

*На правах рукописи*

**ПУТИН Павел Юрьевич**

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ  
ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ  
ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами (промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Тамбов 2011

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ГОУ ВПО ТГТУ).

**Научный руководитель** доктор технических наук, профессор  
*Матвейкин Валерий Григорьевич*

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
*Палюх Борис Васильевич,*

доктор технических наук, профессор  
*Тихомиров Сергей Германович*

**Ведущая организация** Кольский научный центр РАН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов

Защита состоится 1 июля 2011 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.260.01 в ГОУ ВПО ТГТУ по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, Большой актовыв зал.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, ГОУ ВПО ТГТУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.260.01.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО ТГТУ. Автореферат размещен на официальном сайте ГОУ ВПО ТГТУ – [www.tstu.ru](http://www.tstu.ru).

Автореферат разослан 1 июня 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

*А.А. Чуриков*

---

---

Подписано в печать 31.05.2011.  
Формат 60 × 84/16. 0,93 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 236

Издательско-полиграфический центр ГОУ ВПО ТГТУ  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Современное развитие промышленных инновационных производств характеризуется созданием конкурентных преимуществ посредством активного вовлечения интеллектуальных ресурсов – «знаний» как на стадии разработки изделий, технологических процессов и производств, так и на стадии создания автоматизированных систем управления с целью их эффективной эксплуатации.

Особое значение в повышении конкурентоспособности продукции приобретают не только задачи автоматизации, моделирования и управления, но и задачи создания информационного, алгоритмического и программного ресурсов, обеспечивающих наиболее полное использование научных, инженерных знаний, накопленных в предшествующие периоды при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проведении испытаний изделий и технологий, и максимально точной формализации требований потребителя.

В связи с этим в диссертационной работе поставлены и решены задачи создания автоматизированной системы управления интеллектуальной информационной средой (ИИС), позволяющей формализовать профессиональные знания, выбирать концептуальные модели и инструментальные средства как на стадии сбора, хранения и преобразования первичной информации, так и на стадии управления производством.

Неотъемлемой частью системы управления ИИС является система синтеза наиболее точного, по отношению к требованиям потребителя, технического задания по разработке новых изделий, а также оценки его реализуемости на достигнутом уровне развития науки и техники и имеющихся ресурсов. Решение такой задачи предполагает активное использование современных интерактивных средств, способных обеспечить процессы проектирования, моделирования и автоматизированного управления в режиме диалога с лицом принимающим решения (ЛПР). Формализация профессиональных знаний с одной стороны, и предпочтений потребителей изделий и технологий с другой стороны, в существенной степени определяют объем, форму и содержание постоянно изменяющейся информации, присутствующей в системе управления ИИС, требующей разработки адекватных алгоритмов и методов ее обработки и анализа с учетом различной степени неопределенности. Для этого необходимо сформировать единую терминологическую систему координат, а для сокращения ошибок и минимизации временных, материальных и других ресурсов необходимо в системе управления ИИС реализовать алгоритмы поддержки принятия управленческих решений, использующие накопленный опыт, позволяющий в существенной степени повысить эффективность принимаемых ЛПР решений в области создания и управления производством инновационной продукции.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2012 годы» (государственный контракт № 02.513.11.3377 от 26 ноября 2007 года).

**Цель работы:** разработка автоматизированной системы интеллектуальной поддержки процессов управления производством инновационной продукции с минимальными временными, материальными и трудовыми ресурсами.

**Задачи:**

- анализ и классификация задач принятия решений, возникающих на этапах жизненного цикла изделия;
- идентификация и формализация исходной информации при создании инновационной продукции;
- разработка методов и алгоритмов автоматизированного синтеза конфигурации<sup>1</sup> инновационного изделия, наиболее полно удовлетворяющего требованиям потребителей;
- разработка методов и алгоритмов многокритериального ранжирования альтернативных конфигураций в условиях неопределенности при управлении производством инновационной продукции;
- разработка алгоритмического и программного обеспечения процессов управления при создании инновационной продукции.

**Научная новизна** заключается в разработке алгоритмического обеспечения автоматизированной системы управления производством, позволяющем повысить эффективность функционирования стадии разработки инновационных изделий за счет применения новых способов формализации профессиональных знаний в интеллектуальной информационной среде, методов и алгоритмов автоматизированного синтеза конфигураций изделий с учетом совместимости конструкторских компонентов, метода многокритериального ранжирования альтернативных конфигураций, использующего нечеткие функции предпочтения и позволяющего строить улучшающие последовательности конфигураций и находить «оптимистичное» решение.

**Практическая значимость.** Программный комплекс управления ИИС дает возможность на этапе формирования технического задания на изделие осуществить интерактивное автоматизированное взаимодействие потребителя и разработчика продукции, позволяющий из улучшающей последовательности конфигурации изделий выбрать наиболее «оптимистичную», с точки зрения материальных, трудовых и временных затрат, траекторию его жизненного цикла, за счет автоматизации разработанных процедур синтеза конфигурации изделия, повысить качество принимаемых решений на начальных этапах проектирования, сократить время доступа к конструкторско-технологической и производственной информации, а также «прослеживаемости» всех шагов, связанных с внесением изменений. Программный комплекс управления ИИС, в частности методика синтеза конфигурации для разработки систем жизнеобеспечения и средств защиты органов дыхания, передан в опытную эксплуатацию в ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов.

---

<sup>1</sup> Функциональные, физические и эксплуатационные свойства (характеристики) предполагаемого к разработке, разрабатываемого или существующего изделия, сгруппированные в соответствии с его структурой и отображаемые в различных формах документации в зависимости от стадии ЖЦ этого изделия.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты, полученные в диссертации, докладывались и обсуждались на: IX Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Кемерово, 2008); Всероссийском научном конгрессе «Фундаментальная наука – ресурс сохранения здоровья здоровых людей» (Тамбов, 2008); Российской научно-практической конференции «Стратегия развития научно-производственного комплекса Российской Федерации в области разработки и производства систем жизнеобеспечения и защиты человека в условиях химической и биологической опасности» (Тамбов, 2009).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации и современное состояние основных решаемых в работе проблем. Формулируются цель и основные задачи исследования. Обосновываются научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе «**Анализ задач принятия решений, возникающих на этапах жизненного цикла изделия**» приводится классификация моделей предприятия, как объектов управления. Рассмотрена структура и особенности инновационных предприятий. Важным, с точки зрения управления, является наличие в них исследовательских подразделений, функционирование которых плохо формализовано. На фоне серийного выпуска изделий проводятся научные исследования, выпуск экспериментальных партий, что обеспечивает постоянную модернизацию существующих изделий и технологий, а также разработку новых. Постоянное совершенствование изделий позволяет инновационному предприятию обеспечить для своей продукции потребительский рынок и требует использования новых технологий управления. Инновационное предприятие имеет гибкую структуру, адекватно и быстро реагирующую на внешние изменения, в том числе требования потребителей.

Проведен анализ процессов жизненного цикла наукоемкой продукции, нормативной документации, который позволил выделить структуру, взаимосвязи, содержание и задачи этапов ЖЦ. Для каждого этапа был определен перечень входящих в него процессов, установлена их взаимосвязь внутри этапа (входные и выходные данные процессов) и определены их задачи. Анализ осуществлялся с использованием ГОСТ В 15.004–84, ГОСТ РВ 15.1.000–92 и ИСО 9000:2000.

Существующие полнофункциональные АСУП и различные известные экспертные системы не решают задач управления предпроектной стадией и процессами НИОКР, а именно на этих стадиях ЖЗ закладываются до 80% качественных свойств изделия.

В качестве методологии управления процессами на этих стадиях выбрана базовая управленческая концепция CALS, которая позволяет объединить

процессы ЖЦ в единый объект управления на базе единого информационного пространства (ЕИП), что является актуальным в условиях инновационного предприятия. Особо пристально рассматривается – технология управления конфигурацией (УК) изделия, как базовая управленческая технология CALS. Приведена функциональная модель, описывающая основные процедуры управления конфигурацией изделия и связи между ними, ресурсы, используемые для выполнения процедур, роли и ответственности участников процесса. Однако приведенная модель недостаточно раскрывает вопросы по идентификации и формализации исходной информации, алгоритмам и методам синтеза конструкции изделия по заданным требованиям, а также способу хранения и обработки этой информации.

Вторая глава «Разработка методов и алгоритмов управления конфигурацией инновационной продукции» посвящена исследованию методических и теоретических аспектов технологии управления конфигурации изделий, разработке методов и алгоритмов синтеза и управления данными об изделии.

В результате исследования установлено, что в процессе разработки изделия по предъявленным требованиям технология управления конфигурацией выступает как механизм, с помощью которого осуществляется анализ и управление всеми данными о разрабатываемом изделии на протяжении всего ЖЦ изделия. Выходом процесса разработки изделия по предъявленным требованиям в контексте управления конфигурацией является документация, позволяющая определить и идентифицировать функциональные и физические характеристики изделия, а также информацию о его основных компонентах.

Объектом управления технологии УК является «объект конфигурации», представляющий собой некий образ, ассоциирующийся с техническим заданием на предпроектной стадии, конструкторским решением на стадии ОКР и информацией об изготовленном изделии на стадии производства.

Приведено математическое описание структурных отношений конфигураций изделия, заключающееся в том, что любая структура изделия может быть представлена древовидным графом, вершины которого соответствуют компонентам, а ребра – отношениям; расчет числа вариантов конфигурации с учетом правил совместимости компонентов может быть применена при обработке данных в программно-технической реализации технологии управления конфигурацией.

Разработанная методика синтеза конфигурации изделия заключается в том, что требования к изделию могут быть заданы в виде набора многомерных векторов  $h_j$ . Вектора требований нормируются и каждому из них задаются предельно возможные значения  $b_{\min j}$  и  $b_{\max j}$ . Компоненты векторов требований приводятся к диапазону [0,1]:

$$\tilde{h}_j = \frac{h_j - b_{\min j}}{b_{\max j} - b_{\min j}}.$$

В результате нормирования вектора требований будут иметь следующий вид:

$$\tilde{H}_{тр,n} = (\tilde{h}_{k_{(n-1)+1}}, \tilde{h}_{k_{(n-1)+2}}, \dots, \tilde{h}_{k_n}).$$

Любому из элементов этих векторов может быть назначен допуск  $\delta_i, i = 1 \dots k_n$ , который также нормируется. Полагая все компоненты векторов нормированными, будем считать, что геометрическая сумма допусков определяет  $\delta_i$  в соответствующем векторном пространстве вектор  $\Delta_j$ . Если в таком векторном пространстве построить вокруг точки, задаваемой концом вектора  $H_{тр,j}$ , сферу радиуса  $|\Delta_j|$ , то эта сфера определит область допустимых значений характеристик конструктивного элемента (рис. 1).

Для выполнения заданных требований имеются проектные решения, информация о которых хранится в базе данных предприятия. Каждое решение обладает собственным набором  $M_j$  характеристик. Размерность вектора  $M_j$  характеристик совпадает с размерностью вектора требований ( $H_{тр,j}$ ). Компоненты вектора характеристик, так же как и вектора требований, приводятся к диапазону  $[0,1]$  и имеют вид:

$$M_n^{(i)} = (m_{k_{(n-1)+1}}^{(i)}, m_{k_{(n-1)+2}}^{(i)}, \dots, m_{k_n}^{(i)}).$$

Для выбора решения необходимо определить модули разности нормированных векторов требований и характеристик:

$$\varepsilon_n^{(i)} = \sqrt{\sum_{l=k_{(n-1)+1}}^{k_n} (h_l - m_l^{(i)})^2}.$$

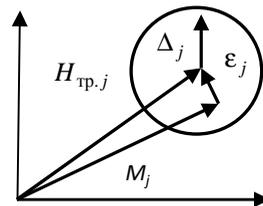
А затем выбрать минимальные значения модулей векторов разности:

$$\varepsilon_n^{(s_n)} \rightarrow \min\{\varepsilon_n^{(i)}\}.$$

Номера  $s_1, s_2, \dots, s_n$  показывают, какие из вариантов конструктивных реализаций компонентов должны рассматриваться в качестве «кандидатов» на включение в проектную конфигурацию изделия. Для принятия окончательного решения следует проверить условие:

$$\varepsilon_j^{(s_j)} \leq |\Delta_j|, j = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Выполнение этого условия графически представлено на рис. 1. Укрупненный алгоритм синтеза конфигурации изделия представлен на рис. 3.

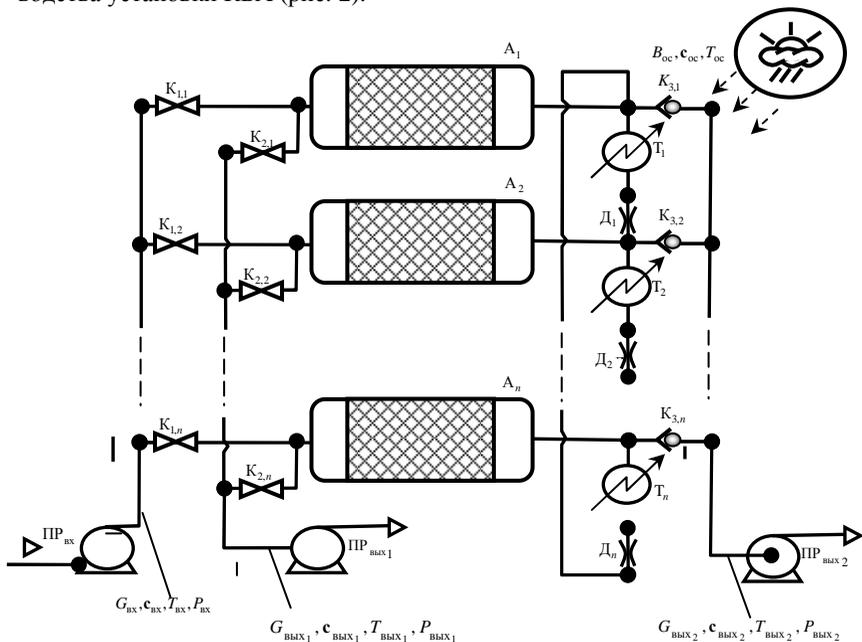


**Рис. 1. Векторы требований, характеристик и область допустимых значений**

Те конструктивные реализации элементов, для которых условия (1) выполнены, могут быть включены в структуру проектируемого изделия, иначе требуют принятия одного из двух решений:

- необходимо в соответствующем классе элементов искать такую конструктивную реализацию, для которой условие (1) будет выполнено;
- при отрицательном результате поиска или если использование найденного решения будет по каким-либо соображениям признано нецелесообразным, следует предпринять попытку внесения конструктивных изменений в один из имеющихся в базе данных вариантов реализации элемента с тем, чтобы обеспечить выполнение условия (1). В этом случае элемент подлежит декомпозиции, в соответствии с которой должен быть детализирован и вектор требований к элементу, на основе которого может быть сформулировано ТЗ на проектирование.

В работе в качестве примера рассматривается процесс создания и производства установки КБА (рис. 2).



**Рис. 2. Условная технологическая схема циклического адсорбционного процесса:**

- $A$  – адсорбер;  $K_{l,m}$  –  $l$ -й клапан для  $m$ -го адсорбера;  $D$  – дроссель;  
 $T$  – теплообменник;  $ПП$  – побудитель расхода;  $n$  – количество адсорберов;  
 $T$  – температура;  $B$  – барометрическое давление;  $G$  – расход газовой смеси;  
 $OC$  – окружающая среда;  $вх$  – величина на входе;  
 $вых_k$  – величина на  $k$ -м выходе

На основании методики синтеза конфигураций с учетом условий совместимости компонентов конструкции конечного изделия разработан алгоритм, схематично представленный на рис. 3.

Предложенные на базе математического описания технологии УК изделия методики представляют собой механизмы формирования и управления данными о конфигурации изделия на стадиях проработки контракта и технического задания. Методики разработаны применительно к следующей организационно-производственной ситуации. Базовое изделие и его разновидности уже созданы и выпускаются индивидуально или малыми партиями по предъявленным требованиям. Кроме того, в производстве освоены дополнительные компоненты, которые могут устанавливаться на все или некоторые разновидности изделия, или заменяются из систем этого ряда изделий.

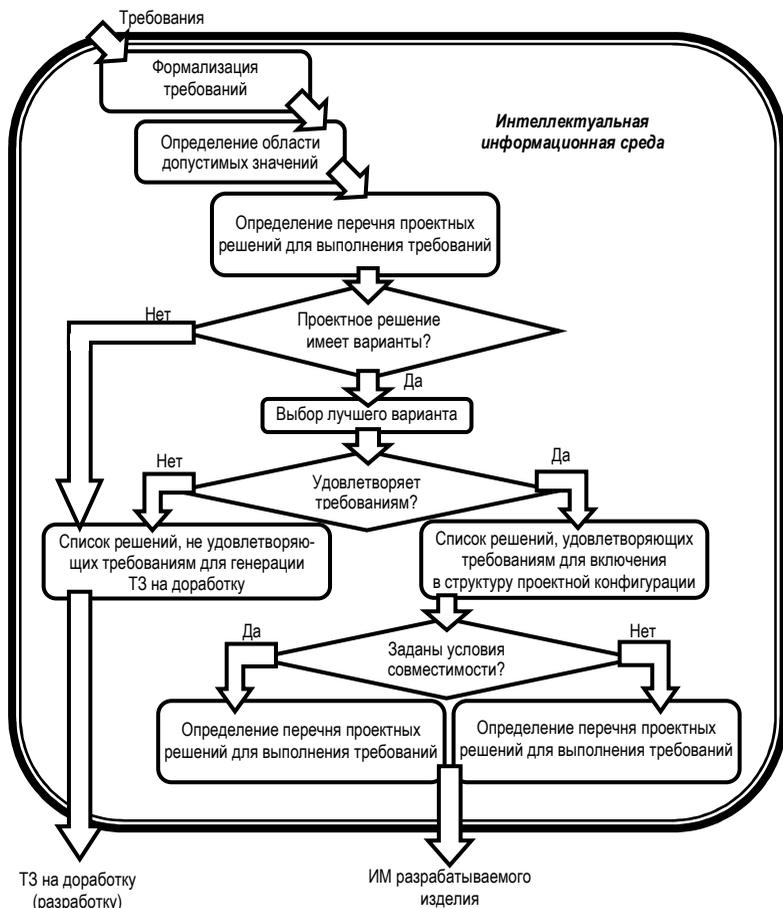


Рис. 3. Укрупненный алгоритм синтеза конфигурации с учетом совместимости

Информация о базовом изделии и его разновидностях, дополнительных компонентах, ранее выполненных проектах и связанной со всем этим документацией, хранится в электронном архиве, состоящей из трех разделов:

- архив готовых проектов, в котором хранится информация о ранее выполненных проектах;
- архив готовых решений по компонентам, в котором хранится информация о компонентах, устанавливаемых на изделия;
- БД по текущим проектам.

Разработаны следующие методики:

1. Методика управления данными о требованиях заказчика на стадии проработки технического задания и текущей документации, укрупненный алгоритм которой представлен на рис. 4. Методика позволяет решать следующие задачи:

- формализация требований;
- декомпозиция требований по основным компонентам изделия;
- выделение объекта конфигурации для последующего контроля выполнения требований;
- формирование и утверждение структуры изделия, удовлетворяющее требованиям.

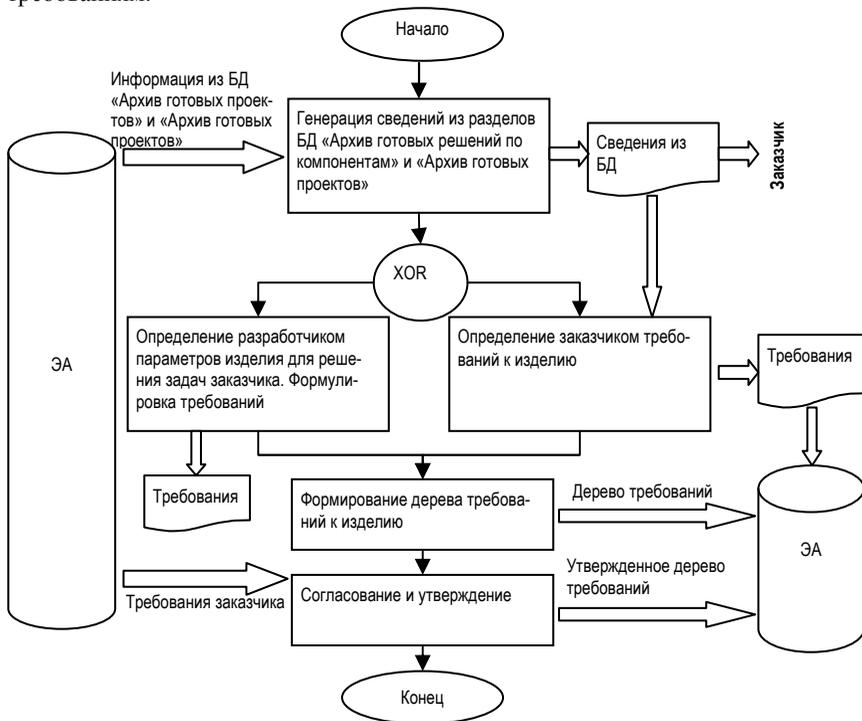


Рис. 4. Методика управления данными о требованиях заказчика

Методика синтеза конфигурации изделия на стадии отработки тактико-технических требований, укрупненный алгоритм которой представлен на рис. 5, позволяет решать следующие задачи:

- выбор базовой конструкции изделия;
- анализ конструкторских решений по компонентам, т.е. определение решений, для которых требуется доработка конструкции или разработка заново;
- сопоставление проектных характеристик заданным требованиям;
- формирование и утверждение конфигурации изделия.

Методика анализа конфигурации изготовленного изделия на стадии изготовления, укрупненный алгоритм которой представлен на рис. 6, позволяет решать следующие задачи:

- описание экземпляра для каждого изготовленного компонента изделия;
- сопоставление характеристик, получившихся в результате изготовления изделия, заданным требованиям.

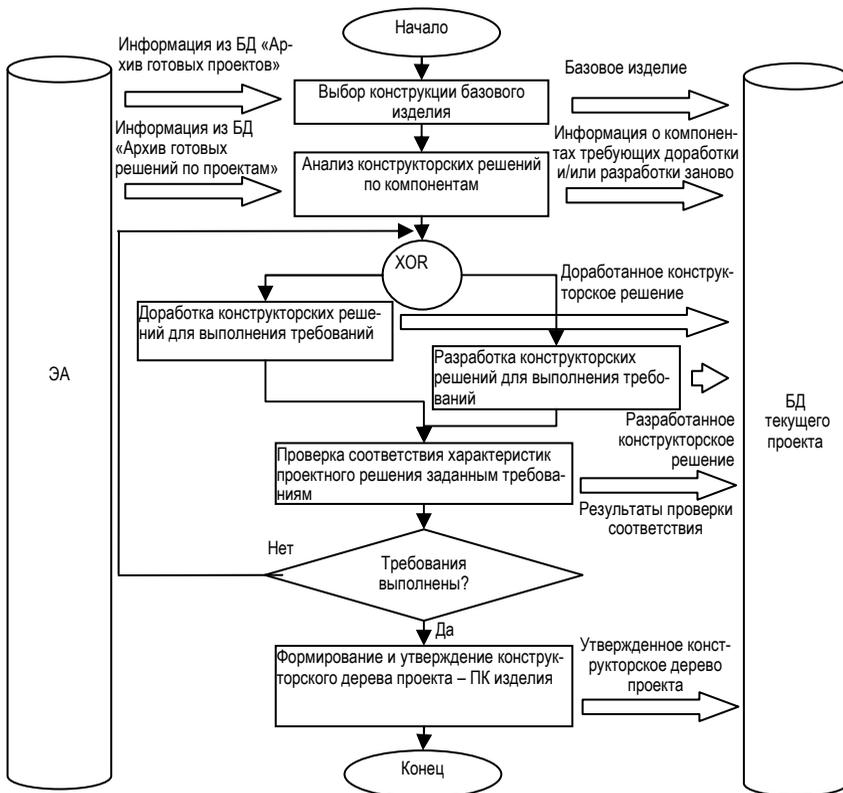
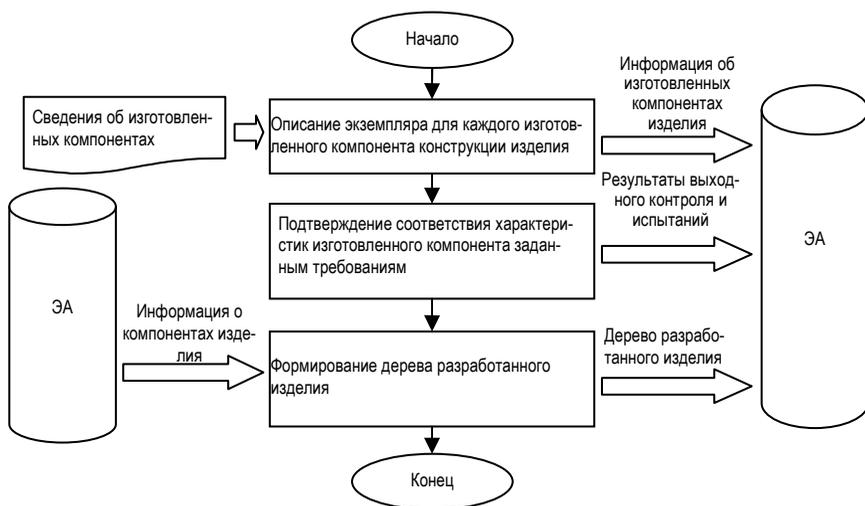


Рис. 5. Методика синтеза ТЗ изделия



**Рис. 6. Методика анализа конфигурации изготовленного изделия**

Изложенные выше методики стали основой для разработки общего алгоритма последовательности и взаимодействия процедур управления конфигурацией изделия в ИИС. Процедуры алгоритма приведены в приложении к диссертации.

Таким образом, во второй главе рассмотрены методы и алгоритмы управления интеллектуальной средой, основанные на применении технологии УК. Проанализированы основные сценарии УК в различных организационно-производственных условиях. Математическая постановка задачи УК позволяет формализовать процедуры контроля установленных требований к изделию, а также подходы к синтезу конкретной конфигурации изделия (подбору конструктивных решений) на основе заданных требований.

Разработанные методы и алгоритмы апробированы на примере установки КБА.

В третьей главе «**Разработка метода и алгоритма многокритериального выбора управленческих решений**» систематизирована информация об известных методах многокритериального выбора при нечетких данных, выявлены недостатки существующих подходов, сформулированы требования, предъявляемые к методам выбора лучшего решения при решении задач управления.

Проведен анализ методов многокритериального выбора лучшей альтернативы, учитывающий фактор нестатистической неопределенности, выявлены достоинства и их недостатки. В результате проведенного анализа сформулированы следующие требования к методу многокритериального выбора решений на основе обработки экспертных знаний в контексте поставленной цели работы:

- метод должен обеспечивать возможность учета субъективных оценок, отражающих мнения и предпочтения ЛПП (или группы экспертов) при

принятии решения в условиях недостатка информации, существования различных видов неопределенности. Эти субъективные оценки должны учитываться в качестве входных данных формального анализа и оценки вариантов решений;

- метод должен позволять находить лучшее решение при множественности критериев оценки с учетом мнений нескольких экспертов, обладающих различной ценностью для ЛПР. Если это необходимо, согласование групповых решений должно производиться на основе предпочтений ЛПР;

- метод не должен приводить к потере (искажению) данных, способных повлиять на конечный результат; точность вывода должна быть соизмерима с точностью исходных данных;

- должна существовать возможность его компьютерной реализации для включения СППР.

Поставлена и решена следующая задача. Имеется  $N$  альтернатив  $(A_i, i = 1, 2, \dots, N)$ . Требуется выбрать лучшую альтернативу  $A^*$  с учетом мнений  $Q$  экспертов  $(E_q, q = 1, 2, \dots, Q)$  об оценках альтернатив по критериям  $(C_j, j = 1, 2, \dots, J)$ . Каждый эксперт  $E_q$  дает оценку  $r_{ij}^q$  каждой альтернативе  $A_i$  по критерию  $Q$ . Критерии оценки различаются весами важности  $w_j^q$  заданными экспертами. В свою очередь мнения экспертов представляют различную ценность для ЛПР (руководителя), выраженную нечеткими отношениями предпочтения (степень предпочтительности одного эксперта другому)  $\mu(E_i, E_j)$ , где  $\mu(E_i, E_j)$  – число, описывающее степень выполнения предпочтения  $E_i > E_j$  («не менее важен»).

Разработанный метод ранжирования альтернатив включает следующие шаги:

1. Задание базовых шкал для оценивания по ним альтернатив и критериев.
2. Определение экспертами критериальных оценок альтернатив по заданным шкалам, задание «весов значимости» критериев. Задание ЛПР матрицы относительной важности экспертов.

Дальнейшие вычисления производятся СППР.

3. Вычисление значений нечетких отношений предпочтения  $p_j^k(k, l)$  каждого эксперта по каждому критерию  $j$  для каждой пары альтернатив  $(A_k, A_l)$ :

$$p_j^k(k, l) = \max \left\{ \frac{r_{kj}^q - r_{lj}^q}{m_j^q}; 0 \right\},$$

где  $r_{kj}^q$  и  $r_{lj}^q$  – нечеткие переменные, характеризующие оценки  $k$ -й и  $l$ -й альтернатив по  $j$ -му критерию экспертом  $q$ ;  $m_j^q$  – балльность шкалы оценок по  $j$ -му критерию.

4. Вычисление значений нечетких отношений предпочтения  $P^q(k, l)$  каждого эксперта с учетом всех критериев для каждой пары альтернатив  $(A_k, A_l)$ :

$$p^q(k, l) = \sum_{i=1}^j w_j^q p_j^q(k, l)$$

где  $w_j^q$  – значимость  $j$ -го критерия (нормированный вес), определенная экспертом  $q$ .

5. Определение нечетких подмножеств недоминируемых альтернатив для каждого эксперта.

Значение представляет собой степень, с которой альтернатива  $k$  не доминируется ни одной из альтернатив.

6. Вычисление единого нечеткого отношения предпочтения с учетом информации об относительной ценности экспертов:

$$\mu(A_k, A_l) = \max_{i, j = 1, \dots, Q} \min \{ \mu^{\text{H.Д.}}(A_k, E_i), \mu^{\text{H.Д.}}(A_l, E_j), \mu(E_i, E_j) \}; k = 1, \dots, N.$$

7. Определение нечеткого подмножества недоминируемых альтернатив на основании единственного нечеткого отношения предпочтения.

8. Определение лучшей альтернативы.

Последовательность шагов представлена на рис. 7. Обработка информации на этапах 3 – 5 может быть реализована параллельно согласно количеству экспертов.

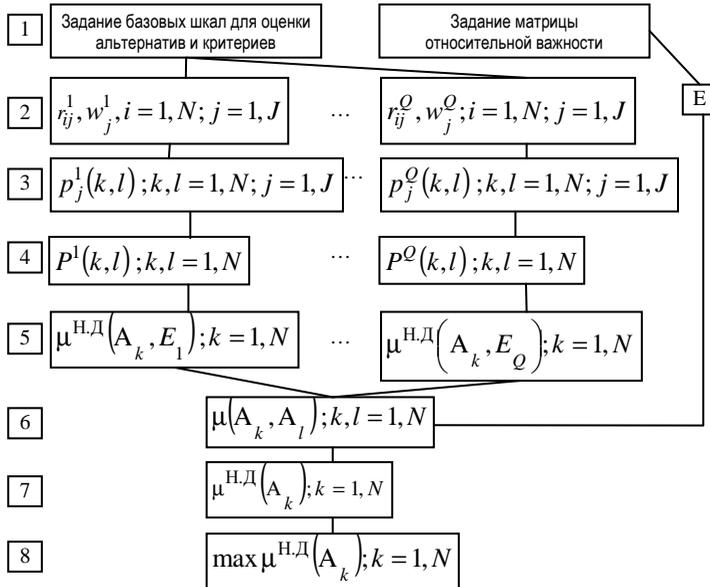


Рис. 7. Схема алгоритма выбора лучшей альтернативы

Предложенный метод отличают следующие возможности:

- обеспечивает учет субъективных оценок, отражающих мнения и предпочтения индивидуального ЛПР и группы экспертов для оптимальности принимаемого решения;
- от экспертов требуется минимальное количество информации в удобной для них форме;
- позволяет выбрать обоснованные решения даже при невозможности достичь единства взглядов группы экспертов на важность критериев;
- алгоритм удобен для компьютерной реализации, допускает распределение вычислительных процедур.

В четвертой главе «Алгоритмическое и программное обеспечение системы интеллектуальной информационной средой и системы поддержки принятия решений» проведен анализ методических основ формирования систем управления ИИС и ППР, разработаны требования к проектированию и программной реализации систем, осуществлено построение структурной и функциональной схем, приведен и раскрыт перечень обеспечений: математического, информационного, технического, лингвистического, методического и программного.

Разработана автоматизированная система управления ИИС предприятия, представляющая собой электронный архив (ЭА) технической документации и алгоритмы переработки хранящихся данных. ЭА предоставляет все необходимые данные для проектирования и разработки изделия, генерировать часть конструкторских документов в виде отчетов на основе данных об изделии, хранить информацию о проработке различных вариантов конструкции.

Разработана функциональная модель подсистемы управления ИИС в виде электронного архива (ЭА) технической документации, согласно ГОСТ Р 50.1.028–2001, с применением графического представления процессов IDEF0. Функциональная модель ЭА представлена на рис. 8 в виде древовидной структуры, узлами которой являются процессы. Иерархия этой структуры соответствует иерархии процессов функционирования ЭА. Разработаны и представлены в работе диаграмма декомпозиции I уровня функциональной модели ЭА технической документации. Для каждого процесса, представленного на рис. 8, разработана декомпозиция согласно IDEFX.

Представлена математическая модель разработанного ЭА, описанная с использованием теории множеств.



Рис. 8. Декомпозиция процессов функциональной модели ЭА

На рисунке 9 показана функциональная диаграмма поиска электронных документов в архиве технической документации.

Разработанная система управления ИИС и поддержки принятия решений построена по модульному принципу. Такая структура позволяет легко наращивать функциональность каждой отдельной подсистемы, не требуя вмешательства в другие. Система состоит из трех подсистем.

Подсистема управления данными о требованиях заказчика, позволяющая формализовать, декомпозировать и генерировать информационную модель требуемого изделия.

Подсистема синтеза конфигурации инновационного изделия производит поиск готовых проектов, удовлетворяющих заданным требованиям. При отсутствии таковых производит поиск базовой конструкции максимально отвечающей требованиям, проводит сопоставление характеристик, выделяет компоненты требующие модернизации или разработки.

Подсистема многокритериального выбора позволяет из множества решений, удовлетворяющих требованиям заказчика, выбрать лучшее за счет выделения и оценки частных показателей качества с учетом их весомости для потребителя и привлечения экспертов в этой области.

Скриншоты автоматизированной системы управления ИИС и поддержки принятия решений, на примере разработки проекта генератора кислорода на основе короткоцикловой безнагревательной адсорбции представлены на рис. 10.

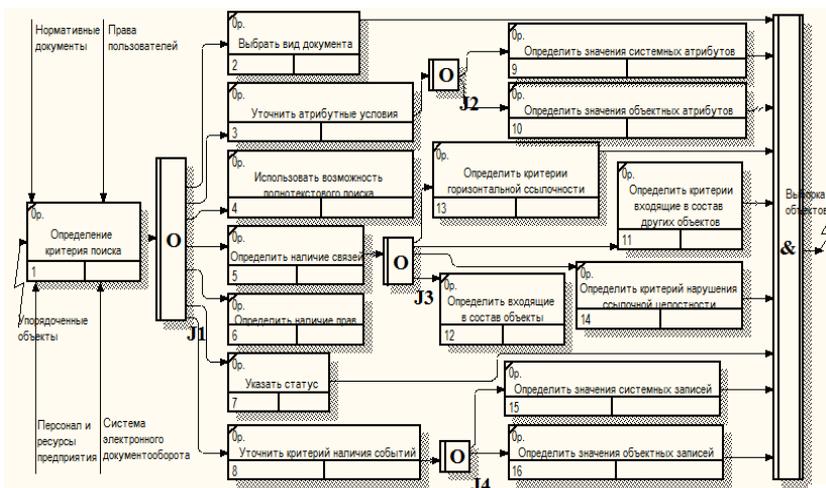
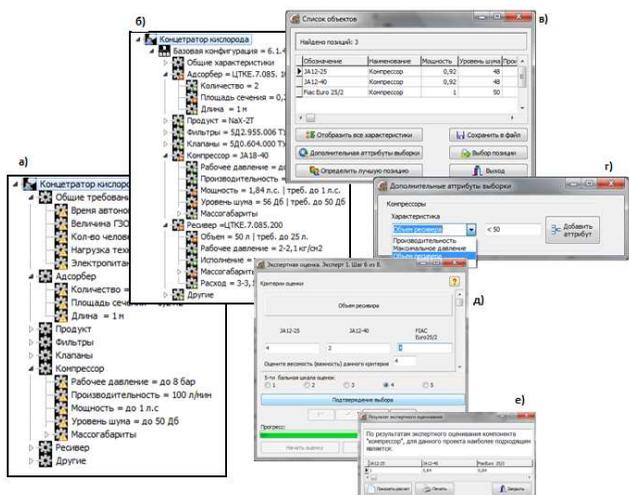


Рис. 9. Функциональная диаграмма поиска документов в ЭА



**Рис. 10. Скриншоты автоматизированной системы управления:**  
 а – дерево требований; б – дерево конфигурации базового изделия;  
 в – поиск компонентов; г – управление атрибутами поиска;  
 д – экспертная оценка альтернатив; е – результат экспертного оценивания

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Предложена методика интерактивного автоматизированного взаимодействия потребителя и разработчика продукции.

Предложены подходы к управлению качеством продукции на ранних стадиях проектирования.

Предложен механизм идентификации и формализации исходной информации для проектирования инновационной продукции.

Разработаны методы и алгоритмы автоматизированного синтеза конфигурации инновационного изделия, наиболее полно удовлетворяющего требованиям потребителей.

Разработаны методы и алгоритмы многокритериального ранжирования альтернативных конфигураций в условиях неопределенности при проектировании инновационной продукции.

Разработаны основы управления проектом создания инновационной продукции, построенные на основе технологии управления конфигурации изделия.

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение процессов управления проектированием инновационной продукции на примере установки КБА.

Разработанные методы и алгоритмы апробированы и внедрены в рамках интегрированной автоматизированной системы управления процессами разработки систем жизнеобеспечения и средств защиты органов дыхания ОАО «Корпорация «Росхимзащита».

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

*В периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ:*

1. Путин, П.Ю. Кодификация знаний о циклических адсорбционных процессах / П.Ю. Путин, В.Г. Матвейкин, С.С. Толстошеин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – Тамбов, 2010. – Т. 2, № 4 – 6(29). – С. 125 – 133. – 9 печ. л.

2. Путин, П.Ю. Управление проектами разработки и модернизации средств защиты / П.Ю. Путин, С.Б. Путин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов, 2008. – Т. 15. – 5 печ. л.

3. Путин, П.Ю. Принципы управления последовательностью проектов разработки средств защиты / П.Ю. Путин, С.Б.Путин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – Тамбов, 2008. – Т. 14. – 10 печ. л.

*Некоторые вопросы диссертационного исследования нашли отражение в других публикациях:*

1. Путин, П.Ю. Структурирование функции качества / П.Ю. Путин, В.Г. Матвейкин // Стратегия развития научно-производственного комплекса Российской Федерации в области разработки и производства систем жизнеобеспечения и защиты человека в условиях химической и биологической опасности : матер. Рос. науч. конф. – Тамбов, 2009 – С. 65–66.

2. Путин, П.Ю. Система поддержки принятия решений при разработке новых химико-технологических аппаратов и систем / П.Ю. Путин // IX Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. – Кемерово, 2008. – С. 92.

3. Путин, П.Ю. Разработка методов сопровождения инженерного творчества и поискового конструирования / П.Ю. Путин // IX Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. – Кемерово, 2008. – С. 93.

4. Путин, П.Ю. Система поддержки принятия решений, основанная на теории нечеткой логики / П.Ю. Путин // Фундаментальная наука – ресурс сохранения здоровья здоровых людей : матер. Всерос. науч. конгресса. – Тамбов, 2008. – С. 137–138.

5. Путин, П.Ю. Система поддержки принятия решений при разработке инновационного продукта / П.Ю. Путин // Фундаментальная наука – ресурс сохранения здоровья здоровых людей : матер. Всерос. науч. конгресса. – Тамбов, 2008. – С. 138.