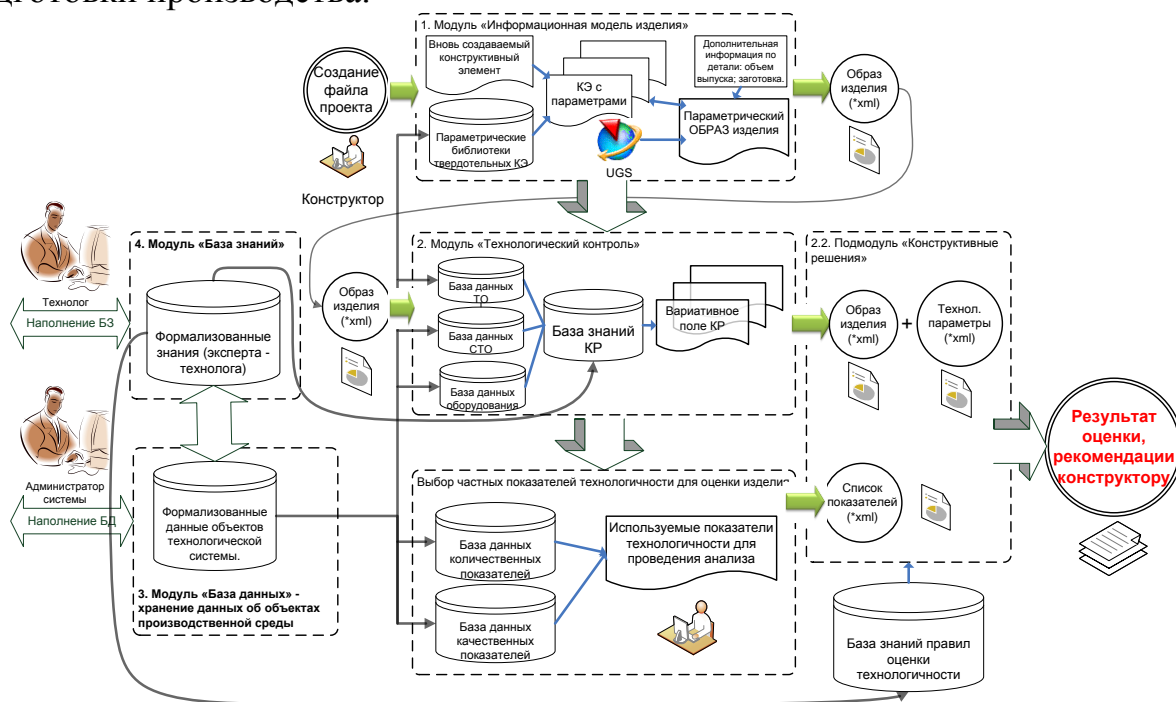


Рис.8. Логическая структура системы анализа ТКИ

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Основные **научные результаты** сводятся к следующему.

1. Разработана математическая модель в виде образа изделия, позволяющая решать задачи оценки технологичности конструкций изделий с использованием численных методов на основе минимального состава параметров изделия. Она содержит конечные множества значимых КЭ изделия, логические связи между ними и параметры, заданные в КЭ.
2. Разработана методика анализа качественной и количественной оценки изделия машиностроения с использованием предложенной информационной модели изделия. При этом используются формальные критерии на основе продукционно-фреймовой модели представления знаний, значений частных показателей технологичности.
3. Предложена методика построения разработанной модели на основе электронного макета изделия в условиях интегрированной среды управления данными об изделии.
4. Предложены процедуры автоматизированной оценки ТКИ на этапе конструкторско-технологической подготовки производства на основе данных электронной модели изделия.
5. Создан математический аппарат и система анализа ТКИ с реализованными алгоритмами оценки ТКИ на этапе конструкторской подготовки производства.

Основные **практические выводы** по работе.

1. Снижено влияние субъективного фактора при принятии решений в ходе технологической подготовки производства изделия, благодаря использованию выявленных формальных критериев оценки технологичности изделия.
2. Разработана информационная модель изделия, которая содержит минимальный необходимый объем данных, в отличие от ЭМ изделия, вследствие чего требует меньшего объема аппаратных ресурсов ЭВМ.
3. Показана возможность использования предложенной информационной модели изделия, разработанных методов её построения, анализа и полученных с их помощью данные применимы для решения ряда задач конструкторско-технологической подготовки производства:
 - выбора конструктивной структуры изделия;
 - выбора состава объектов технологической системы (ТО, СТО, оборудования);
 - комплексной оценки изделия на основе заданных критериев технологичности.
4. Создана программная система анализа ТКИ, позволяющая посредством диалогового режима формировать исходные данные для анализа изделий, а затем формировать вариативное поле конструктивных решений и тем самым система позволяет повышать качество проектных и технологических решений за счет использования базы знаний системы, в которой сохранены знания экспертов-технологов в данной области.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Говорков А.С., Ахатов Р.Х.** Анализ технологичности изделия авиационной техники на основе информационного образа изделия / А.С. Говорков, Р.Х. Ахатов // Научный журнал «Известия Самарского научного центра РАН» Т13(44). 2011. – С.285-292.
2. **Говорков А.С.** Управление параметрами объектов производственной среды при разработке технологического процесса сборки изделия / А.С. Говорков // Электронный журнал «Труды МАИ», 2011. №48.

Публикации в других изданиях:

3. **Ахатов Р.Х., Говорков А.С.** Моделирование производственной среды / Р.Х. Ахатов, А.С. Говорков // Проблемы земной цивилизации. Поиск решения проблем выживания, безопасности и развития Земной цивилизации в условиях всеобщей глобализации и интеграции: межвуз. сб. науч. тр. / под общ. ред. В.А. Анохина, Н.М. Пожитного. – Иркутск: ИрГТУ, 2008. – Вып. 21. – С. 174-179.
4. **Говорков А.С., Ахатов Р.Х., Божеева Т.В.** Построение информационного образа изделий на этапе моделирования изделий с использованием модуля UDF системы Unigraphics/ А.С. Говорков, Р.Х. Ахатов, Т.В. Божеева // Проблемы земной цивилизации. Поиск решения проблем выживания, безопасности и развития Земной цивилизации в условиях всеобщей глобализации и интеграции: межвуз. сб. науч. тр. / под общ. ред. В.А. Анохина, Н.М. Пожитного. – Иркутск: ИрГТУ, 2009. – Вып. 23. – С. 217-221.
5. **Говорков А.С., Ахатов Р.Х.** Представление данных об объектах производственной среды при разработке сборочных процессов / А.С. Говорков, Р.Х. Ахатов // Решетнёвские чтения: материалы XII Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнёва (Красноярск, 10-12 ноября 2008 г.) / под общ. ред. И.В. Ковалёва. – Красноярск: СибГАУ, 2008. – С. 264-265.
6. **Говорков А.С., Ахатов Р.Х.** Исследование информационного образа изделия при технологической подготовки производства / А.С. Говорков, Р.Х. Ахатов // Решетнёвские чтения: материалы XIII междунар. науч. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (Красноярск, 10-12 ноября 2009 г.) : в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. И.В. Ковалева. – Красноярск: СибГАУ, 2009. – С. 400-401.
7. **Говорков А.С.** Образ изделия на основе САД модели при разработке технологического процесса сборки / А.С. Говорков // Седьмая Всероссийская научно-практическая конференция «Применение ИПИ-технологий в производстве»: тр. конф. (Москва, 12-13 ноября 2009 г.). – М.: МАТИ, 2009. – С. 64-65.

8. **Говорков А.С.** Параметры объектов производственной системы при проектировании технологического процесса сборки / А.С. Говорков // Наука. Промышленность. Оборона: тр. XI Всеросс. науч.-техн. конф. (Новосибирск, 21-23 апреля 2010 г.). –Новосибирск: НГТУ, 2010. – С. 123-127.
9. **Ахатов Р.Х., Говорков А.С.** Методика проектирования изделия АТ с обеспечением заданных критериев технологичности / Р.Х. Ахатов, // Высокоэффективные технологии проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолетов: материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара (Иркутск, 9-11 ноября 2011г.) / Под. общ. ред. А.Е. Пашкова. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. 150 с. – С. 10 – 16.
10. **Govorkov A.S.** Technique of designing of the product of aviation technics with maintenance of the set criteria of adaptability to manufacture / A.S. Govorkov // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, Volume 5, Part 3. – Bulgaria, 2011. – Pp. 156 – 161.

