

Тесленко Елена Витальевна

**ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В ПРОЦЕССЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Специальность 05.13.01. - Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и промышленности) по техническим наукам

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2013 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент

Андреев Вячеслав Викторович

Официальные

Хранилов Валерий Павлович

оппоненты:

доктор технических наук, доцент,

кафедра «Компьютерные технологии в проектировании и производстве», НГТУ им. Р.Е. Алексеева, профессор кафедры;

Банкрутенко Владимир Викторович кандидат технических наук, доцент,

отдел информационных технологий ОАО «ОКБМ Африкантов», начальник отдела

Ведущая организация:

ОАО Производственно-конструкторское

объединение «Теплообменник», г. Н. Новгород

Защита диссертации состоится «18» апреля 2013 г. в 13 часов в ауд.1258 на заседании диссертационного совета Д 212.165.05 в Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева по адресу: 603600, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

Автореферат разослан «18» марта 2013 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Суркова А.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из важнейших задач при создании изделий в современном производстве является обеспечение информационной интеграции всех этапов жизненного цикла изделия (ЖЦИ), а также обеспечение автоматизированной поддержки решений на отдельных его этапах. Это стало возможным при интеграции промышленных автоматизированных систем в единую многофункциональную систему посредством современных информационных технологий, CALS-технологий. В то же время на стадии рабочего проектирования изделий остается пока не решенной проблема активного информационного взаимодействия систем «конструктор», «технолог», «метролог», технологического и метрологического сопровождения процесса проектирования.

Назначая параметры, конструктор должен учитывать существующие связи с технологией и контролем детали. Остро стоят вопросы технологичности, а также контролепригодности для обеспечения качества деталей. В разработке конструкторской документации технолог принимает участие через процедуры технологического контроля, метролог – метрологической экспертизы. Каждый из участников решает свою задачу при проектировании, изготовлении и контроле детали. Процессы согласования происходят последовательно, растянуты во времени и содержат риски нерациональных затрат времени и средств на малоэффективные решения.

Ответственным и трудоемким этапом проектирования является разработка рабочих чертежей деталей, так как здесь в большой степени формируются показатели надежности изделия и технология его изготовления. Наиболее важными процедурами на этой стадии являются назначение конструктивно-технологических параметров детали.

Системный анализ большого числа параметров представляет собой сложную многопараметрическую и многовариантную задачу, которая в рабочем проектировании сохранила субъективный характер. Обеспечение качества изделий машиностроения на этапе рабочего проектирования в значительной степени определяется квалификацией разработчика и наличием документированных процедур проектирования.

В современном машиностроении отсутствует системное назначение конструктивно-технологических параметров деталей на этапе рабочего проектирования. Современные CAD-системы сохраняют это системное противоречие. Конструктор создает конструктивно-технологические параметры в CAD системе. Технолог их использует как исходный массив данных для технологического проектирования. Данные, создаваемые в системе CAD, не передаются в систему САПР ТП. Технологическое проектирование остается двухуровневым и сохраняет дискуссионный характер.

В связи с этим, данная работа, направленная на создание информационной модели управления конструкторско-технологическим взаимодействием в процессе проектирования изделий машиностроения является актуальной и требующей решения.

Цель работы состоит в повышении эффективности информационного взаимодействия, функционирования систем «конструктор», «технолог», «метролог» за счет системного автоматизированного назначения конструктивно-технологических параметров детали на стадии рабочего проектирования изделий машиностроения.

Объект исследования – процесс назначения конструктивно-технологических параметров деталей машиностроения.

Предметная область – методы и процедуры принятия решений по назначению конструктивно-технологических параметров деталей.

Задачи исследования:

1. Провести системный анализ методов и процедур назначения конструктивно-технологических параметров деталей на стадии рабочего проектирования изделий машиностроения.
2. Создать информационную модель управления конструкторско-технологическим взаимодействием в процессе проектирования детали как объекта назначения конструктивно-технологических параметров с учетом всех действующих факторов и их взаимосвязей.
3. Разработать методы и процедуры принятия решений по назначению конструктивно-технологических параметров деталей.
4. Создать интеллектуальную информационную систему, обеспечивающую технологическую и метрологическую поддержку конструктора на стадии рабочего проектирования в автоматизированных системах.
5. Выполнить исследование и проверку работы системы при проектировании деталей типа тела вращения. Оценить сокращение длительности конструкторско-технологической подготовки производства и повышение качества конструкторской документации.

Методы и средства исследования. Теоретические исследования выполнены с использованием научных основ конструирования узлов и деталей машин, технологии машиностроения и метрологии. Используются принципы системного подхода; методы теории множеств, регрессионного анализа, теории принятия решений; теории искусственных нейронных сетей, а также методы оптимизации и математического моделирования.

Экспериментальные исследования проводились в реальных производственных условиях; при разработке программного обеспечения использовалась объектно-ориентированная технология проектирования.

Научная новизна работы:

1. Предложена информационная модель управления конструкторско-технологическим взаимодействием в процессе проектирования деталей машиностроения, отличающаяся формализацией связей, обеспечивающая новый алгоритм информационного взаимодействия систем «конструктор», «технолог», «метролог». Модель позволяет описывать функционирование систем автоматизированного проектирования в процессе формирования конструктивно-технологических параметров при проектировании детали.

2. Разработаны методы и процедуры принятия решений по назначению конструктивно-технологических параметров деталей машиностроения с помощью базы технологических и метрологических знаний, аппарата нейронных сетей, что позволяет осуществлять поиск параметров с учетом влияющих факторов.
3. Создан алгоритм реализации информационной модели управления массивом параметров при проектировании деталей машиностроения, который позволяет формализовать процедуры их назначения с целью использования в автоматизированных системах проектирования и отличается от известных использованием для отображения внутренних связей между параметрами математического аппарата искусственных нейронных сетей или регрессионных зависимостей.

Достоверность. Определяется корректным применением математического аппарата при создании информационной модели управления и разработке предложенных методов и процедур формирования массива параметров детали. Результаты теоретических исследований подтверждаются многократным применением при проектировании деталей разной сложности на машиностроительных предприятиях. Обеспечивается внедрением положений и результатов диссертационного исследования.

Практическая значимость работы заключается в создании математических и информационных моделей для решения задач формализации назначения конструктивно-технологических параметров деталей в CAD-системе и на их основе – программного комплекса формирования массива параметров.

Получено свидетельство о государственной регистрации программы «Программный комплекс синтеза массива конструктивно-технологических признаков поверхностей деталей машиностроения» № 2011618302.

Результаты диссертационной работы в виде программного продукта и методики его использования внедрены на ряде научно-производственных и промышленных предприятий: группа компаний «NS Labs – Нижегородская сетевая лаборатория», ООО «Современные технологии и оборудование в экологии и медицине» (ООО «СЭМ»).

Реализация результатов работы. Разработанный программный комплекс используется в учебном процессе повышения квалификации специалистов в Нижегородском филиале Федерального государственного автономного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Академии стандартизации, метрологии и сертификации (учебная)».

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на VI Международной научно-технической конференции «Проблемы качества машин и их конкурентоспособности» (г. Брянск, 2008 г.), на XIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании» НИТ-2009, в Рязанском государственном

радиотехническом университете (г. Рязань, 2009 г.), на Международных научно-технических конференциях «Информационные системы и технологии (ИСТ-2010, 2011, 2012)» (Н.Новгород, 2010, 2011, 2012 г.г.), «Будущее технической науки» (Н.Новгород, 2010, 2011 г.г.), на IX Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '12 (г. Москва, 2012 г.), на X Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» (г. Москва, 2012 г.)

На защиту выносятся следующие научные положения, разработанные автором:

1. Информационная модель управления конструкторско-технологическим взаимодействием в процессе проектирования деталей машиностроения.
2. Методика формирования процедур принятия решений по назначению конструктивно-технологических параметров деталей машиностроения на основе базы технологических и метрологических знаний, аппарата нейронных сетей, регрессионных зависимостей.
3. Алгоритм реализации модели информационной интеллектуальной системы управления массивом параметров в процессе автоматизированного проектирования деталей машиностроения.
4. Методика прогнозирования натягов в соединении типа вал-втулка с помощью нейросетевых алгоритмов на основании множества факторов, влияющих на его работу.

Публикации. По результатам исследований, представленных в диссертационной работе, опубликовано 17 научных работ, в том числе четыре в изданиях, рекомендованных ВАК, 12 публикаций в сборниках трудов и материалов научно-технических конференций, в том числе Всероссийских и Международных. Получено свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, приложений. Общий объем работы составляет 169 с., включая 145 с. основного текста, иллюстрирована 42 рисунками, содержит 20 таблиц, 2 приложения. Библиографический список содержит 149 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы. Сформированы цель и основные задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено информационное взаимодействие систем «конструктор», «технолог», «метролог» при конструкторско-технологической подготовке производства изделий машиностроения, вопросы формализации процедур принятия решений на ранних стадиях конструкторско-технологического проектирования (работы В.И. Аверченкова, Б.М. Базрова,

Г.К. Горанского, Н.М. Капустина, А.И. Кондакова, С. П. Митрофанова, В.Е. Лелюхина, Э.В. Рыжова, В.Г. Старостина, Ю.М. Соломенцева, Н.М. Султан-Заде, А.Г. Суслова, Б.Е. Челищева, В.Д. Цветкова и др.).

В работе выполнен обзор и анализ существующих методов и процедур назначения конструктивно-технологических параметров деталей машиностроения (работы П.Ф. Дунаева, Е.Ф. Бежелуковой, И. С. Гречищева, Н.Н. Маркова, В.Д. Мягкова, О.П. Леликова, П.И. Орлова, М.А. Палея, Д.Н. Решетова, А.Б. Романова, А.И. Якушева и др.)

Вопросами технологичности конструкции изделий посвящены работы Б.С. Балакшина, Ю.Д. Амирова, И.М. Колесова, А.А. Маталина, современные работы авторов О.Н. Калачева, В.А. Шкаберина, Ю.В. Балашевой и др.

Рассмотрены существующая схема взаимодействия участников конструкторско-технологической подготовки (рис.1), а также возможности систем автоматизированного проектирования (САД-систем) и технологического проектирования (САПР ТП) по технологическому сопровождению процесса проектирования деталей.

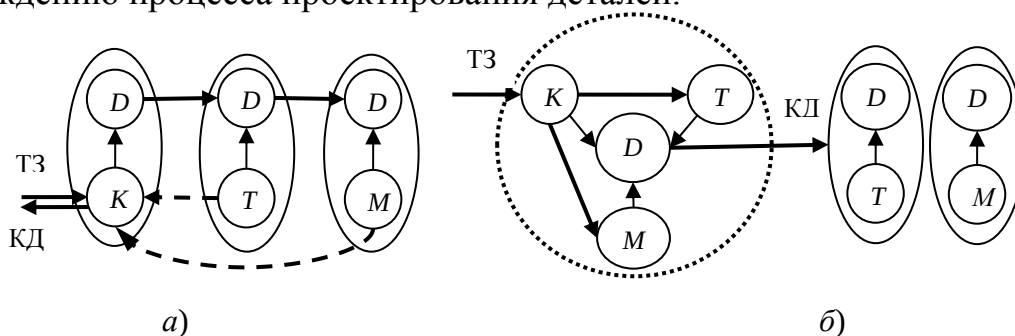


Рис. 1 – Существующая (а) и предлагаемая (б) модель управления конструкторско-технологическим взаимодействием систем: К – конструктор, Т – технолог, М- метролог

В результате анализа выявлено:

1. В современных САД-системах изделий машиностроения отсутствуют активные информационные связи между системами «конструктор», «технолог», «метролог», что приводит к возврату конструкторской документации на доработку и, как следствие, увеличению времени на согласование.
2. В подавляющем большинстве современных САПР машиностроительных изделий процедуры назначения конструктивно-технологических параметров для изготовления деталей выполняются непосредственно конструктором, отсутствует процедура формирования массива исходных данных для дальнейшего технологического проектирования.
3. В рассмотренных САД-системах отсутствуют процедуры оценки и анализа принимаемых конструкторских и технологических решений, метрологического обеспечения детали.
4. Накопленные знания по назначению параметров уходят вместе с опытными специалистами и не передаются следующим поколениям разработчиков, в том числе в системах автоматизированного проектирования.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует, что в системе «конструктор» не обеспечена технологическая и метрологическая поддержка конструкторских решений на стадии рабочего проектирования.

Во второй главе предлагается и исследуется информационная системная модель детали как объект управления конструктивно-технологическими параметрами.

Деталь представляется сложной многоуровневой иерархической системой, в которой подсистемами являются поверхности (П), специальные поверхности (СП) и конструктивные элементы (КЭ), а элементами – их конструктивно-технологические параметры соответственно $P^п$, $P^{кэ}$, $P^{сп}$ (рис. 2). Системная модель детали имеет следующий вид:

$$D = \begin{cases} \langle S^D, F^D, T^D, P^D, C^D \rangle \\ \langle S^п, F^п, T^п, P^п, C^п \rangle^i, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, p} \\ \langle S^р, F^р, P^р, C^р \rangle^j \end{cases} \quad (1)$$

где n – число поверхностей, p – число параметров.

Уровень детали: S^D – множество имен детали, F^D – множество функций детали; T^D – множество структур детали; P^D – множество признаков детали; C^D – множество связей детали.

Уровень поверхностей детали: $S^п$ – множество имен поверхностей; $F^п$ – множество функций поверхностей; $T^п$ – множество структур поверхностей; $P^п$ – множество признаков поверхностей; $C^п$ – множество связей поверхностей.

Уровень параметров: $S^р$ – множество имен параметров; $F^р$ – множество функций параметров; $P^р$ – множество признаков параметров; $C^р$ – множество связей параметров.

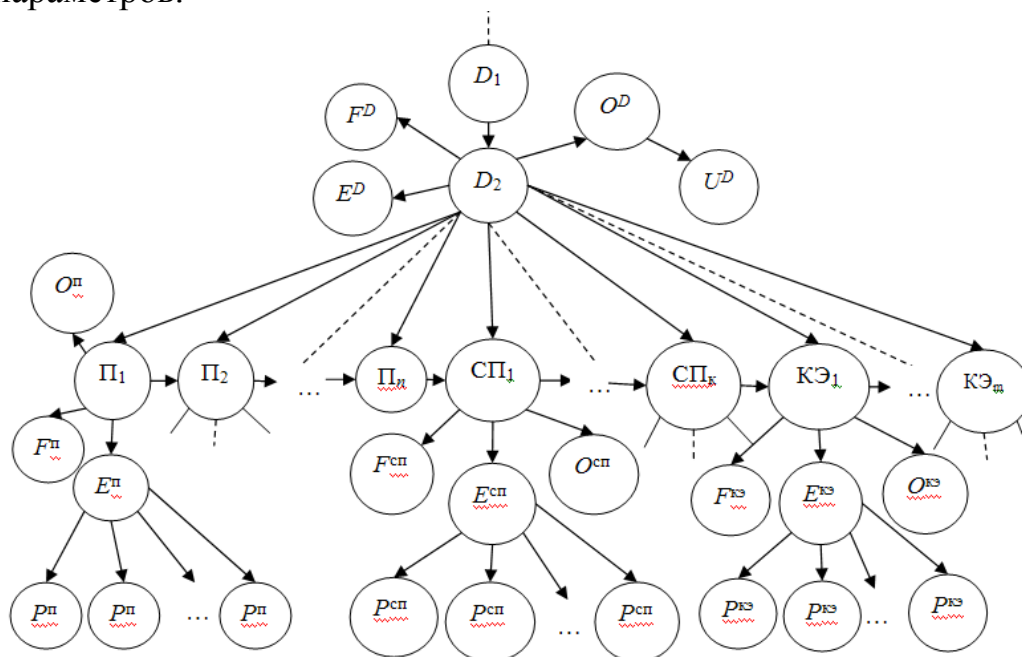


Рис. 2 – Информационная модель детали, где $D_1, D_2, \dots, D_l$ – детали; $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ – поверхности; $\text{СП}_1, \text{СП}_2, \dots, \text{СП}_k$ – специальные поверхности, $\text{КЭ}_1, \text{КЭ}_2, \dots, \text{КЭ}_m$ – конструктивные элементы; $P^п, P^{сп}, P^{кэ}$ – конструктивно-технологические параметры соответственно поверхности, специальной поверхности, конструктивного элемента; F – функция, E – свойства, O – окружение, U – свойства окружения соответственно детали, поверхности, специальной поверхности, конструктивного элемента

Первая и вторая строки соотношений модели (1) описывают деталь и ее элементы как целое согласно иерархической структуре. Третья строка описывает конструктивно-технологические параметры соответственно поверхностей, специальных поверхностей и конструктивных элементов детали.

Для рассмотрения связей в предлагаемой модели выполнена декомпозиция системы на уровнях: детали, поверхностей, а также на уровне параметров.

На *уровне детали* деталь представляется в виде двумерного массива (матрицы) $n \times m$, где n – число поверхностей детали, m – число конструктивно-технологических признаков ($m = 3$):

$$D = \{D_i, Semp_i, Pos_i\},$$

Матрица содержит следующие признаки:

- размерный $D_i = \{L, D, b, H, R, \dots\}$;
- семантический $Semp = \{\text{поверхность под подшипник, резьбовая поверхность, шлицевая поверхность, \dots, нерабочая поверхность}\}$;
- посадка $Pos_i = \{T_d, T_D, T_N(S), N_{\max}, N_{\min}, N_m, S_{\max}, S_{\min}, S_m\}$.

На *уровне поверхности* деталь представлена в виде двумерного массива (матрицы), с размерностью $n \times p$, где n – поверхности детали, p – совокупность конструктивно-технологических параметров:

Поверхности и конструктивно-технологические параметры детали образуют двумерный массив (матрицу):

$$P_{np} = \begin{bmatrix} P_{11} P_{12} \dots P_{1j} \dots P_{1p} \\ P_{21} P_{22} \dots P_{2j} \dots P_{2p} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ P_{i1} P_{i2} \dots P_{ij} \dots P_{ip} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ P_{n1} P_{n2} \dots P_{nj} \dots P_{np} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где n – число поверхностей, p – число конструктивно-технологических параметров, i – номер поверхности, $i = \overline{1, n}$. j – номер параметра.

где P_j – j -й конструктивно-технологический параметр детали, $j = \overline{1, p}$.

Матрица содержит следующие параметры P_j : *размерные* (D_i), *точностные*: P_1 – точность размера, P_2 – точность формы, P_3 – точность расположения поверхности, *качественные*: P_4 – шероховатость обработанной поверхности, P_5 – волнистость, а также *параметры, связанные с состоянием поверхностного слоя детали*: P_6 – твердость ($HBi, HRCi$), P_7 – покрытие, P_8 – термическая обработка и т.д. Перечень может быть продлен, исходя из функционального назначения поверхности и условий производства.

Для выявления всей совокупности параметров выполнена декомпозиция системы на *уровне параметров*:

$$P_1 = IT_i = \{T_d, T_D\},$$

$$P_2 = TF_i = \{TFZ, \dots, TFE, \dots, TFL\},$$

$$P_3 = TP_i = \{TPA_i, TPP, TPN, \dots, TPX\},$$

$$P_4 = Ra_i = \{Ra, Rz, R_{\max}, S_i, S_m, t_p\},$$

$$P_5 = W_i = \{S_w, W_z, W_{\max p}\}, \dots$$

В общем виде математическое описание исследуемой системы выражается зависимостью:

$$\{\mathbf{P}\} = \Phi[\{\mathbf{X}\}, \{\mathbf{Z}\}, \{\mathbf{V}\}], \quad (3)$$

где $\{\mathbf{P}\} = \{P_1, P_2, \dots, P_p\}$ – множество векторов выходных переменных системы. В качестве выходных переменных используются конструктивно-технологические параметры детали, отражающие цели исследования. Множество входных переменных подразделяется на три класса: $\{\mathbf{X}\} = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ – множество векторов входных контролируемых управляемых независимых переменных (факторов), действующих на объект; $\{\mathbf{Z}\} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_k\}$ – множество векторов входных контролируемых, но неуправляемых независимых переменных; $\{\mathbf{V}\} = \{V_1, V_2, \dots, V_l\}$ – множество векторов неконтролируемых возмущающих воздействий. Информационная модель формирования массива конструктивно-технологических параметров детали машиностроения представлена на рис. 3.

В результате исследования построенной модели вскрыты взаимосвязи выходных параметров модели (искомых конструктивно-технологических параметров) от действующих факторов (выявленных параметров). Получены функциональные зависимости параметров детали от некоторых влияющих факторов.

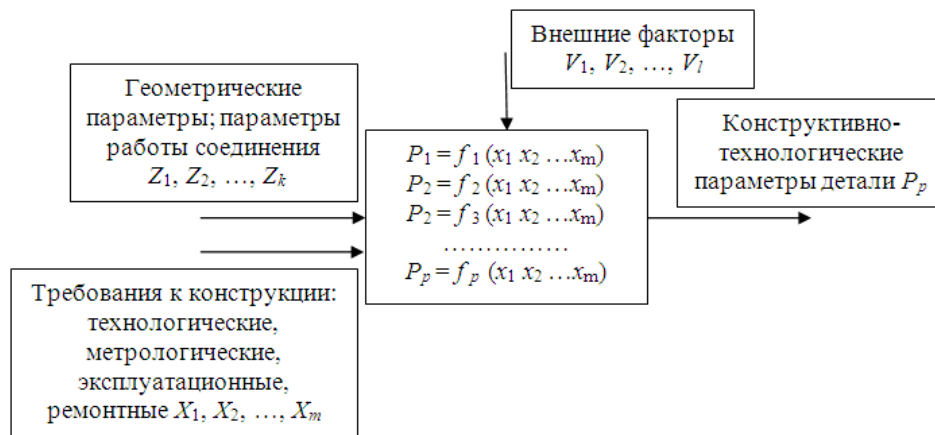


Рис. 3 - Информационная модель формирования массива конструктивно-технологических параметров детали P_p

Выражение (3) задает описание способа преобразования параметров детали, заданных совокупностью описаний множества ее поверхностей, с целью исследования модели на предмет выявления в ней возможностей введения элементов автоматического управления, способных реализовать в формализованном виде процедуры автоматизированного проектирования для САПР. При таком подходе проектируемую систему можно представить в виде агрегата:

$$\Sigma = [T, \{\mathbf{X}\}, \{\mathbf{Z}\}, \{\mathbf{V}\}, \{\mathbf{\Omega}\}, \{\mathbf{Y}\}, \{\mathbf{\Gamma}\}, \mathbf{H}, \mathbf{G}], \quad (4)$$

где T – множество моментов времени, $\{\mathbf{X}\}$ – множество мгновенных значений входных воздействий, $\{\mathbf{Z}\}$ – множество технико-экономических требований, установленных техническим заданием, $\{\mathbf{V}\}$ – множество внешних факторов,

$\{\Omega\}$ – множество допустимых входных воздействий, Y – множество мгновенных значений выходных воздействий, Γ – множество допустимых выходных воздействий, H – оператор переходов, устанавливающий функциональную связь между переменными, G – оператор, устанавливающий связь между состоянием системы и ее выходной величиной, определяющей множество Γ . Такая кибернетическая модель определяет проектируемую систему как «черный ящик», имеющий входы, выходы и внутреннюю конструкцию.

Учитывая особенности конструкторско-технологических стадий создания проекта детали, необходимо заметить, что реализация этих этапов, как правило, предусматривает выбор параметров формирующих ее геометрических поверхностей. В этом случае исходная обобщенная математическая модель трансформируется.

Исходные множества $\{U\}$, $\{\Omega\}$ отображают не входные воздействия, а управляющие воздействия ЛПР, то есть U – множество мгновенных значений управляющих воздействий $\{U\} = \{X\} \cup \{Z\}$, и $\{\Omega\}$ – допустимые значения, векторов $\{X\}$ и $\{Z\}$, то есть $\{\Omega\} = \{X\}_{\text{доп.}} \cup \{Z\}_{\text{доп.}}$. Множество $\{\Gamma\}$ представляется множеством ограничений на конструктивно-технологические параметры детали $\{P\}_{\text{доп.}}$; $\{\Gamma\} = \{P\}_{\text{доп.}}$. Множество $\{Y\}$ в (4) представлено множеством $\{P\}$ (3). Вводится $\{S\}$ – множество состояний системы, интегрирующее мгновенные значения векторов $\{U\}$ и $\{V\}$. Оператор G , устанавливающий связь между состояниями системы $\{S\}$ и конструктивно-технологическими параметрами детали $\{P\}$, определяется функционалом Φ , выражающим теоретико-множественное соответствие $\{q\} = [\{X\}, \{Z\}, \{V\}, \{P\}, \Phi]$ с учетом определения разных способов осуществления этого соответствия в виде процедур, реализующих зависимости $P_i = f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$. Оператор H , устанавливающий функциональную связь между переменными, в дальнейшем определяется с использованием либо регрессионных зависимостей, либо при помощи моделей, построенных на основе искусственных нейронных сетей. Таким образом, с учетом наличия управляющих воздействий со стороны ЛПР, имеем модель: $\Sigma = [T, \{S\}, \{U\}, \{\Omega\}, \{P\}, \{\Gamma\}, \{V\}, H, \Phi]$. В развернутом виде с учетом приведенных преобразований:

$$\Sigma = [T, \{S\}, \{X\}, \{Z\}, \{\Omega\}, \{P\}, \{\Gamma\}, \{V\}, H, \Phi]. \quad (5)$$

Приведенный агрегат соответствует системе управления моделью формирования массива конструктивно-технологических параметров детали (рис. 4).

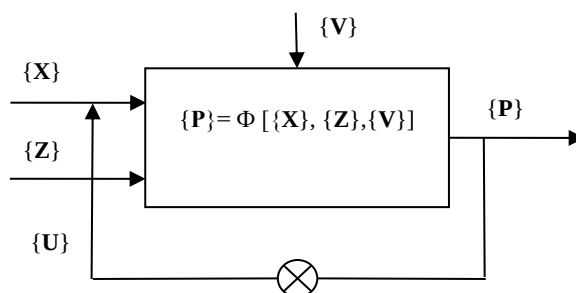


Рис. 4 - Система управления процессом формирования массива конструктивно-технологических параметров детали P_p

Для достижения поставленных задач формализации процедур принятия решений по назначению конструктивно-технологических параметров выполнена систематизация признаков поверхностей деталей машиностроения на основании справочников, монографий, уже сложившейся классификации (ГОСТ, терминологические справочники и т.п.). Предложен семантический признак поверхности *Semp*, который позволяет однозначно определить служебные свойства поверхности. Например, *Semp* = {поверхность под подшипник, резьбовая поверхность, шлицевая поверхность, ..., нерабочая поверхность}.

Разработаны алгоритмы для поверхностей с разным семантическим признаком *Semp*, а также сгенерированы формальные правила назначения параметров в виде бинарных таблиц отношений параметров свойств. В результате для каждого уровня декомпозиции детали сформированы эвристические знания в виде декларативной информационной модели, которая, в частности, имеет вид таблицы решений. Например, модель назначения шероховатости на резьбовую поверхность имеет вид таблицы 1.

Таблица 1 Назначение шероховатости на резьбовую поверхность

Правила ПР	Степень точности	Диаметры, мм	Назначение резьбы	Значение шероховатости, Ra, мкм
ПР ₁	4...5	5...200	крепежная	1,6
ПР ₂	6...7	5...200	крепежная	3,2
...	...	...	...	
ПР ₇	8...9	5...200	ходовой винт	0,8

В результате исследования модели (3) установлено, что на выбор точностного признака *Pos* (посадка) для соединения деталей вал-втулка, может оказывать влияние свыше 20 факторов (табл.2). В связи с этим рассмотрена задача прогнозирования состояния соединения (натяга *N*, зазора *S*) деталей типа «вал-втулка» по эмпирическим данным, решаемая в процессе обучения нейронной сети.

Построена и исследована нейросетевая модель, которая по входным данным (факторам, влияющим на образование натяга в соединении) прогнозирует предельные натяги, получаемые в результате соединений деталей. Для создания и обучения нейронной сети использовался программный продукт *Neural Network Wizard*. Обучение производилось на базе обучающей выборки, содержащей 400 строк рассмотренных примеров вариантов соединений. С целью формирования эффективной нейронной сети выполнялись работы по определению структуры сети и формы представления данных. Выбор оптимальной структуры нейронной сети проводился по большому перечню факторов (алгоритм/время обучения архитектура сети). В качестве примера представлены результаты определения оптимального числа нейронов в скрытом слое. Анализ разных нейронных сетей показал, что для поставленной задачи наименьшее время обучения и наименьшую ошибку прогноза имел трехслойный персептрон 5 (рис. 5).

Таблица 2 Факторы, влияющие на величину натяга и прочность соединения вал-втулка

№	Факторы		
п/п	Фактор	Обозначение	Расшифровка
1	x_1	D	Номинальный диаметр соединения
2	x_2	d_1	Диаметр внутреннего отверстия вала
3	x_3	d_2	Наружный диаметр втулки
4	x_4	L	Длина соединения вала и втулки
5	x_5, x_6		Материал вала, втулки
6	x_7, x_8	μ_d, μ_D	Коэффициенты Пуассона вала, втулки
7	x_9, x_{10}	E_d, E_D	Модуль упругости вала и втулки, Н/м ²
8	x_{11}	P	Продольная осевая сила, Н
9	x_{12}	M	Крутящий момент, Н м
10	x_{13}	F	Коэффициент трения
11	x_{14}, x_{15}	σ_T	Предел текучести материалов вала и втулки, Н/м ²
12	x_{16}		Метод запрессовки
13	x_{17}, x_{18}	Rz_d, Rz_D	Шероховатость вала, втулки, мкм
14	x_{19}, x_{20}	K_1, K_2	Величина смятия неровностей, %
15	x_{21}, x_{22}	t°_d, t°_D	Температура вала и втулки при эксплуатации (рабочая)
16	x_{23}	ρ	Плотность, кг/м ³
17	x_{24}, x_{25}	α	Коэффициент линейного расширения материала вала и втулки
18	x_{26}, x_{27}	TF_d, TF_D	Отклонение формы сопрягаемых поверхностей
19	x_{28}	v	Скорость вращения, м/с

В результате исследования получена многофункциональная зависимость, отражающая сложную связь между факторами, влияющими на образование натяга в соединении (входы модели), и предельным натягом ($N_{\max}$, $N_{\min}$). Предложен алгоритм нейронной сети, который позволяет для нового набора исходных данных соединения вал-втулка выполнить прогнозирование натяга со средней квадратической ошибкой менее 1% (рис. 5).

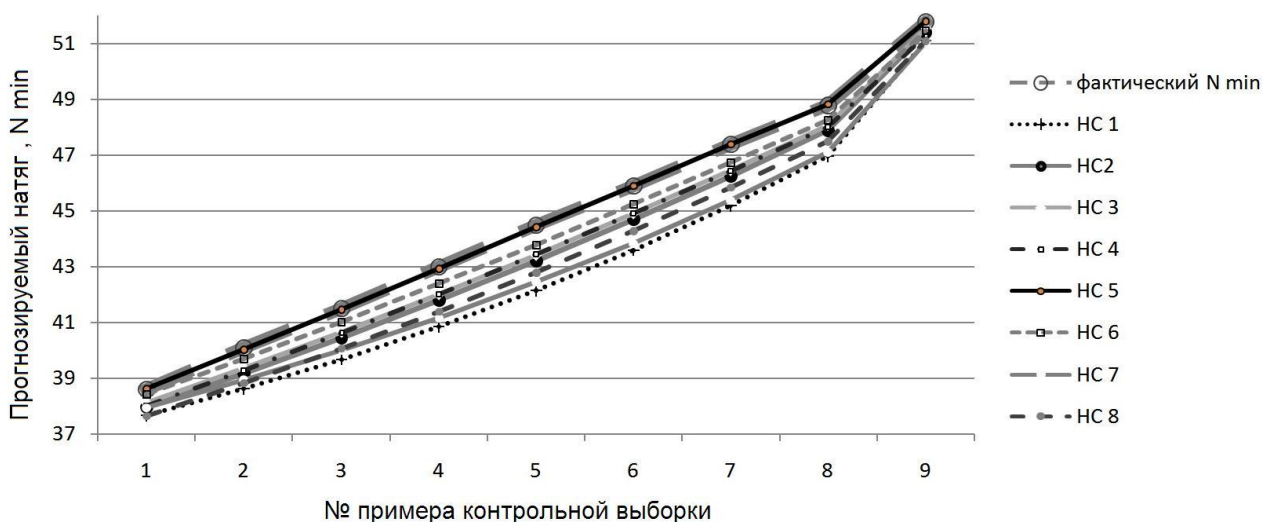


Рис. 5 - Сравнение фактического минимального натяга с нейропрогнозом

Результаты моделирования свидетельствуют о работоспособности и возможности практического применения полученных алгоритмов обучения многослойных сетей для прогнозирования натягов (зазоров) в соединении вал-втулка.

В результате для решения задачи системного назначения параметров по созданным методикам формируется массив конструктивно-технологических параметров детали, как исходный массив (входные данные) для проектирования ТП изготовления детали.

Третья глава посвящена разработке модели интеллектуальной информационной системы (ИИС) для обеспечения управления конструкторско-технологическим взаимодействием в процессе проектирования изделий машиностроения (рис. 6). Целью системы является обеспечение активной информационной технологической и метрологической поддержки конструкторских решений на стадии рабочего проектирования.

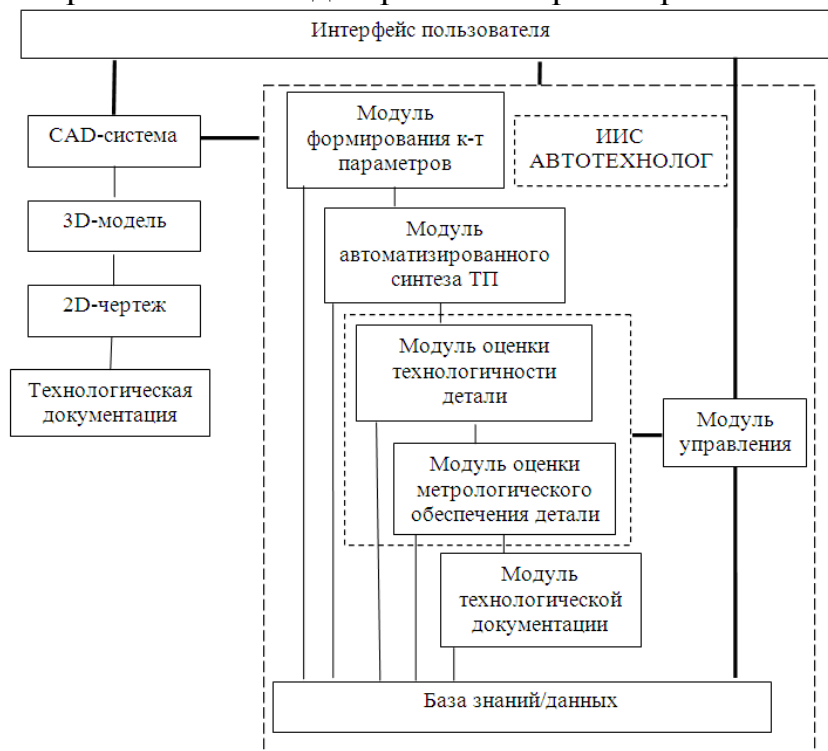


Рис. 6 – Общая структура интеллектуальной информационной системы технологической и метрологической поддержки проектирования

В состав ИИС входят следующие элементы: база знаний/данных (технологических, метрологических), модуль формирования массива конструктивно-технологических параметров детали, модуль синтеза планов обработки поверхностей и технологического процесса детали по входным данным создаваемого массива параметров детали, модули численной оценки технологичности и метрологического обеспечения детали, модуль технологической документации на обработку детали для любого заданного типа производства.

Разработан модуль обучения нейронной сети, используемой в системе. Объективно существующее ограничение объема обучающей выборки для нейронной сети, входящей в состав системы, предлагается компенсировать, дообучая сеть с использованием накапливаемых данных. В результате постоянного сбора экспериментальных данных о прочности соединений с натягом и поступления их на вход нейронной сети сеть самообучается на более широком диапазоне данных. Это позволяет точнее прогнозировать натяги в ответственных соединениях.

В соответствии с предложенной методикой созданы структурная схема и математическая модель модуля формирования массива конструктивно-технологических параметров деталей (рис. 7). В модуле используются разработанные методы и алгоритмы для решения задачи автоматизированного назначения параметров детали с помощью базы знаний. Для ответственных соединений деталей применяется алгоритм прогнозирования с использованием нейронной сети.

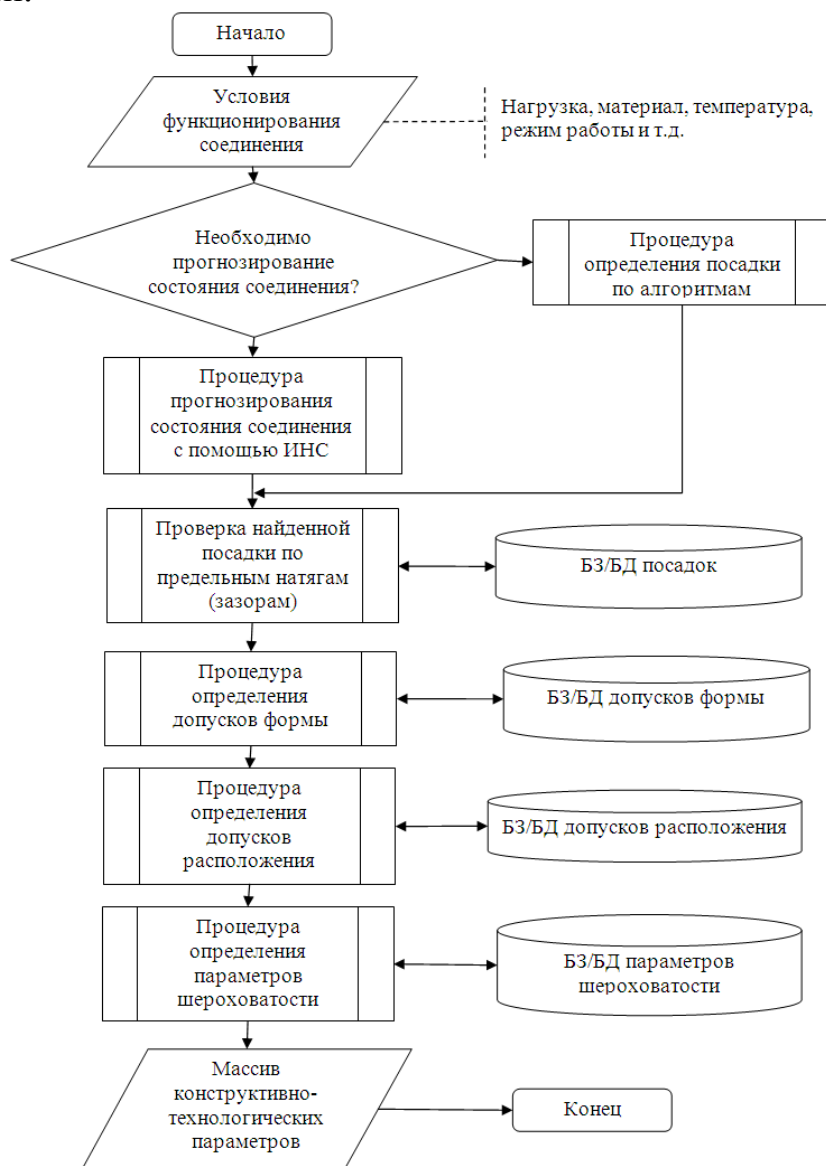


Рис. 7 - Алгоритм формирования массива конструктивно-технологических параметров детали

Важная особенность системы – многовариантность решений и численная оценка их технологичности. В модуле оценки технологичности детали конструктор имеет возможность, используя массивы показателей технологичности, оценивать варианты назначения параметров детали. В модуле формируются матрицы анализа конкурирующих вариантов детали с числовыми значениями показателей технологичности. Матрицы конкурирующих вариантов сравниваются по базовым показателям технологичности (ТКИ) ГОСТ 14.201, которые установлены в техническом задании на изделие. Для оценки метрологического обеспечения детали в соответствующем модуле использована система показателей, позволяющих сравнивать варианты контроля параметров детали.

Таким образом, предлагаемая система обеспечивает управление информационным взаимодействием между сторонами, непосредственно участвующими в процессе конструирования и подготовки изделия к изготовлению, ответственными за качество: конструкторскими, технологическими и метрологическими службами. Это позволяет сделать выбор конструктивно-технологических параметров обоснованным, более точным, выполняемым в автоматическом режиме, что обеспечит надежность работы соединений и повысит качество изделий машиностроения.

Четвертая глава посвящена вопросам практического применения разработанных моделей и процедур в интеллектуальной информационной системе технологической поддержки САД-проектирования. Представлены методика и экспериментальные исследования проверки работоспособности рассмотренных моделей и алгоритмов.

Для автоматизированного назначения массива точностных и качественных параметров типовых поверхностей деталей машиностроения создан программный комплекс на языке программирования Visual Basic **Application (VBA)** на базе СУБД Access.

Конструктивно-технологические параметры назначаются в автоматизированном режиме на основании семантического признака поверхности, вводимого пользователем в командную строку или в выпадающее меню (рис. 8). В результате осуществляется поиск необходимого алгоритма для нахождения конструктивно-технологических параметров поверхности детали.

Параметры, подтвержденные конструктором, поступают в специально созданные формы, в которых информация обрабатывается и по известным алгоритмам синтезируется предварительный технологический процесс обработки детали.

На основе данных массива конструктивно-технологических параметров детали и предварительного технологического процесса ее изготовления автоматически рассчитываются показатели технологичности и метрологического обеспечения альтернативных вариантов исполнения детали (рис. 9 а, б). Используя сформированные массивы показателей, конструктор может выбрать целесообразный вариант.

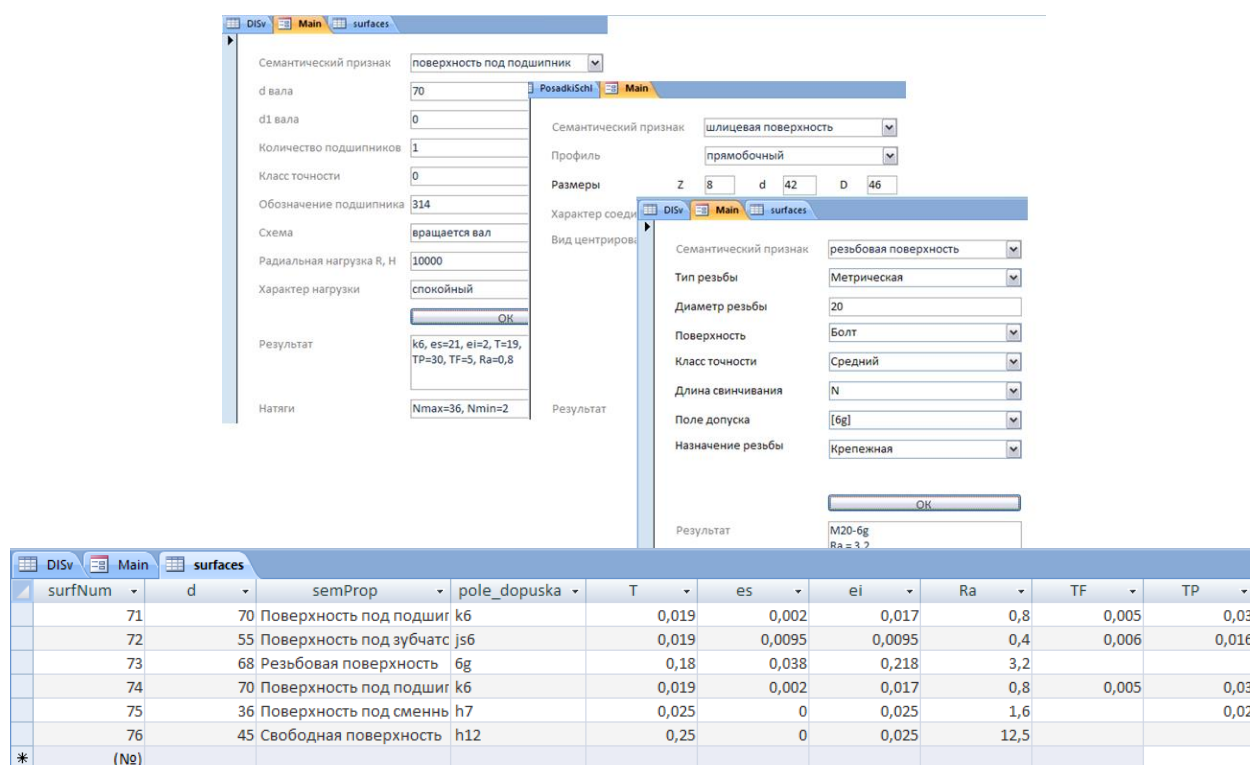


Рис. 8 - Модуль автоматизированного назначения конструктивно-технологических параметров вала

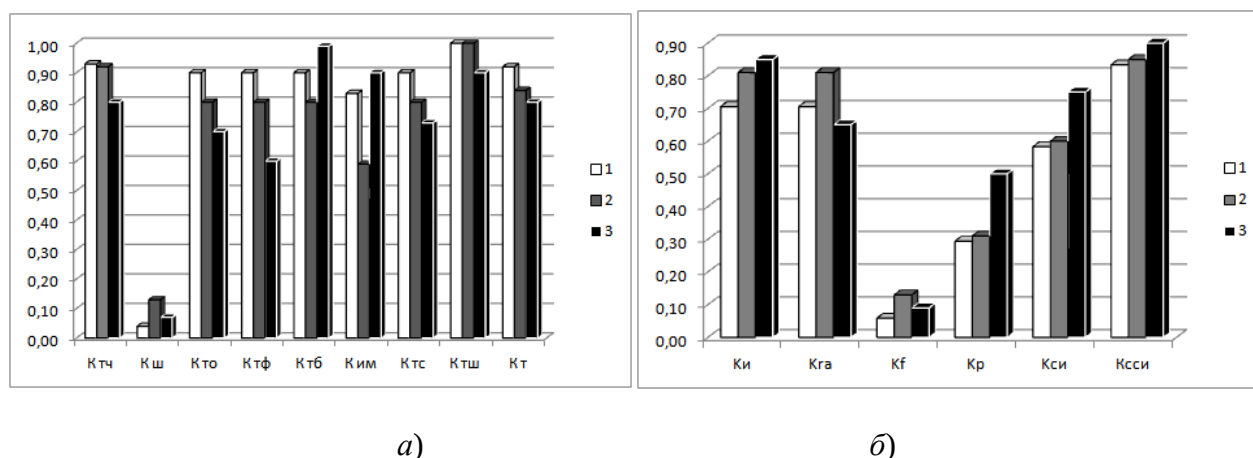


Рис. 9 - Результаты сопоставления прогнозируемых альтернатив (1, 2, 3) конструкции детали «Промежуточный вал»: а) по показателям технологичности; б) по показателям метрологического обеспечения

В результате с помощью предлагаемой системы обеспечивается прогнозирование различных исполнений детали, среди которых ЛПР обоснованно выбирает наилучший в данных условиях.

Исследовалась работа конструктора по созданию рабочих чертежей деталей типа тела вращения в обычном режиме и совместно с предлагаемой ИИС. Для сравнения длительности работы конструкторского модуля в двух режимах выбраны 15 тестовых деталей различной сложности типа тел вращения. Обычный режим разработки конструкции выполнялся при использовании систем Inventor 2009 и САПР ТП «ТехноПро 5+ (Открытая)»,

второй режим - с использованием прототипа ИИС. Длительность разработки в обоих случаях фиксировалась. Для упорядочивания деталей разной сложности выбран критерий сложности, равный

$$C_D = 0,02 \cdot N_{KT}, \quad (7)$$

где N_{KT} – минимальное число конструктивно-технологических параметров для формирования массива параметров детали.

Суммарная длительность разработки конструкции деталей и назначения конструктивно-технологических параметров в обычном режиме САД-проектирования (T) и с использованием ИИС ($T_{ИИС}$) показана на рис. 10, а. Зависимость величины сокращения длительности (ε) от показателя сложности деталей C_D представлена на рис. 10, б.

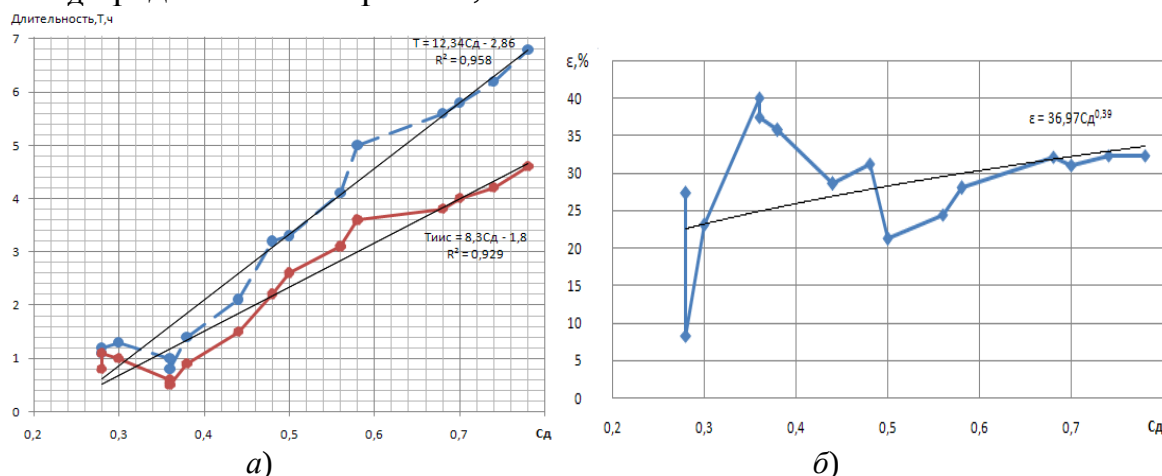


Рис. 10 – Зависимости: а) суммарной длительности автоматизированной разработки конструкции и формирования массива КТ-параметров от критерия сложности C_D ; б) сокращения суммарной длительности от критерия сложности C_D

Сокращение суммарной длительности в диапазоне 25...30% характерно для деталей со значением C_D равным 0,6...0,8. Это указывает на эффективность использования ИИС для конструктивно-технологической подготовки деталей высокой сложности. Оценка затрат времени на техническую подготовку производилась на примере сборочной единицы «планетарный редуктор». Рассматривался обычный режим САД-проектирования деталей и с использованием ИИС. Обычный режим разработки (традиционная схема) занял 204 нормо/часа (рис. 11). Режим технологического сопровождения САД-проектирования (предлагаемая схема) с ИИС занял 115 нормо/часов.

Результаты исследования показали, что применение ИИС позволяет существенно сократить длительность технической подготовки производства за счет: совместной разработки конструкторской и технологической документации на стадии рабочего проектирования изделия, сокращения процедур согласования, технологического и метрологического контроля КД, существенного уменьшения количества возвратов документации на доработку. ИИС дает преимущество в исключении влияния человеческого фактора на принятие решений, так как создается проверенный исходный массив данных для дальнейшего технологического проектирования обработки детали.

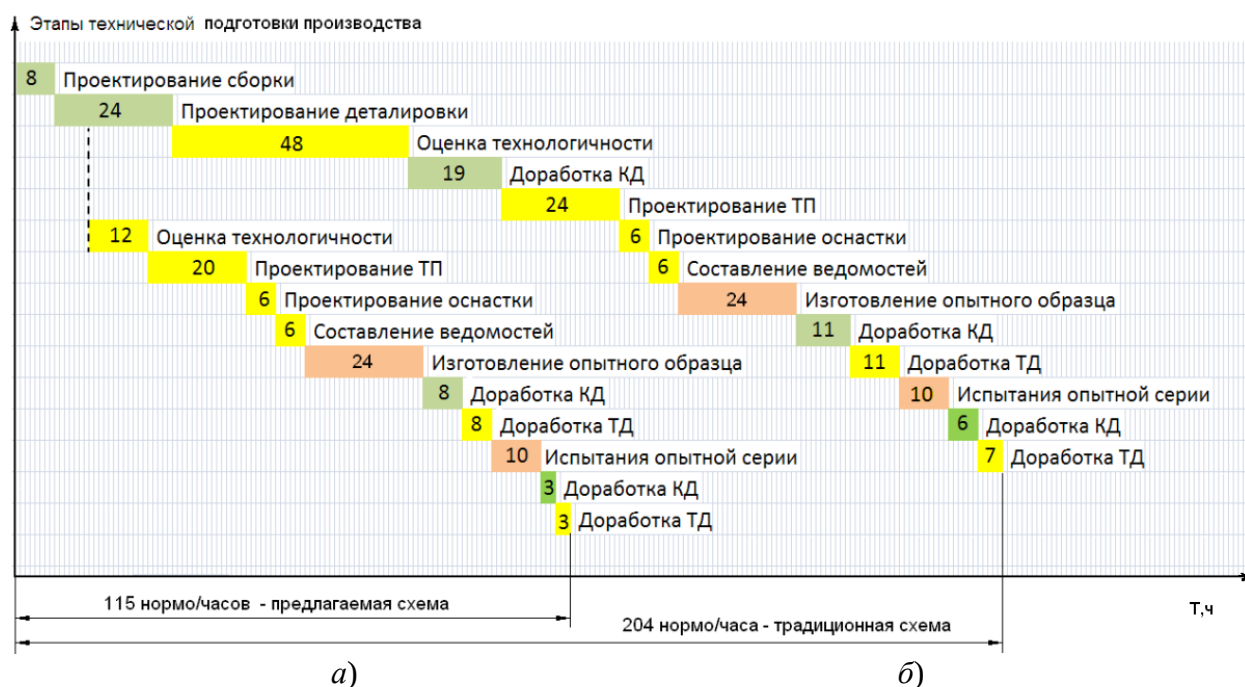


Рис. 11 - Длительности технической подготовки производства сборочной единицы «планетарный редуктор» а) предлагаемой, б) традиционной

В заключении сформированы выводы и основные результаты диссертационной работы, а также рекомендации из проведенного исследования.

В приложении приводится копия свидетельства официальной регистрации программы для ЭВМ и копии актов о реализации научных положений и выводов диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ информационного взаимодействия систем «конструктор», «технолог», «метролог» при конструкторско-технологической подготовке изделий машиностроения. Выявлено отсутствие активных информационных связей систем «конструктор», «технолог», «метролог» на стадии рабочего проектирования.
2. Проведен анализ существующих методов и процедур назначения конструктивно-технологических параметров деталей на стадии рабочего проектирования изделий машиностроения, отмечено отсутствие системного назначения параметров, автоматизированных процедур оценки в существующих CAD-системах.
3. Создана информационная модель управления конструкторско-технологическим взаимодействием в процессе проектирования деталей машиностроения, формирующая новую структуру взаимоотношений между элементами системы (системами «конструктор», «технолог», «метролог»).
4. Предложена методика формирования процедур принятия решений по назначению конструктивно-технологических параметров деталей машиностроения на основе базы технологических и метрологических знаний,

аппарата нейронных сетей, регрессионных зависимостей.

5. Разработана интеллектуальная информационная система управления массивом параметров при проектировании деталей машиностроения, которая позволяет осуществить технологическую и метрологическую поддержку конструкторских решений в системах автоматизированного проектирования.

6. Проверка работы прототипа ИИС совместно с системой CAD-проектирования на реальных деталях типа тел вращения позволило снизить суммарную длительность разработки конструкции и маршрутного технологического процесса изготовления в зависимости от ее сложности в среднем на 18 % (с учетом сокращения времени согласования документации).

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основное содержание, положения и результаты диссертации отражены в следующих работах.

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня ВАК:

1. Андреев, В.В. Автоматическое формирование массива конструктивно-технологических признаков деталей интеллектуальной информационной системой / В.В. Андреев, Е.В. Тесленко // Вестник Белгородского технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. №3. – С. 170-174.

2. Тесленко, Е.В. Интеллектуальная информационная система с нейронной сетью для прогнозирования состояния соединений типа «вал-втулка» деталей машиностроения/ Е.В. Тесленко, В.В. Андреев // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2011. №11. – С. 26-31.

3. Андреев, В.В. Интеллектуальная информационная система технологического проектирования в CAD-системах / В.В. Андреев, Е.В. Тесленко // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. №6. – С. 90-92.

4. Тесленко, Е.В. Информационная модель массива параметров деталей машиностроения для системы технологического и метрологического сопровождения процесса проектирования/ Е.В. Тесленко, В.В. Андреев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. № 3. – С. 40-44.

Свидетельства об официальной регистрации ПО

5. Тесленко, Е.В., Супруненко, А.В., Андреев, В.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2011618302. Программный комплекс синтеза массива конструктивно-технологических признаков поверхностей деталей машиностроения. 20.10.11

Статьи в прочих научных журналах и изданиях:

6. Тесленко, Е.В. Прогнозирование состояния соединений типа «вал-втулка» с помощью искусственной нейронной сети / Е.В. Тесленко, Д.С. Тесленко, В.В. Андреев // Труды НГТУ. – Н. Новгород, 2011. №4(91). – С. 129-135.

7. Тесленко, Е.В. Программный комплекс "Автотехнолог" для автоматического назначения допусков и посадок на детали типа "вал"/ Е.В. Тесленко, Д.С.Тесленко // Труды РКТ. Сер. XII. Вып. 1-2. – Королев: РКК «Энергия», 2012. – С. 180-185.

В материалах и тезисах докладов научно-технических конференций:

8. Тесленко, Е.В. Формализация анализа поверхностей деталей типа тел вращения / Е.В. Тесленко // Проблемы качества машин и их конкурентоспособности: материалы VI Междунар. научно-технич. конф. – Брянск: БГТУ, 2008. – С. 411-412.
9. Тесленко, Е.В. Способ формального представления технологических функций поверхностей деталей при формировании технологического процесса информационной системой / Е.В. Тесленко // Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании. НИТ-2009: материалы XIV Всероссийской научно-технич. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2009. – С. 222-223.
10. Тесленко, Е.В. Подсистема технологического проектирования в CAD системах / Е.В. Тесленко // Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении. ПТ- 2010: материалы Всероссийской научно-технич. конф. – Арзамас, 2010. – С. 104-110.
11. Тесленко, Е.В. Обеспечение процесса технологического проектирования изделия путем формирования конструктивно-технологических признаков интеллектуальной информационной системой / Е.В. Тесленко, В.В. Андреев // Информационные системы и технологии. ИСТ-2010: материалы Междунар. научно-технич. конф. – Н.Новгород: НГТУ, 2010. – С. 177.
12. Тесленко, Е.В. Комплексное решение задач технологического сопровождения CAD-проектирования деталей машиностроения интеллектуальной информационной системой / Е.В. Тесленко, В.В. Андреев // Будущее технической науки: материалы Междунар. научно-технич. конф. – Н.Новгород: НГТУ, 2010. – С. 40.
13. Тесленко, Е.В. Прогнозирование допустимых натягов в соединениях деталей с помощью искусственных нейронных сетей / Е.В. Тесленко, В.В. Андреев // Информационные системы и технологии. ИСТ-2011: материалы Междунар. научно-технич. конф. – Н.Новгород: НГТУ, 2011. – С. 251.
14. Тесленко, Е.В. Программная реализация формирования комплекса признаков поверхностей деталей машиностроения интеллектуальной информационной системой / Е.В. Тесленко, Е.В. Андреев, А.Е. Морев, // Будущее технической науки: материалы Междунар. научно-технич. конф. – Н.Новгород: НГТУ, 2011. – С. 11.
15. Тесленко, Е.В. Модель интеллектуальной информационной системы технологической и метрологической поддержки CAD-проектирования / Е.В. Тесленко, В.В. Андреев // Прогрессивные технологии в современном машиностроении. МК-76-111: сборник статей VII Международ. научно-технич. конф. – Пенза, 2011. – С.74-77.
16. Тесленко, Е.В. Программный комплекс формирования массива конструктивно-технологических признаков поверхностей деталей интеллектуальной информационной системой / Е.В. Тесленко, В.В. Андреев //

- Прогрессивные технологии в современном машиностроении. МК-76-111: сборник статей VII Международ. научно-технич. конф. – Пенза, 2011. – С.77-80.
17. Тесленко, Е.В. Нейросетевая система идентификации состояния соединения «вал-втулка» при оперативном управлении технологическим процессом / Е.В. Тесленко, В.В. Андреев // Идентификация систем и задачи управления. SICPRO '12: труды IX Международ. конференции – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2012. – С. 562-572.
18. Тесленко Е.В. Прогнозирование состояния соединений вал-втулка с помощью нейросетевых алгоритмов с учетом множества факторов/ Е.В. Тесленко, В.В. Андреев// Нейрокомпьютеры и их применение: материалы X Всероссийской научной конференции. – Москва, 2012. – С. 25 -27.