

На правах рукописи



ГАВРИЛОВА Оксана Александровна

**ОПТИМИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ПОДГОТОВКИ АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО-РЕКУРРЕНТНОГО МЕТОДА**

Специальность:

**05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (в промышленности)**

АВТОРЕФЕРАТ

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

Уфа – 2014

Работа выполнена на кафедре технологии машиностроения ФГБОУ ВПО
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Научный руководитель

д-р техн. наук, проф.

СЕЛИВАНОВ Сергей Григорьевич

Официальные оппоненты

д-р техн. наук, проф.

АБДЕЕВ Ринат Газизьянович

заведующий кафедрой технологических
машин и оборудования Башкирского
государственного университета

канд. техн. наук, доц.

КИРЮШИН Олег Валерьевич

кафедра автоматизации технологических
процессов и производств Уфимского
государственного нефтяного
технического университета

Ведущая организация

Инновационная проектная компания
ООО «Electro Chemical Machining»
(г. Уфа)

Защита диссертации состоится 27. 03. 2015 г. в 10⁰⁰ часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03 на базе ФГБОУ ВПО
«Уфимский государственный авиационный технический университет»
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО
«Уфимский государственный авиационный технический университет»
и на сайте www.ugatu.su.

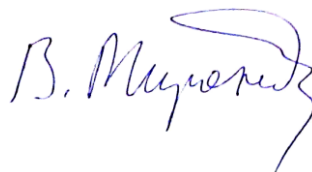
Автореферат разослан «__» _____ 20__ года.

Ученый секретарь

диссертационного совета

д-р техн. наук, проф.

В. В. Миронов



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Согласно указу Президента России «О долгосрочной государственной экономической политике» № 596 от 7 мая 2012 г. будет обеспечено: к 2020 году увеличение доли продукции наукоёмких и высокотехнологичных отраслей; модернизация и создание 25 млн. высокопроизводительных рабочих мест; к 2018 году повышение производительности труда в 1,5 раза по сравнению с уровнем 2011 года.

Правительством Российской Федерации в плане сказанного утверждены основные государственные программы долгосрочного экономического развития, а также произведена увязка отраслевых стратегий и целевых программ с приоритетными пилотными проектами, а также технологическими платформами инновационных территориальных кластеров.

Значительная доля названных работ на машиностроительных предприятиях относится к технической подготовке производства новой конкурентоспособной продукции. В этой связи актуальными и прогрессивными направлениями работ являются не только мероприятия по модернизации машиностроительного производства, но и разработки по совершенствованию автоматизированных систем технической подготовки производства (АСТПП) в авиадвигателестроении.

Повышение конкурентоспособности изделий на внутреннем и внешнем рынках требует от предприятий отечественного машиностроения особого внимания не только к постановке на производство новых конкурентоспособных изделий, совершенствованию АСТПП, но и к разработке и внедрению в плане сказанного систем бережливого производства. Внедрение систем бережливого производства, решение задач постановки на производство новых изделий, решение проблем импортозамещения все чаще предусматривает применение современных методов разработки инновационных технологий в рамках АСТПП, в том числе с использованием средств искусственного интеллекта.

Применение методов искусственного интеллекта для оптимизации инновационных технологий (в том числе высоких и критических; креативных и ключевых технологий; проектных, перспективных и директивных технологических процессов) в целях модернизации машиностроительного производства позволяет снизить технологическую себестоимость, повысить производительность труда, решить другие важные задачи ресурсосбережения, что является важной предпосылкой к выпуску конкурентоспособной продукции.

Основными направлениями разработки технологических инноваций в АСТПП является проектирование материало-, фондо-, трудо-, энерго-, и других ресурсосберегающих технологий. Отсюда следует, что задача многокритериальной оптимизации инновационных технологий на основе применения средств искусственного интеллекта для технологического (технического) перевооружения производства является актуальной.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами совершенствования АСТПП авиадвигателестроительного и машиностроительного производства занимались многие российские ученые, такие как В. В. Бойцов, А. И. Дашенко, Н. М. Султан-Заде, И. А. Ивашенко, А. В. Аверченков, В. Г. Митрофанов, А. П. Соколов-

ский, А. А. Кутин, Л. А. Козлов, В. В. Павлов, С. Г. Селиванов, В. Д. Цветков и другие. Решению задач, связанных с проектированием и реконструкцией промышленных предприятий посвятили свои разработки Е. С. Ямпольский, А. Г. Схиртладзе, В. А. Тихомиров, Ю. М. Соломенцев и другие.

Однако, не смотря на существующие достижения и значительный вклад ученых в данной области исследования, еще не в полной мере рассмотрены вопросы поддержки принятия решений при проектировании инновационных технологий в проблемно-ориентированной АСТПП и подходы к решению проблем технической подготовки производства.

Объектами исследования данной диссертации являются АСТПП машиностроения, в том числе система управления инновационными проектами технического перевооружения и реконструкции действующего авиадвигателестроительного производства.

Предметом исследования являются новые методы и модели для их использования в АСТПП при решении задач оптимизации проектных и перспективных технологических процессов, трансферта высоких технологий и внедрения инновационных технологий в авиадвигателестроении, в частности:

- функционального моделирования АСТПП для автоматизации управления проектами разработки технологических инноваций;
- системного анализа, математического моделирования и применения средств искусственного интеллекта для совершенствования АСТПП;
- оптимизации и верификации инновационных технологий по критериям ресурсосбережения для решения задач автоматизированной разработки комплектов проектной технологической документации в инновационном проектировании.

Цель работы. Целью данного диссертационного исследования является разработка нового вероятностно-рекуррентного метода оптимизации инновационных технологий на основе интеллектуализации решения прикладных задач в АСТПП, что обеспечивает системный анализ, математическое моделирование и оптимизацию проектно-технологических решений при разработке инновационных проектов технологического (технического) перевооружения машиностроительного производства.

Задачи исследования:

1. Построение функциональной модели проблемно-ориентированной АСТПП средствами *IDEFO* для разработки на этой основе информационных и инновационных технологий инжиниринга, трансферта высоких технологий и их внедрения в производство.

2. Разработка экспертно-логического метода обоснования инновационных технологий в виде предварительных проектов технологической документации и использования единых технологий изделий новых поколений;

3. Разработка вероятностного метода кластеризации деталей авиационных двигателей для анализа их новизны и выбора объектов инновационного проектирования в проектах технического (технологического) перевооружения производства.

4. Разработка вероятностно-рекуррентного метода математического моделирования и многокритериальной оптимизации проектных технологических процессов в инновационном проектировании технического (технологического) перевооружения авиадвигателестроительного производства.

5. Разработка электронных баз данных и использование средств искусственного интеллекта для выбора проектных технологических процессов изготовления деталей авиационных двигателей.

6. Имитационное моделирование, автоматизация разработки комплектов проектной документации инновационных проектов технического (технологического) перевооружения производственных участков авиадвигателестроительного предприятия и оценка ее эффективности.

Методология и методы исследования. Методологическую основу для решения поставленных задач определяет использование теории графов, методов функционального и математического моделирования, статистических методов для определения уравнений регрессии, верификации и оценки рисков инновационных проектов, методов кластерного анализа, средств искусственного интеллекта для выбора объектов технологического проектирования и многокритериальной оптимизации инновационных технологий, а также имитационного моделирования инновационных проектов технологического (технического) перевооружения производства.

На защиту выносятся:

1. Функциональная модель АСТПП, ориентированная на инновационное проектирование, разработку проектных и перспективных ресурсосберегающих технологических процессов в инновационных проектах технического (технологического) перевооружения машиностроительного производства;

2. Экспертно-логический метод выбора инновационных технологий для обоснования предварительных проектов технологической документации;

3. Вероятностный метод кластеризации деталей авиационных двигателей для анализа их новизны, определения номенклатуры деталей и объектов инновационного проектирования в проектах технического (технологического) перевооружения производства;

4. Вероятностно-рекуррентный метод многокритериальной оптимизации проектных и перспективных технологических процессов, основанный на комплексном применении по новому назначению: метода нечеткой логики для обоснования предварительных комплектов технологической документации; вероятностной нейронной сети (*PNN*) для кластеризации деталей авиационных двигателей; рекуррентной нейронной сети Жордана для оптимизации по параметрам ресурсосбережения проектных и перспективных технологических процессов; методов Монте-Карло и оценки технологических рисков для верификации разрабатываемых инновационных технологий авиадвигателестроительного производства;

5. Установленные в диссертации новые математические модели, регрессионные и статистические зависимости, полученные для решения функциональных задач проблемно-ориентированной на инновационную деятельность АСТПП в целях: выбора объектов технологического проектирования и оптимизации проектных технологических процессов изготовления деталей; разработки технологической документации инновационных проектов; оценки законов распределения проектных параметров инновационных технологий для анализа показателей ресурсосбережения;

6. Результаты применения разработанного вероятностно-рекуррентного метода оптимизации проектных и перспективных технологических процессов изготовления деталей на примере производства шестерен вертолетных двигателей, базы

данных и программные продукты для обеспечения АСТПП на основе применения вероятностно-рекуррентного метода.

Научная новизна.

1. Разработана новая функциональная модель для автоматизации технической подготовки производства в авиадвигателестроении, полученная путем связанного использования в проектах автоматизированных систем: *BPWin*, *MATLAB*, *MS Excel*, *MS Access*, *MS Project*, *Project Expert 7.0*, КОМПАС, *AutoCAD*, *Techcard* и др. для системотехнического проектирования технологических инноваций, которая отличается тем, что она адаптирована к инновационному проектированию технического (технологического) перевооружения машиностроительного производства; модель включает трансферт новых высоких технологий; инжиниринг и внедрение проектных технологических процессов, которые требуют комплексной оптимизации их разработки.

2. Новизна вероятностно-рекуррентного метода разработки инновационных технологий заключается в определении оригинальных путей и способов оптимизации решения комплекса функциональных задач АСТПП на основе применения по новому назначению: теории графов, вероятностных и рекуррентных нейронных сетей для совместного кластерного анализа деталей и выбора оптимальных ресурсосберегающих проектных технологических процессов в целях инновационного проектирования технического (технологического) перевооружения производства.

3. Новые закономерности в виде регрессионных зависимостей для изготовления зубчатых колес и для разработки в АСТПП инновационных технологий отличаются от известных закономерностей тем, что позволяют определить локальные экстремумы для решения задачи многокритериальной оптимизации проектно-технологических решений с помощью разработанного вероятностно-рекуррентного метода.

4. Разработанный для применения в рамках вероятностно-рекуррентного метода оптимизации инновационных технологий экспертно-логический метод трансферта высоких технологий является новым в задачах формирования единых технологий изготовления деталей авиационной техники, в том числе вертолетных авиационных двигателей. Он отличается тем, что выполнен на основе совместного использования теории графов и нечеткой логики по новому назначению, при обработке электронной базы данных патентов, зарегистрированных как в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, так и за рубежом.

Теоретическая и практическая значимость работы. Практическая значимость работы подтверждена актами о внедрении результатов работы в авиадвигателестроении на ОАО «УМПО» и определяется разработкой в АСТПП комплекта проектной технологической документации изготовления деталей типа «шестерни» для вертолетных двигателей на основе использования нового метода математического моделирования и оптимизации. Практическая значимость работы подтверждена также актами о внедрении результатов работы в инжиниринговой многопрофильной компании ООО «Бозон». Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет по дисциплине «Инновационные процессы в технологии машиностроения».

Достоверность и апробация результатов. Основные положения диссертационного исследования использованы при выполнении следующих НИР:

1. № 2.1.2/484 «Методология системного проектирования, испытаний, доводки и поддержки в эксплуатации сложных технических объектов (двигателей и энергоустановок) на основе анализа рабочих процессов, имитационного и CAD/CAE-моделирования, PDM и SCADA-технологий» в рамках программы «Развитие научного потенциала высшей школы»;
2. № 7.4604 «Разработка методов искусственного интеллекта для оптимизации мехатронных технологий»;
3. № АТ-ТМ-15-09-03/б. «Математическое моделирование и оптимизация инновационных технологий».

Основные положения работы докладывались на научно-технических конференциях:

- *Computer Science and Information Technologies (CSIT-2013, г.Вена, г. Будапешт, г. Братислава)*;
- Инновации, проблемы машиноведения в производстве в РБ, г.Уфа, Академия наук РБ, 2012;
- VIII Международная научно-практической конференция «Регионы России: стратегии и механизмы модернизации, инновационного и технологического развития», г.Москва, ИНИОН Российской академии наук, 2012;
- Всероссийская научно-техническая конференция молодых специалистов, г.Уфа, УМПО, 2012;

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликованы 15 работ: монография; 6 научных статей в журналах из перечня ВАК; 3 статьи на английском языке в международных изданиях (США, Австрия), 5 публикаций в других научных изданиях.

Получено 1 авторское свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, библиографического списка из 140 наименований и приложений. Основная часть работы (без библиографического списка и приложений) изложена на 142 страницах машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, научно-методический уровень исследования, отмечена новизна и практическая ценность выносимых на защиту результатов.

В первой главе проведен анализ методов оптимизации проектно-технологических решений, применяемых в автоматизированных системах технической подготовки производства (АСТПП), а также рассмотрен системотехнический подход к решению оптимизационной задачи на основе математического моделирования для совершенствования АСТПП, внедрения продуктовых и технологических инноваций.

Аналитический обзор существующих методов математического моделирования и оптимизации в АСТПП технологических процессов (методов теории статистических решений, динамического программирования, генетических алгоритмов и нейронных сетей) позволил рассмотреть положительные и отрицательные стороны

каждого из методов, а также указать на возможности их развития в направлении разработки инновационных технологий, в том числе инжиниринга, трансферта технологий и их внедрения с помощью инновационного проектирования.

В ходе анализа возможностей для применения методов оптимизации и совершенствования инновационных технологий было установлено, что в авиадвигателестроении вопросы, связанные с проектированием оптимальных технологических процессов, рассматривают не всегда, часто в проектах преобладают только рецептурные улучшения технологических процессов, а не методы системотехнического проектирования с помощью АСТПП.

Анализ существующих методов решения поставленной задачи также показал, что применяемые в ряде случаев математические модели не являются исчерпывающими и имеют множество ограничений. Например, в моделях динамического программирования возникает проблема размерности, которая является серьезным препятствием при нахождении решений, поэтому более предпочтительными методами для многокритериальной оптимизации проектных и перспективных технологических процессов являются методы искусственного интеллекта. Анализ методов искусственного интеллекта для решения названных задач в проблемно-ориентированной на инновационную деятельность АСТПП показал, что существующие в данный момент методы оптимизации решают лишь определенный спектр специфических задач, они не являются достаточными. Например, методы генетических алгоритмов и логико-генетический метод нашли локальное применение для оптимизации только фондосберегающих технологических процессов, другим их недостатком является отсутствие возможностей применения для кластеризации, т. е. классификации и группирования деталей. Применение нейронных сетей Хопфилда и Элмана для многокритериальной оптимизации технологических процессов не учитывало применение закономерностей теории вероятностей и математической статистики в системном анализе новых технологий. Вследствие сказанного, главной целью данного диссертационного исследования является разработка нового вероятностно-рекуррентного метода для совершенствования АСТПП и оптимизации инновационных проектов технического (технологического) перевооружения производства.

Во второй главе на основе стандартов *IDEFO* выполнена разработка функциональной модели проблемно-ориентированной на инновационную деятельность АСТПП и блок-схемы ее функций для разработки инновационных технологий, трансферта технологий, оптимизации проектных технологических процессов и их внедрения в производство в инновационных проектах технического (технологического) перевооружения.

В разработанной функциональной модели проблемно-ориентированной на инновационное проектирование АСТПП (рис. 1) проработаны функции и задачи трансферта инновационных технологий, взаимодействия предприятий с инжиниринговыми компаниями, ориентированными на инновационную деятельность, процедуры внезаводской и заводской технической подготовки производства. Эта модель отличается от известных тем, что обеспечивают системную увязку различных процессов обоснования инновационных технологий от разработки единых технологий до оптимизации комплектов документации проектных технологических

процессов в условиях инновационного проектирования и технического перевооружения производства.

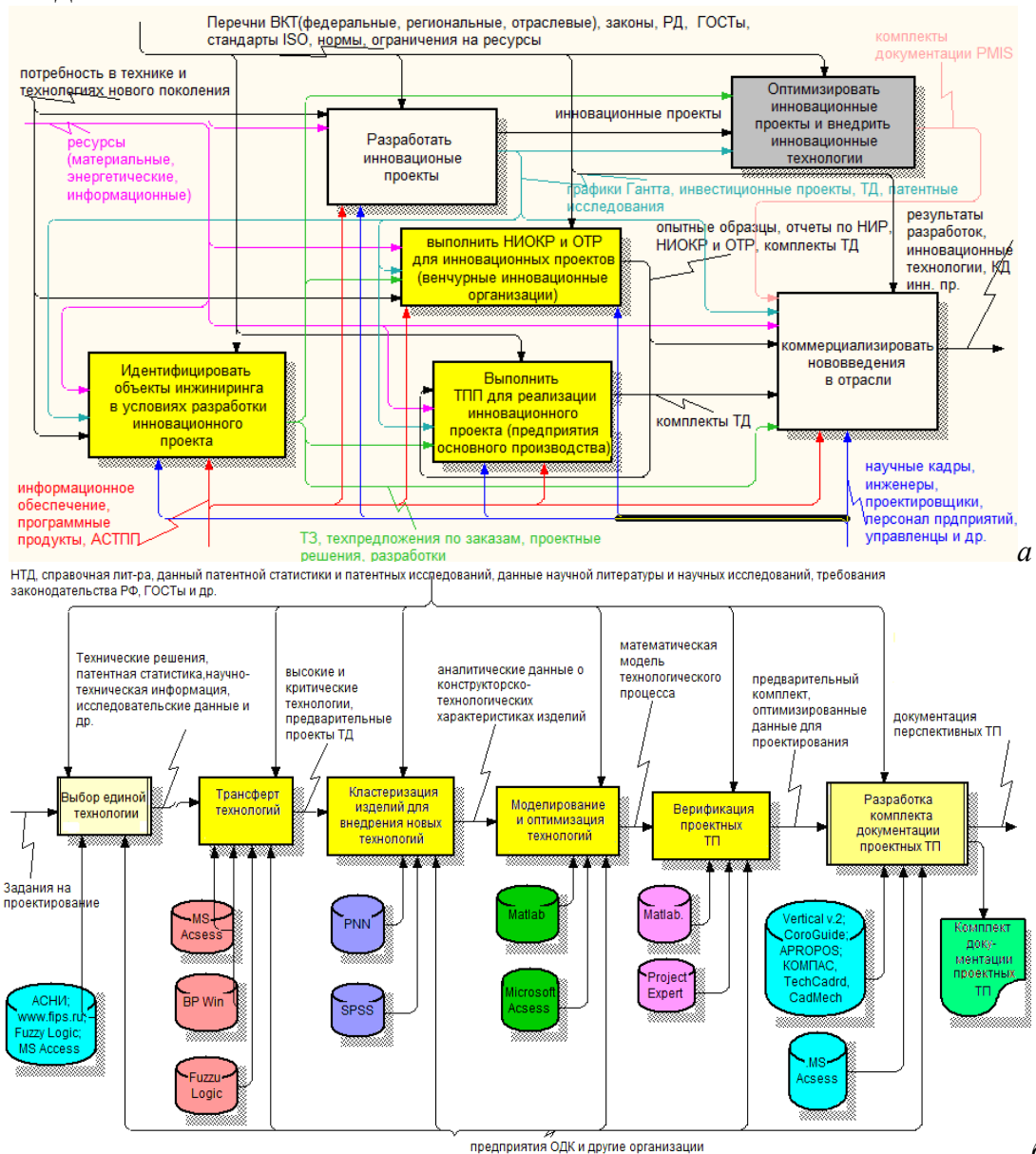


Рисунок 1 – Блок-схема функций (а) и задач оптимизации управления инновационными проектами (б) в рамках АСТПП, ориентированной на разработку инновационных технологий

Предложенный для оптимизации управления инновационными проектами новый метод системного анализа инновационных технологий, отличается применением гибридных вычислений: логика решения задач в данном методе определяется графом (рис. 2) с обоснованием параметров по каждой вершине графа:

а) экспертами на этапах трансферта технологий и разработки предварительных проектов технологической документации с помощью нечеткой логики (рис. 2, 3);

б) расчетами технически обоснованных параметров с помощью методов теории вероятностей и математической статистики для структурной оптимизации инновационных технологий и с помощью рекуррентной нейронной сети (рис. 2, рис. 4 – 12) на этапах разработки проектных технологических процессов.

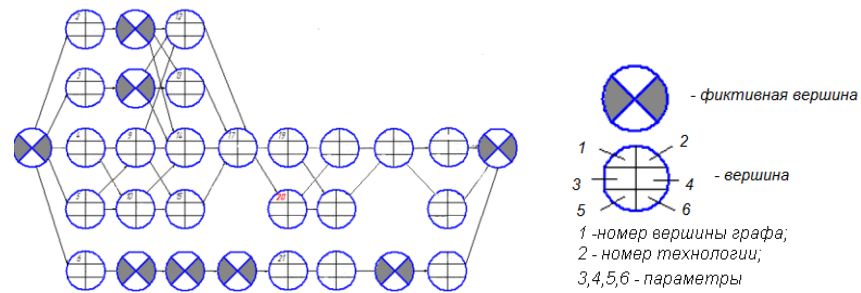


Рисунок 2 – Структурная многовариантная модель (граф) для выбора технологии на основе использования лучших отечественных и зарубежных разработок

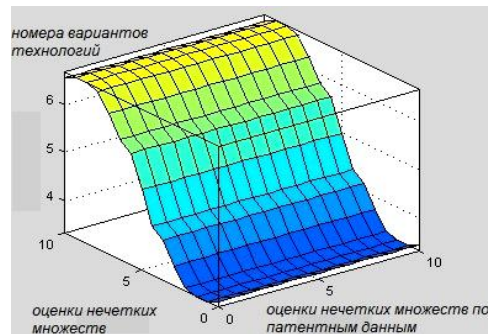


Рисунок 3 – Поверхность для выбора высоких технологий с учетом их трансферта для разработки предварительных технологических проектов

Разработка и исследование в данной диссертации решения поставленной задачи с помощью вероятностно-рекуррентного метода оптимизации инновационных технологий начинается с кластерного анализа для группирования деталей в целях определения производственной программы реконструируемого цеха и проектируемого производственного участка изготовления деталей авиационных двигателей. Выполнение таких работ с помощью вероятностной нейронной сети (рис. 4) показало, что для сложных изделий, например, вертолетных газотурбинных двигателей (ВГТД), детали не всегда можно точно отнести к тому или иному классу, подклассу, виду, группе или типу. Их классификационные характеристики могут соответствовать нескольким классам (группам или типам одного класса) одновременно, что создает неопределенности в решении задач инновационного проектирования. Преодолеть данную проблему позволяет кластерный анализ, который дает возможность с помощью вероятностной нейронной сети оценить новизну деталей, подлежащих постановке на производство, и более рационально распределить детали на группы по выбранным признакам в условиях существования неопределенностей.

В ходе анализа существующего производства (изготовления зубчатых колес коробок приводов агрегатов ГТД) было установлено, что решение задачи кластеризации позволяет обоснованно рассчитать производственную программу путем:

- закрепления части типовых деталей шестерен ВГТД за существующими производственными участками изготовления аналогичных зубчатых колес ГТД путем использования типовых технологических процессов;

- обоснования номенклатуры нетиповых шестерен ВГТД для создания специализированного участка изготовления таких деталей только для вертолетной техники.

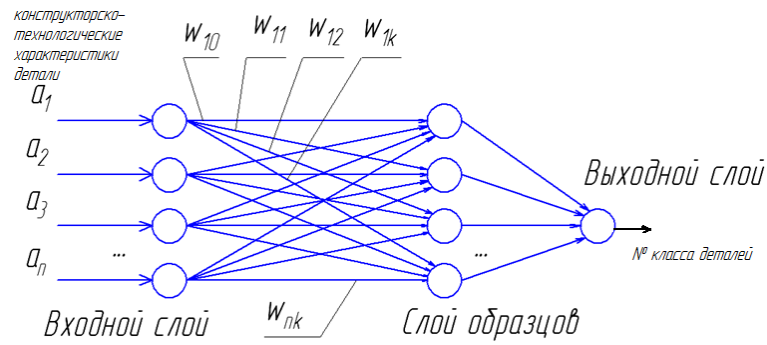


Рисунок 4 – Структура вероятностной нейронной сети

В результате нейросетевой кластеризации были получены множества деталей с элементами зубчатого зацепления, которые являются зубчатыми колесами исключительно вертолетной техники. На рис. 5 эти детали выпадают из поля точек прямоугольной сетки линий (типовых деталей газотурбинных двигателей существующего производства зубчатых колес).

Поле классификации деталей с элементами зубчатого зацепления

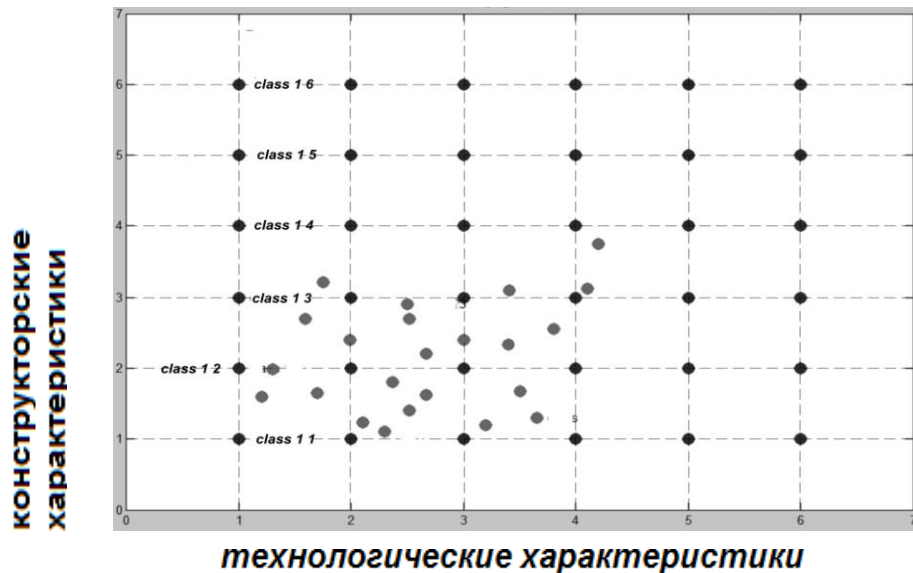


Рисунок 5 – Поле классификации деталей, полученное с помощью вероятностной нейронной сети (каждая точка является деталью)

Достоверность полученных результатов была обоснована с помощью алгоритма *K-means*, статистического иерархического кластерного анализа в программном пакете *SPSS* и статистических данных (рис. 6), где представлены вероятностные распределения по характеристикам классифицируемых деталей ВГТД, которые можно использовать для обучения нейронной сети.

Появление в ходе системного анализа данных о нетиповом массиве зубчатых колес (шестерен) и является предпосылкой создания специализированного участка в цехе для изготовления деталей вертолетной техники. Для названных нетиповых деталей должен быть выполнен полный объем работ по технологической подготовке производства и разработаны проектные технологические процессы, которые в данной диссертации рекомендуется оптимизировать с помощью предложенного вероятностно-рекуррентного метода.

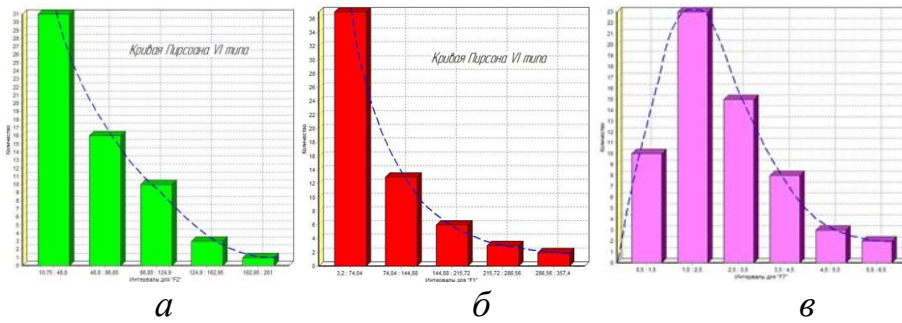


Рисунок 6 – Распределения Пирсона по конструкторско-технологическим характеристикам шестерен ВГТД: *а* – по диаметральному размеру, *б* – по длинным размерам, *в* – по модулям зубчатых венцов

В третьей главе вероятностно-рекуррентный метод обоснования инновационных технологий применен для многокритериальной оптимизации проектных технологических процессов. В этой связи, на основе результатов кластеризации и определения групп изделий, подлежащих постановке на производство, для деталей–представителей кластеров рекомендуется использовать разработанный в диссертации вероятностно-рекуррентный метод.

Основой метода являются гибридные модели, созданные путем комплексного применения теории графов в сочетании с методами искусственного интеллекта. Они объединены в общую вычислительную систему для анализа и синтеза инновационных технологий в виде маршрутных карт проектных технологических процессов в целях многокритериальной оптимизации проектных технологических процессов с использованием рекуррентной нейронной сети Жордана (рис. 7).

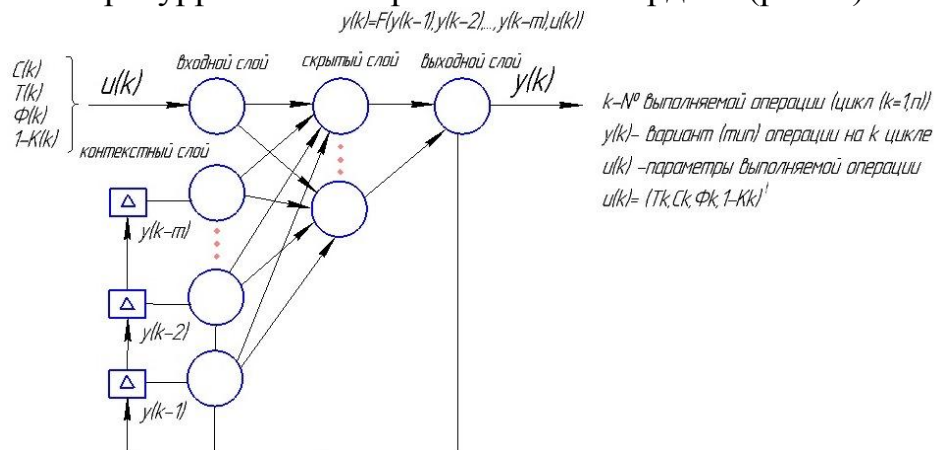


Рисунок 7 – Структура сети Жордана

Структура названной сети позволяет запоминать последовательности выполняемых действий над объектами и накапливать информацию для выбора необходимого варианта решения поставленной задачи многокритериальной оптимизации проектного технологического процесса согласно выбранным критериям оптимизации, которые имеют локальные экстремумы (рис. 8 – 11). Для структурной оптимизации проектного технологического процесса разработанный метод использует сетевой граф, созданный на основе базовой технологии изготовления шестерен и дополненный другими вершинами-операциями. Эти новые вершины графа предусматривают: изменение плана обработки; обновление парка оборудования; применение

мехатронных технологий; внедрение новых средств технологического оснащения для скоростной и высокоскоростной обработки; применение новых методов и режимов обработки; внедрение новых патентов на прогрессивные устройства и способы, использование других высоких и критических технологий.

После формирования сетевого графа можно перейти к многокритериальной оптимизации. Для решения данной задачи определена целевая функция (1), где T_i , C_i , Φ_i , K_i – оптимизируемые параметры, а μ_i – весовые коэффициенты, обозначающие «важность» заданного критерия оптимизации.

$$f = \sum_{i \in I} f_i = \sum_i [\mu_1 \cdot T_i + \mu_2 \cdot C_i + \mu_3 \cdot \Phi_i + \mu_4 \cdot (1 - K_i)] \rightarrow \min \quad (1),$$

где $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ – множество номеров на пути маршрута, а n – количество слоев графа.

В качестве параметров численной оценки проектного технологического процесса использованы: затраты (C), время изготовления детали (T), фондоемкость (капиталовложения в запасы оборудования, технологической оснастки и площади (Φ) – это минимизируемые критерии, а также максимальный коэффициент использования материала – Ким (K) в перспективном технологическом процессе изготовления изделия.

Таким образом, с помощью совместного применения сетевого графа и нейронной сети Жордана можно определить Парето-оптимальный технологический процесс изготовления деталей в виде маршрутной карты проектного (перспективного) технологического процесса.

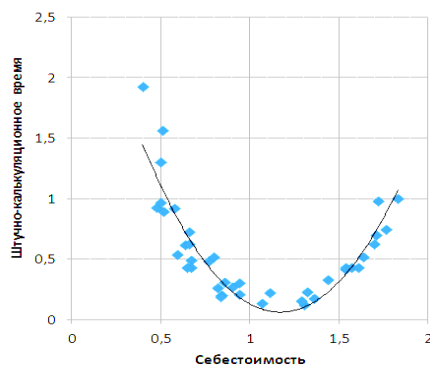


Рисунок 8 – Зависимость «штучно-калькуляционное время – себестоимость»

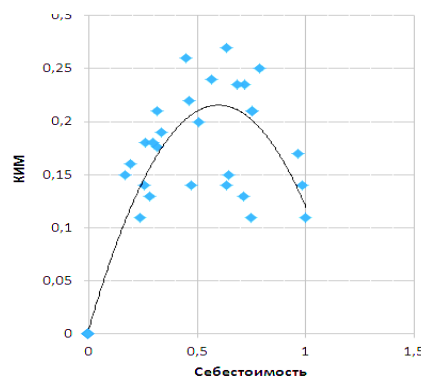


Рисунок 9 – Зависимость «Ким – себестоимость»

Важной особенностью вероятностно-рекуррентного метода является то, что он использует не экспертные или табличные данные типовых технологических процессов, а статистически обоснованные данные для оптимизации проектных технологических процессов. В этой связи для условий реального производства и реализации нового метода оптимизации был проведен ряд экспериментов с измерением времени выполнения технологических операций (как одного из основных

критериев оптимизации) при изготовлении деталей типа «шестерня» (рис. 12). Для анализа достоверности результатов выбора оптимального варианта технологического процесса был проведен анализ результатов оптимизации проектных технологических процессов на основе моделирования инновационных технологий с использованием метода Монте-Карло и оценки научно-технических рисков.

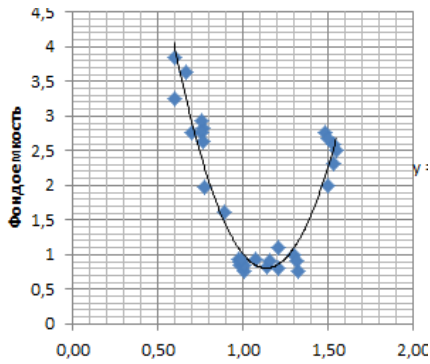


Рисунок 10 – Зависимость «себестоимость – фондоемкость»

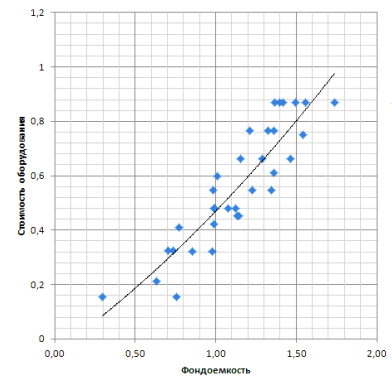


Рисунок 11 – Зависимость «Стоимость оборудования – фондоемкость»

Для решения задачи верификации инновационных технологий с помощью метода Монте-Карло были проанализированы варианты новых технологических процессов, которые получены после их оптимизации с помощью вероятностно-рекуррентного метода. Каждый из вариантов инновационных технологий, находящихся в области приближенной к Парето-оптимальному варианту, может быть использован в производстве, но технологические процессы, приближенные к оптимальному варианту являются более предпочтительными для дальнейшей разработки комплекта документации проектного технологического процесса.

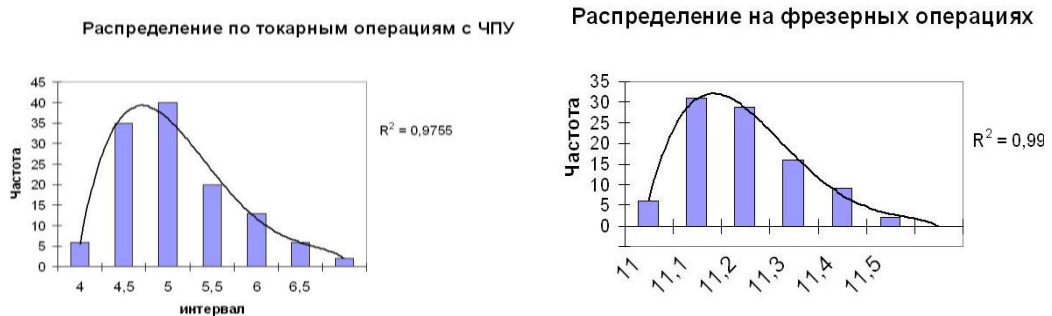


Рисунок 12 – Вероятностные распределения Пирсона по времени обработки детали типа «шестерня» на технологических операциях, описываемые в общем виде уравнением $y=y_0(x-a)^{m_1} * x^{-m_2}$, где $m_2 > m_1 + 1$, причем $0 < m_1 < 1$, для области определения $(a; +\infty)$.

В результате машинного эксперимента были получены аналогичные рис.12 распределения вариантов инновационных технологий и по другим характеристикам, на основании которых можно делать вывод о целесообразности выбора того или иного варианта плана обработки (маршрута проектного технологического процесса) детали-представителя группы (кластера деталей). Полученные статистические зависимости позволяют оценить вероятность неудовлетворительных исходов и оценить Парето-оптимальный путь на графе (вариант инновационной технологии) для всего технологического процесса по критерию риска. При этом важно заметить, что оценки риска при верификации инновационной технологии позволяют также учесть статистику брака для выбора проектного технологического процесса. В частности, было установлено, что плотность распределения вероятностей отрицательных результатов выполнения технологических операций (брак) при изготовлении детали подчиняется закону распределения Пирсона (рис.13). На основании результатов

многокритериальной оптимизации и верификации инновационной технологии (проектного технологического процесса) изготовления деталей-представителей групп (кластеров) можно приступить к типовой процедуре оформления комплектов документации проектных (перспективных) технологических процессов.

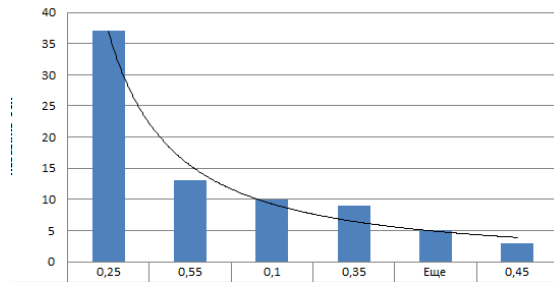


Рисунок 13 – Вероятностное распределение Пирсона по рискам для верификации технологических процессов изготовления деталей типа «шестерня»

В четвертой главе на базе вероятностно-рекуррентного метода для этапа внедрения инновационной технологии была выполнена разработка комплекта проектной технологической документации изготовления деталей типа «шестерня». В этом плане были разработаны информационные модели стандартных процедур по разработке комплектов технологической документации, которые дополнены новыми электронными базами данных для трансфера технологий (рис. 14), выбора прогрессивного технологического оборудования и других средств технологического оснащения.

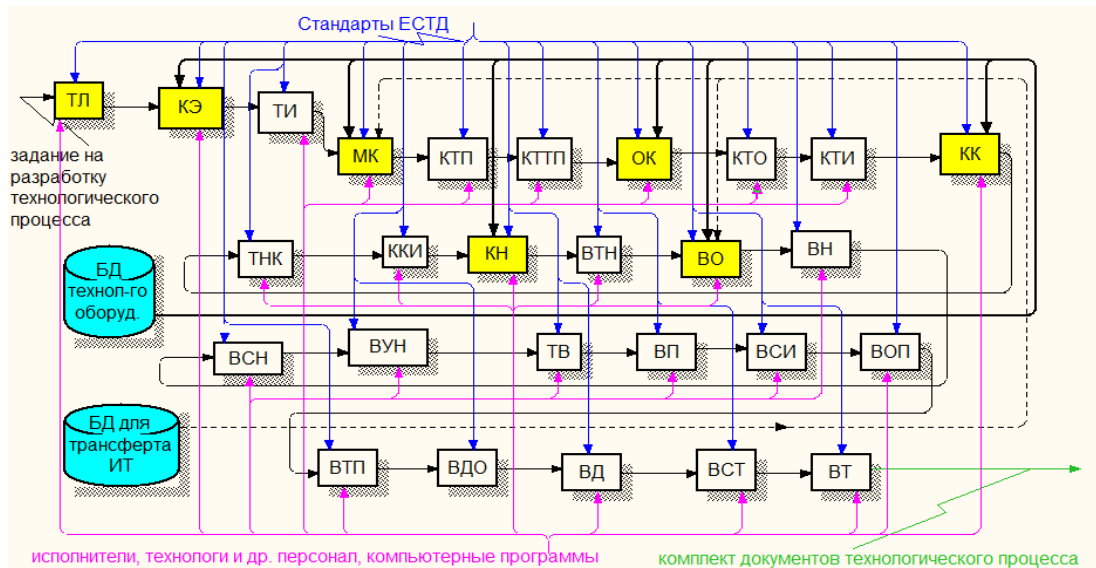


Рисунок 14 – Функциональная модель типовой процедуры разработки документации, дополненная новыми базами данных

Для оценки достоверности и эффективности всего инновационного проекта технического (технологического) перевооружения производства шестерен ВГТД выполнено имитационное моделирование. В данной главе также были разработаны: комплект документации инновационного проекта по созданию участка шестерен ВГТД, календарный план-график проекта в системе *MS Project* по созданию участка шестерен ВГТД, бизнес-план проекта, который подтвердил экономическую эффективность разработанного проекта внедрения технологических инноваций.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Построенная функциональная модель проблемно-ориентированной на разработку инновационных технологий АСТПП позволяет использовать современные методы системотехнического проектирования для многокритериальной оптимизации проектно-технологических решений в проектах реконструкции и технического перевооружения авиадвигателестроительного производства, а также дает обоснование для разработки инновационных технологий: инжиниринга, трансферта высоких технологий и их внедрения в производство. Функциональная модель проблемно-ориентированной АСТПП показывает, что существующие способы технологической подготовки производства должны быть дополнены новыми методами, в частности вероятностно-рекуррентным методом, разработанным в данном диссертационном исследовании.

2. Разработанный для реализации вероятностно-рекуррентного метода оптимизации экспертный метод решения задач трансферта технологий, основанный на комплексном использовании теории графов и метода нечеткой логики, позволяет на этапе разработки предварительных проектов технологической документации выбирать наиболее рациональные патенты из специально разработанной электронной базы данных, что дает возможность определить в единой технологии наилучшие локальные высокие или критические технологии для трансферта лучших отечественных и зарубежных устройств, способов, материалов, промышленных образцов и полезных моделей и обеспечивает выбор проектных и перспективных технологических процессов для дальнейшей многокритериальной оптимизации инновационных технологий.

3. Разработанный для реализации вероятностно-рекуррентного метода вероятностный метод кластеризации деталей авиационных двигателей для анализа их новизны позволяет осуществить выбор объектов инновационного проектирования в проектах технического (технологического) перевооружения и создавать специализированные производства. Исследование с помощью вероятностной нейронной сети *PNN* на примере проектирования участка для изготовления деталей вертолетной техники показало, что часть деталей (зубчатых колес вертолетной техники) может быть использована для дозагрузки существующих производственных мощностей, а другая часть деталей должна пройти полномасштабную процедуру технологической подготовки производства для создания специализированного участка в цехе.

4. Разработанный в диссертации вероятностно-рекуррентный метод математического моделирования и многокритериальной оптимизации проектных технологических процессов позволяет определить Парето-оптимальные инновационные технологии, а также обеспечить разработку проектных технологических процессов, которые минимизируют затраты, время изготовления деталей, фондоемкость, расход материалов, обеспечивая тем самым ресурсосбережение и повышение качества инновационных проектов технического (технологического) перевооружения авиадвигателестроительного производства.

5. Разработка новых электронных баз данных для инновационного проектирования и использование средств искусственного интеллекта позволяют осуществ-

лять не только математическое моделирование и оптимизацию проектных и перспективных технологических процессов изготовления деталей авиационных двигателей, но также позволяет решать проблемы, связанные с системным анализом, выбором и трансфертом высоких (критических) зарубежных и отечественных технологий на этапе разработки предварительных проектов технологической документации.

6. Результаты имитационного моделирования и процесса разработки комплектов проектной документации инновационных проектов технического (технологического) перевооружения для проектирования новых производственных участков авиадвигателестроительного производства подтверждает экономическую эффективность разработанных методов математического.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИСЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Рекуррентные нейронные сети и методы оптимизации проектных технологических процессов в АСТПП машиностроительного производства/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов, С. Н. Поезжалова, К. С. Кузнецова// Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 4 (42). С. 36 – 45.

2. Вероятностно-рекуррентный метод оптимизации перспективных технологических процессов в АСТПП авиадвигателестроительного производства/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов, Л. Р. Черняховская// Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 3 (48). С.81 – 90.

3. Нейронные сети в АСТПП машиностроительного производства/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов, К.С Кузнецова, Г. Ф. Габитова, С. Н. Поезжалова // Информационные технологии и вычислительные систем, РАН. 2012. Т.4, С.59 – 71.

4. Разработка инновационной системы подготовки производства в машиностроении/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов, О. Ю. Паньшина, С. Н. Поезжалова// Инновации, №3(173), Санкт-Петербург, изд. Медиа – Принт, март 2013г. С.78 – 84.

5. Вероятностно-рекуррентный метод оптимизации технологических процессов в авиадвигателестроении с использованием методов «мягких» вычислений/ О. А. Гаврилова, С. Г. Селиванов // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18, № 1(62) С.53– 59.

6. Разработка системы инновационной подготовки производства и методы оптимизации в авиадвигателестроении/ О. А. Гаврилова, С. Г. Селиванов// Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18, № 4(65) С 61–71.

Публикации в международных изданиях

1. Нейроструктурный метод многокритериальной оптимизации технологий. Разработка и оптимизация перспективных технологических процессов в авиадвигателестроении и машиностроении/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов// Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing is a trademark of: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, Saarbrucken, Germany, 2013. – 160 с. (монография).

2. Использование методов искусственного интеллекта для оптимизации технологических инноваций в машиностроении/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов, С. Н. Поезжалова, В. В. Никитин // Компьютерные науки и информацион-

ные технологии: труды 15-й международной конференции (CSIT-2013). Вена – Будапешт – Братислава. Т.2, с.25 – 29, 2013 (на англ. языке).

3. Вероятностно-рекуррентный метод оптимизации технологических процессов в авиадвигателестроении/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов// Компьютерные науки и информационные технологии: труды 15-й международной конференции (CSIT-2013). Вена – Будапешт – Братислава, Т.2, с.111 – 114, 2013(на англ. языке).

4. Применение методов искусственного интеллекта в технологической подготовке производства/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов, С. Н. Поезжалова// American Journal of Industrial Engineering, 2014,Т.2, N 1, с. 10 – 14 (на англ. языке).

Прочие издания

1. Методы оптимизации инновационных технологий средствами искусственного интеллекта/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов, С. Н. Поезжалова, К. С. Кузнецова// Сб. «Регионы России: Стратегии и механизмы модернизации, инновационного и технологического развития: сб. трудов VII Международной научно-практической конференции. Москва: ИНИОН Российской академии наук, 2011. Ч. 1.С. 436.

2. Методы оптимизации инновационных технологий в АСТПП машиностроительного производства/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов, С. Н. Поезжалова, К. С. Кузнецова, Г. Ф. Габитова// Регионы России: стратегии и механизмы модернизации, инновационного и технологического развития: сб. трудов VIII Международной научно-практической конференции. Москва: ИНИОН Российской академии наук, 2012, Ч.1. С. 482 – 492.

3. Вероятностно-рекуррентный метод оптимизации проектных технологических процессов в АСТПП авиадвигателестроительного производства/ О. А. Гаврилова (Бородкина)//Проблемы машиноведения, процессов управления и инновационные технологии в промышленности: сб. научн. тр. Уфа: Гилем, 2011.С.73 –77.

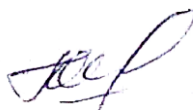
4. Методы управления научно-технологической подготовкой производства в инновационном проектировании/ О. А. Гаврилова (Бородкина), С. Г. Селиванов, К.С. Кузнецова// Инновации, проблемы машиноведения, процессов управления и критических технологий в машиностроении Республики Башкортостан: сб. научных трудов. Уфа: Гилем, 2010. С. 138 – 139.

5. Вероятностно-рекуррентный метод оптимизации проектных технологических процессов в АСТПП авиадвигателестроительного производства/ О. А. Гаврилова (Бородкина)// Тезисы докладов V всероссийской научно-технической конференции молодых специалистов. Уфа: УМПО, 2011. С. 376.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014618813 «Оптимизация перспективных технологических процессов» от 29.08.2014. Автор: Гаврилова О.А.

Диссертант



О. А. Гаврилова

ГАВРИЛОВА Оксана Александровна

ОПТИМИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ
ВЕРОЯТНОСТНО-РЕКУРРЕНТНОГО МЕТОДА

Специальность:

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 19. 12. 2014. Формат 60×84 1/16
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № .

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12