

На правах рукописи



Эгов Евгений Николаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И
АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА
ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации
проектирования (информационные
технологии и промышленность)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2022

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы» в Ульяновском государственном техническом университете.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ярушкина Надежда Глебовна

Официальные оппоненты: **Ковалев Сергей Михайлович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Цыганков Денис Эдуардович, кандидат технических наук, инженер-конструктор 1-й категории АО «Ульяновский механический завод»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Защита диссертации состоится «21» сентября 2022 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.277.04 при Ульяновском государственном техническом университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211, Главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государственного технического университета. Также диссертация и автореферат размещены в Internet на сайте УлГТУ – <http://www.ulstu.ru>.

Автореферат разослан « » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
доцент

Наместников Алексей Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Современное авиастроительное производство характеризуется сложностью изделий – летательных аппаратов (ЛА), определяющей не меньшую сложность технологических процессов производства. Проблему организации современных авиастроительных производств составляет противоречие между масштабностью авиастроительного производства и необходимостью быстрой адаптации и модификации производства, связанной с разработкой рабочих технологических процессов на базе директивных, с применением новых материалов, конструкций, технологического оборудования. Качество ЛА, их стоимость и сроки выпуска в значительной степени определяется системой технологической подготовки самолетостроительного производства. Сложность технологической подготовки производства самолетов, с учетом постоянных изменений, в сложившихся условиях становится огромной. Так только стоимость средств технологического оснащения в 3-5 раз превышает стоимость самолета, а срок их эксплуатации соизмерим со сроком эксплуатации ЛА.

Современная технологическая подготовка производства ведется в условиях цифрового производства и предполагает использование режима технологического моделирования, извлечения знаний из производственных данных (в том числе временных рядов), автоматизированного построения планово-предупредительных работ и технической диагностики на основе интеллектуальных технологий, в том числе онтологического инжиниринга.

Исходя из вышеизложенного актуальной является задача повышения эффективности технологической подготовки самолетостроительного производства за счет создания интегрированных интеллектуальных автоматизированных систем.

В настоящее время над решением задач автоматизации технологической подготовки авиастроительного производства работают многочисленные научные коллективы и ученые.

Зарубежные и российские ученые, внесшие значительный вклад в область автоматизации технологической подготовки производства: Friedrich A. Halstenberga, Kai Lindowab, Rainer Starka, Thomas M. Abercrombie, Yi-MingTai, Marco Cantamessa, Francesca Montagna, Paolo Neirotti, Д.Г. Евсеев, В.А. Фомин, О.Ю. Кривич, К.А. Сергеев, В.Т. Денисов, Р.А. Бирбраер, М.Я. Афанасьев, А.А. Саломатина, Е.Е. Алёшина, Е.И. Яблочников, Д.Д. Куликов и др.

Зарубежные и российские ученые: D. Bianchini, F. Bobillo, U. Straccia, R.A. Falbo, M. Gao, T.R. Gruber, N. Guarino, G. Guizzardi, G. Stumme, A. Maedche, В.Н. Вагин, В.Ф. Хорошевский, Т.А. Гаврилова, В.В. Грибова, Ю.А. Загорюлько, А.С. Клещев, И.П. Норенков, Д.Е. Пальчунов, С.В. Смирнов, и др. внесли важный вклад в развитие онтологического подхода в построении систем принятия решений.

В области диагностики технических систем (ТС) опубликованы работы следующими зарубежными и российскими учеными: Bogdan Żóltowski, Petra Dančová, Jan Novosád, N.A. Makhutov, R.S. Akhmetkhanov, E.F. Dubinin, V.I. Kuksova, V. Yakimov, G. Maltsev, Ю.В. Баженов, В.П. Каленов и др.

Зарубежными и российскими учеными, внесшими значительный вклад в область анализа и прогнозирования временных рядов (ВР) являются D. Box, G. Jenkins, S.M. Chen, C. Granger, G. Herbst, V. Novak, I.G. Perfilieva, И.З. Батыршин, С.М. Ковалев, Н.Г. Ярушкина, Т.В. Афанасьева и др. В области выявления аномалий ВР получены значимые научные результаты следующими учеными: V. Chandola, V. Kumar, A. Banerjee, M. Agyemang, K. Barker, R. Alhajj, V. Hodge, J. Austin, Kyeong-Joong Jeong, Yong-Min Shin, J. Audibert, P. Michiardi, F. Guyard, S. Marti, M.A. Zuluaga, Т.В. Афанасьева, Э.С. Раюшкин, М.В. Щербаков, М.Ю. Чесноков и др.

Результаты исследования энтропии временных рядов опубликованы следующими зарубежными и российскими учеными: Xiaofeng Liu, Aimin Jiang, Ning Xu, Jianru Xue, Stephan Schwill, Mirna Ponce-Flores, Juan Frausto-Solís, Guillermo Santamaría-Bonfil, G.E. Mikhailovsky, A.P. Levich, М.С. Ковалев и др.

Цель диссертационной работы

Сокращение сроков автоматизированной технологической подготовки производства за счет прогнозирования временных рядов производственных показателей и использования онтологического подхода для извлечения данных в задаче балансировки мощностей.

Объектом исследования послужила производственно-технологическая модель на примере агрегатно-сборочного производства самолетостроительного предприятия в условиях мультипродуктовой производственной программы.

Предметом исследования является интеллектуализация автоматизированной технологической подготовки производства на основе интеграции онтологического подхода и прогнозирования временных рядов.

Задачи исследования

В соответствии с целью работы актуальными являются следующие задачи диссертационного исследования:

1. Выполнить сравнительный анализ методов и средств автоматизированной технологической подготовки авиастроительного производства (АТПП), в том числе средств решения задачи балансировки мощностей и прогнозирования состояния технических систем на основе анализа диагностических временных рядов.
2. Выполнить научный обзор методов анализа временных рядов, применения методов в задачах автоматизированной технологической подготовки авиастроительного производства.
3. Разработать модель и алгоритм балансировки мощностей с применением алгоритмов прогнозирования временных рядов производственных показателей и онтологий в задачах АТПП.
4. Разработать математическую модель энтропийного временного ряда, адаптированную для решения задач АТПП.
5. Разработать алгоритм прогнозирования, отличающийся применением энтропийного временного ряда для задач прогнозирования поведения производственно-технологической системы.

6. Разработать модели и алгоритмы выявления аномалий энтропийного временного ряда показателей производственно-технологических процессов авиастроительного производства.
7. Разработать модели и алгоритмы интерпретации аномалий для выявления и прогнозирования дефектных состояний технических систем на основе интеллектуальной системы, включающей базу нечетких правил.
8. Разработать архитектуру программной системы балансировки мощностей на основе онтологического подхода и использования прогнозирования временных рядов в АТПП.
9. Разработать программную систему балансировки мощностей на основе онтологического подхода и прогнозирования временных рядов в АТПП.
10. Провести вычислительные эксперименты, подтверждающие результативность решения задач АТПП на основе разработанных моделей и алгоритмов.
11. Внедрить программную систему балансировки мощностей на основе онтологического подхода и прогнозирования временных рядов в АТПП в деятельность авиастроительного предприятия.

Методы исследования

В диссертационной работе применяются методы анализа временных рядов; теория нечетких систем и мягких вычислений; теория кластеризации; при разработке комплексов программ применялись подходы ООП и КОП.

Научная новизна

Научная новизна результатов исследования заключается в следующем:

1. Модель и алгоритм балансировки мощностей, отличающийся применением алгоритмов прогнозирования временных рядов производственных показателей и онтологий в задачах автоматизированной технологической подготовки авиастроительного производства.
2. Алгоритм поиска аномалий в диагностических временных рядах, отличающийся применением энтропийных временных рядов в задачах автоматизированной технологической подготовки авиастроительного производства.
3. Модель энтропийного временного ряда для задач поиска аномалий и прогнозирования поведения производственно-технологической системы.
4. Алгоритм прогнозирования, отличающийся применением энтропийного временного ряда для задач прогнозирования поведения производственно-технологической системы.
5. Архитектура программной системы балансировки мощностей, отличающаяся применением онтологического подхода и прогнозирования временных рядов в автоматизированной технологической подготовке производства.

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и реализации

новых эффективных моделей и алгоритмов автоматизированной технологической подготовки производства на основе прогнозирования поведения производственно-технологической системы, представленного временными рядами показателей.

Практическая значимость работы

Разработана программная система балансировки мощностей на основе прогнозирования временных рядов в автоматизированной технологической подготовке производства, включающая функционал прогнозирования коэффициентов для расчета баланса мощностей предприятия. Программная система используется в процессе автоматизированной технологической подготовки производства филиала ПАО «Ил»-Авиастар (создан за счет реорганизации в форме присоединения АО «Авиастар-СП» 01 ноября 2021 года).

Основания для выполнения работы

Результаты диссертационной работы использовались в ряде НИОКР, выполненных в Ульяновском государственном техническом университете, направленных на решение научно-технических задач. К наиболее важным результатам следует отнести:

1. Участие в выполнении гранта РФФИ №14-01-31092 «Разработка метода интеллектуального анализа многомерных нечетких временных рядов».
2. Участие в выполнении гранта РФФИ №15-41-02413 «Интеллектуальный анализ временных рядов на основе нечетких онтологий, извлекаемых из Интернет-ресурсов».
3. Участие в выполнении гранта РФФИ №16-47-732070 «Исследование и разработка моделей прогнозирования нечетких тенденций метрик проектной деятельности».
4. Участие в выполнении гранта РФФИ №16-47-732120 «Исследование и разработка математических моделей, алгоритмов, программных систем автоматизированного проектирования и информационно-измерительных комплексов сложных технических и производственно-технологических систем (на примере авиастроения и авиаприборостроения)».
5. Участие в реализации государственного задания №2.1182.2017 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности Минобрнауки России по проекту «Разработка методов и средств автоматизации производственно-технологической подготовки агрегатно-сборочного самолетостроительного производства в условиях мультипродуктовой производственной программы».
6. Участие в выполнении гранта РФФИ №18-47-730025 «Исследование и разработка средств диагностики технических систем на основе энтропийных мер временных рядов».
7. Участие в выполнении гранта РФФИ №18-47-730022 «Исследование и разработка моделей цифрового производства на базе интеллектуального анализа данных».

Достоверность результатов диссертационной работы

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена результатами вычислительных экспериментов, а также результатами использования созданных алгоритмов и методик в программе балансировки мощностей для АТПП на предприятии филиал ПАО «Ил»-Авиастар.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Модель и алгоритм балансировки мощностей на основе применения прогнозирования временных рядов производственных показателей и онтологий в задачах автоматизированной технологической подготовки авиастроительного производства являются результативными.
2. Алгоритмы поиска аномалий в диагностических временных рядах позволяют успешно прогнозировать техническое состояние оборудования в задачах автоматизированной технологической подготовки производства.
3. Модель энтропийного временного ряда результативна для задач поиска аномалий и прогнозирования поведения производственно-технологической системы.
4. Алгоритм прогнозирования энтропийных временных рядов производственных показателей является эффективным для получения коэффициентов переменных модели балансировки мощностей для задач автоматизированной технологической подготовки производства.
5. Программная система балансировки мощностей на основе прогнозирования временных рядов и онтологий сокращает сроки автоматизированной технологической подготовки производства.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертации представлены в журналах из Перечня, рекомендованного ВАК РФ: «Автоматизация процессов управления», «Радиотехника»; докладывались, обсуждались и получили одобрение: на 1-й всероссийской научно-практической конференции «Прикладные информационные системы», УлГТУ-2014, 49-й Научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях», УлГТУ-2015, 2-й всероссийской научно-практической конференции «Прикладные информационные системы», УлГТУ-2015, 7-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2015, VIII-й Международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (18-20 мая 2015 г., Коломна), Пятнадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016, 50-й Научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях», УлГТУ-2016, 3-й всероссийской научно-практической конференции «Прикладные информационные системы», УлГТУ-2016, во второй Российско-Тихоокеанской конференции по Компьютерным Технологиям и Приложениям (RPC 2017), 2-й международной научной конференции «Intelligent information technologies for

industry» (2017), IV Международной конференции и молодёжной школе «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2018), Шестнадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2018 (2018), в третьей Российско-Тихоокеанской конференции по Компьютерным Технологиям и Приложениям (RPC 2018), V Международной конференции и молодёжной школе «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2019), V Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» (2020).

Научные публикации

По результатам работы было опубликовано 19 статей, в том числе, 10 в журналах из Перечня, рекомендованного ВАК РФ, 5 публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science, 9 в материалах научных конференций. Получено 5 свидетельств о государственной регистрации программного обеспечения.

Личный вклад

Все результаты, составляющие содержание диссертации, получены автором самостоятельно. Подготовка ряда публикаций проводилась совместно с соавторами, причем, вклад соискателя, соответствующий содержанию диссертации, был определяющим.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 250 страницах, включая 59 рисунков и 16 таблиц. Список использованных источников состоит из 170 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрена актуальность выполненного исследования, формулируются цель и задачи работы, определяются теоретическая значимость и практическая ценность результатов исследования, а также положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проведен сравнительный анализ методов и средств автоматизированной технологической подготовки производства (АТПП), в том числе связанных с балансировкой мощностей. Технологическая подготовка производства (ТПП) в контексте диссертационного исследования рассматривается как совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства. Технологическая готовность производства – наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями. Выделены основные процедуры ТПП с группировкой по видам деятельности:

1. Технологическое планирование цехов основного производства на

основе решения задачи балансировки мощностей.

2. Технологическая проработка конструкторской документации.
3. Планирование, проектирование, изготовление и планово-предупредительный ремонт оборудования и технологической оснастки на основе диагностики технического состояния.
4. Управление технологической документацией.
5. Организация подготовки производства к проведению испытаний и последующему сопровождению техники.

Рассмотрены особенности ТПП в авиастроении, а именно:

1. Сложный состав изделия.
2. Технологическая сложность в изготовлении элементов: на самолетостроительных заводах организовано множество технологических переделов (подсистем): производство заготовок, штамповочное производство, механообрабатывающее производство, производство композиционных материалов, нанесение покрытий, сборочное производство, испытательное производство и т.п.
3. Мелкосерийное производство.
4. Разнообразие производств, обуславливающее большой парк разнообразного станочного оборудования, включая обрабатывающие центры и роботизированные комплексы различного назначения.
5. Мультипродуктовые производственные программы (ПП) самолетостроительного производства, требующие постоянной технологической подготовки производства для настройки на конкретную ПП.

Рассмотрены программные системы АТПП. Приведена терминология, связанная с технической диагностикой АТПП и рассмотрены функциональные возможности современных средств диагностики технических систем (ТС). Сделан сравнительный анализ существующих методов и средств автоматизации проектирования средств диагностики.

Определена область применения ВР в задачах автоматизации ТПП и поиска дефектов ТС. Рассмотрены классы методов анализа ВР.

Во **второй главе** рассмотрены процессы моделирования ТПП. Определены разделы технологической документации, формируемые на основе решения задачи балансировки производственных мощностей (рисунок 1). Для формирования технологического оснащения производства в ходе ТПП предложено использовать временные ряды производственных показателей на базе энтропийного ВР, предложены алгоритмы диагностирования и прогнозирования состояния технических систем технологического оснащения.

В п. 2.1. описан процесс моделирования ТПП и процесс разработки технологической документации с применением САПР предприятия. В работе под производственно-технологической моделью понимается параметризованная информационно-алгоритмическая модель, характеризующая производственный процесс на требуемом уровне детализации (рабочее место, участок, цех, предприятие, группа предприятий) на основе взаимосогласованных конструкторско-технологических и производственных данных.

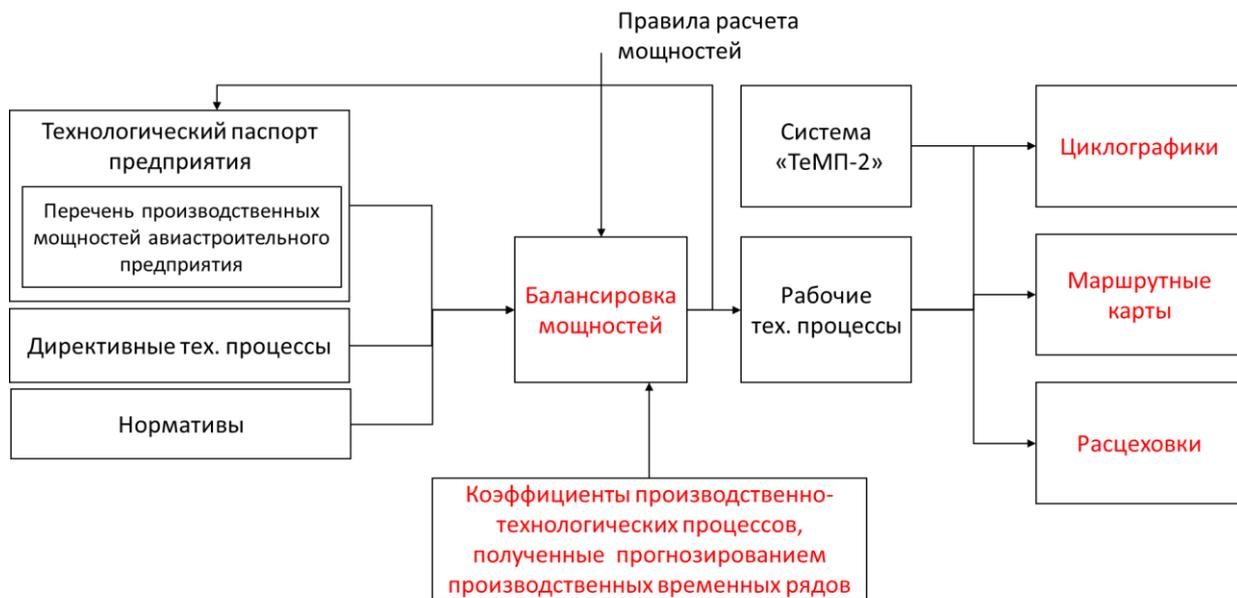


Рисунок 1 – Создание технологической документации ТПП. Балансировка мощностей предприятия

Построена модель балансировки производственных мощностей.

$$PCB = \langle P_e, P_p, P_a, Pas, Recom \rangle, \quad (1)$$

где P_x – мощности предприятия (оборудование P_e , персонал P_p , площади P_a),

Pas – технологический паспорт предприятия,

$Recom$ – набор рекомендаций по устранению дефицита мощностей

$$P_x = F(PP, Coef, TS), \quad (2)$$

где F – алгоритм генерации вариантов балансировки производственных мощностей предприятия.

$PP = \{PP_1, \dots, PP_i, \dots, PP_n\}$ – мультипродуктовая производственная программа предприятия,

PP_i – i -й элемент мультипродуктовой производственной программы,

$Coef$ – набор коэффициентов, требуемых для расчетов и имеющих фиксированный способ расчета или источник получения,

TS – набор ВР значений коэффициентов, требуемых для расчетов и получаемых через прогнозирование производственных ВР.

Произведен анализ методик балансировки мощностей с выделением ключевых параметров (коэффициентов), влияющих на баланс, но не имеющих формул расчета значений на будущий период. Предложено использовать в качестве значений коэффициентов расчета прогнозные значения производственных ВР.

Для расчета требуется ряд коэффициентов для расчета: полезный годовой фонд времени работы единицы оборудования, коэффициент использования оборудования, коэффициент перевода из человеко-часов в станко-часы, проектная мощность, коэффициент износа оборудования, располагаемая мощность оборудования (РМО), коэффициент загрузки оборудования (КЗО) на n лет и ряд

других. На практике значения коэффициентов могут быть нормативными или прогнозными, извлеченными из временных рядов показателей.

В п. 2.2. изложена архитектура программной системы балансировки производственных мощностей.

Система балансировки мощностей состоит из 5 модулей (рисунок 2):

- Модуль извлечения данных. Данный модуль отвечает за получение данных из различных информационных источников предприятия, например, различных САПР, информационных систем (ИС).
- Модуль ручного ввода. Данный модуль позволяет дополнять вручную данные, требуемые для расчета балансировки, которые невозможно получить из других информационных источников предприятия.
- Модуль прогнозирования. Данный модуль позволяет вычислять коэффициенты, требуемые для расчета балансировки, через временные ряды коэффициентов.
- Модуль расчета мощностей предприятия. Основной модуль подсистемы. Он отвечает за расчет мощностей предприятия, их балансировку, оптимизацию. Также через данный модуль предполагается проводить моделирование возможного включения в существующий цикл производства новых изделий.
- Модуль рекомендаций балансировки мощностей. Данный модуль отвечает за лингвистическое представление результатов работы модуля балансировки мощностей и предоставляет рекомендации по перераспределению объемов работ, оборудования между подразделениями, реализующими производственную программу.

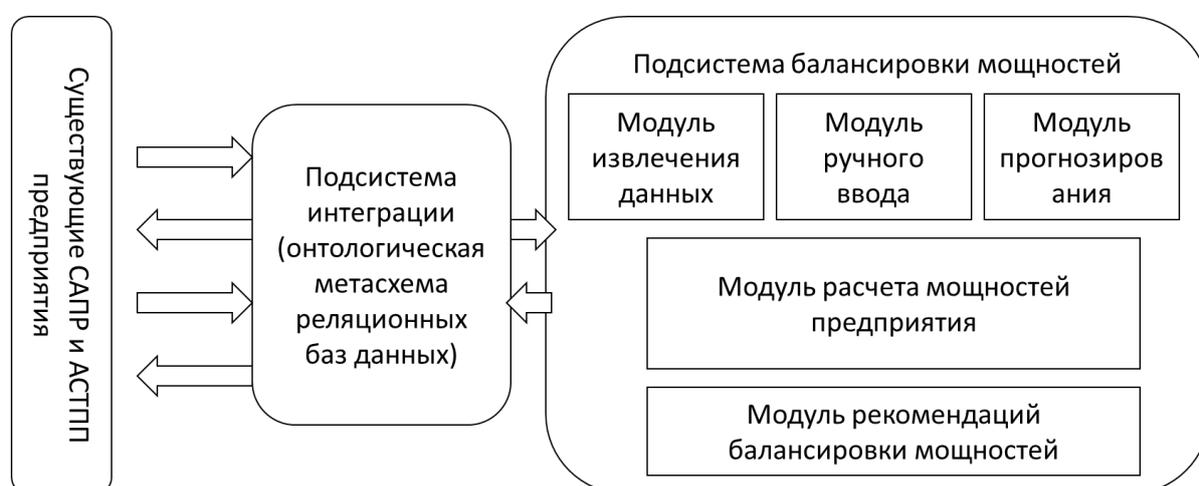


Рисунок 2 – Архитектура подсистемы балансировки производственных мощностей предприятия

Для реализации метамодели подсистемы интеграции, позволяющей организовать механизм интеграции данных из ИС предприятия, используются методы онтологического инжиниринга.

В качестве формального представления метамодели будет использоваться определение онтологической системы:

$$O^И = \{O_i^{DB}\} \oplus O^{МЕТА} \oplus \{F_i^{DB}\}, \quad (3)$$

где $O^{МЕТА}$ – онтология консолидации данных;

$O^{DB} = \{O_1^{DB}, O_2^{DB}, \dots, O_i^{DB}, \dots, O_k^{DB}\}$ – множество онтологических представлений модели данных информационных систем предприятия, с которыми необходимо организовать интеграцию данных;

F^{DB} – множество функций интерпретации, реализованных алгоритмически.

Таким образом, i -е онтологическое представление O_i^{DB} (формула 3) модели данных ИС предприятия будет иметь вид:

$$O_i^{DB} = \langle C^{DB}, P^{DB}, L^{DB}, R^{DB} \rangle, \quad (4)$$

где $C^{DB} = \{C_1^{DB}, C_2^{DB}, \dots, C_n^{DB}\}$ – множество классов-сущностей онтологического представления модели данных ИС;

$P^{DB} = \{P_1^{DB}, P_2^{DB}, \dots, P_m^{DB}\}$ – множество свойств классов-сущностей онтологического представления модели данных ИС;

$L^{DB} = \{L_1^{DB}, L_2^{DB}, \dots, L_o^{DB}\}$ – множество ограничений свойств классов-сущностей онтологического представления модели данных ИС;

R^{DB} – множество отношений онтологического представления модели данных ИС следующего вида:

$$R^{DB} = \{R_C^{DB}, R_P^{DB}, R_L^{DB}\}, \quad (5)$$

где R_C^{DB} – множество отношений, формирующих иерархию классов-сущностей онтологического представления модели данных ИС;

R_P^{DB} – множество отношений, определяющих связь между классами-сущностями онтологического представления модели данных ИС и их свойствами;

R_L^{DB} – множество отношений, определяющих связь между свойствами классов-сущностей онтологического представления модели данных ИС и их ограничениями.

Для модуля рекомендаций балансировки мощностей также разработана онтологическая модель:

$$O^R = \langle I^R, E^R, S^R, A^R, R^R, F^R \rangle, \quad (6)$$

где $I^R = \{I_1^R, I_2^R, \dots, I_n^R\}$ – множество индикаторов, определяющих состояние производственных мощностей предприятия в некоторый момент времени;

$E^R = \{Bad, Good, High, Middle, Low\}$ – множество лингвистических меток, используемых в процессе представления значений индикаторов состояния производственных мощностей предприятия;

$S^R = \{StateHigh, StateMiddle, StateLow\}$ – множество текстовых представлений лингвистических меток *High*, *Middle* и *Low* множества E^R , используемых как в процессе формирования рекомендаций, так и в процессе представления состояния индикаторов производственных мощностей предприятия после представления их значений;

$A^R = \{\langle I_1^R, Bad \rangle, \langle I_1^R, Good \rangle, \langle I_2^R, Bad \rangle, \langle I_2^R, Good \rangle, \dots, \langle I_n^R, Bad \rangle, \langle I_n^R, Good \rangle\}$ – множество текстовых представлений рекомендаций для каждого индикатора производственных мощностей предприятия с учетом различной оценки его состояния: *Good* (в пределах нормы) и *Bad* (отклонение от нормы);

R^R – множество отношений онтологии модуля поддержки принятия решений, которое можно представить следующим выражением:

$$R^R = \{R_{ES}^R, R_{EA}^R, R_{IE}^R\}, \quad (7)$$

в котором R_{ES}^R – множество отношений, определяющих связь между лингвистической меткой и ее текстовым представлением;

R_{EA}^R – множество отношений, определяющих связь между лингвистической меткой и текстовым представлением рекомендации;

R_{IE}^R – множество отношений, определяющих связь между значением индикатора производственных мощностей предприятия и его лингвистической меткой. Данный вид отношений формируется в процессе представления значений индикаторов с применением машины логического вывода и набора правил на языке SWRL;

F^R – функция интерпретации, формирующая множество отношений R_{IE}^R , заданная множеством правил на языке SWRL.

На основе вышеописанной модели разработана OWL-онтология интеграции информационного обеспечения авиастроительного предприятия для задачи балансировки производственных мощностей, которая имеет иерархическую структуру и включает в себя 32 класса, 31 объектное свойство, 47 типов данных.

Примеры сущностей производственных мощностей предприятия, необходимые в расчете балансировки мощностей:

1. Должности. 2. Изделия. 3. Сотрудники. 4. Категория сотрудников. 5. Оборудование. 6. Тип оборудования. 7. Удельная производственная площадь. 8. Использование оборудования. 9. Подразделения. 10. Разряды. 11. Тип работы. 12. Производственная программа. 13. Технологический процесс. 14. Технологическая оснастка. 15. Маршрутная карта. 16. Расцеховка.

Разработана OWL-онтология подсистемы поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей, которая имеет иерархическую структуру и включает в себя 23 класса, 2 объектных свойства, 2 типа данных и 29 swrl-правил.

В п. 2.3. для получения значений коэффициентов для расчета балансировки мощностей на будущий период по ВР этих коэффициентов был разработан алгоритм прогнозирования. Данный алгоритм сводится к выполнению следующих шагов:

1. На основе любого известного метода прогнозирования, имеющего высокую точность прогноза (будем называть такой метод базовым) получается прогнозное значение (*ForecastOrigMethod*).
2. На основе ВР строится энтропийный ВР (ЭнВР) и строится прогноз (*ForecastByEntropy*).
3. Известным методом прогнозирования получается прогноз показателя динамики ЭнВР (*DynamicForecast*).
4. На основе *DynamicForecast* и значения энтропии в последней точке ряда формируется прогнозное значение для исходного ВР (*ForecastByEntropy*).
5. Вычисляется усредненное значение между *ForecastOrigMethod*, полученного через метод прогнозирования и, полученным через ЭнВР *ForecastByEntropy*.

$$\mathbf{Forecast} = \frac{\mathbf{ForecastOrigMethod} + \mathbf{ForecastByEntropy}}{2}. \quad (8)$$

Для построения ЭнВР обратимся к концепции нечеткого ВР, на котором значения соответствуют нечетким меткам. Для определения отношения точки к

одной из нечетких меток используется треугольная функция принадлежности:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ -\frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c < x \end{cases} \quad (9)$$

Меру энтропии по функции принадлежности для каждой точки обычно получают по следующей формуле

$$H_i^\mu = \mu(x_i) \ln(\mu(x_i)), \quad (10)$$

где $\mu(x_i)$ – значение функции принадлежности точки x_i к нечеткому интервалу.

На практике часто применяют коэффициент размытости (энтропии), представляющий собой расстояние между нечетким множеством A и некоторым базовым множеством, например, его дополнением A : $\rho(A, \bar{A})$, где расстояние $\rho(A, \bar{A})$, может быть вычислено по формуле Евклида, Хэмминга или др.

В отдельной точке ВР коэффициент размытости (энтропии) будем вычислять по формуле:

$$\rho(x_i) = |\mu_{\bar{A}}(x_i) - \mu_A(x_i)| = |1 - \mu_A(x_i) - \mu_A(x_i)| = |1 - 2 \cdot \mu_A(x_i)|. \quad (11)$$

В качестве аналитического коэффициента размытости (энтропии) в точке ВР будем использовать коэффициент, учитывающий знак отклонения:

$$e(x_i) = 1 - 2 \cdot \mu_A(x_i). \quad (12)$$

В настоящее время в ряде работ сформулированы принципы обобщения мер нечеткости (энтропии) нечетких множеств, позволяющие считать степень нечеткости $\xi(A)$ нечеткого множества A $\xi(A) = f(\rho(A, A^*))$, где f – некоторая монотонная функция, $\rho(x, y)$ – метрика, A^* – базисное множество. Функция f подбирается для удовлетворения некоторым естественным требованиям для степени нечеткости, которые определяются для каждой задачи. С учетом принципа обобщения мер нечеткости будем использовать следующий коэффициент размытости(энтропии):

$$e(x_i) = 1 - \mu_A(x_i) \quad (13)$$

Взяв за основу формулу 10 модифицированной функции принадлежности и подставив в 11 значения в интервалах $\{a, b\}$ и $\{b, c\}$ получаем следующую формулу расчета коэффициента размытости (энтропии) точки ВР, с учетом использования аналитического интервала $[-1, 1]$:

$$e(x) = \begin{cases} -1, & x \leq a \\ \frac{x-b}{b-a}, & a < x < b \\ 0, & x = b \\ \frac{x-b}{c-b}, & b < x < c \\ 1, & c \leq x \end{cases} \quad (14)$$

Временной ряд значений коэффициента размытости (энтропии) точки будем называть энтропийным ВР (ЭнВР). Значение в точке ЭнВР показывает, по сути, удаленность точки исходного ВР от метки, к которой ее относят. При этом, если значение энтропии (формула 13) отрицательно, то это говорит о том, что точка располагается левее от центра. Если значение энтропии больше 0, то точка располагается правее от центра. Однако, строить прогноз для исходного ВР на

основе ЭнВР не представляется возможным, так как прогноз ЭнВР покажет удаленность точки от некоей метки, однако не сможет указать конкретную метку, к которой должна принадлежать прогнозная точка. Для определения не только удаленности точки от центра метки, но и самой метки воспользуемся ВР, выстраиваемым по динамике ЭнВР.

Под динамикой ЭнВР понимается разница между двумя соседними точками ЭнВР. При этом, необходимо учитывать, что точки могут относиться к разным меткам:

$$d = \begin{cases} e_i - e_{i-1}, e_i \in \tilde{X}_j, e_{i-1} \in \tilde{X}_k, \tilde{X}_j = \tilde{X}_k \\ |e_{i-1} - 1| + |-1 - e_i|, e_i \in \tilde{X}_j, e_{i-1} \in \tilde{X}_k, \tilde{X}_j > \tilde{X}_k \\ (|e_{i-1} + 1| + |1 - e_i|) * (-1), e_i \in \tilde{X}_j, e_{i-1} \in \tilde{X}_k, \tilde{X}_j < \tilde{X}_k \end{cases} \quad (15)$$

При определении формулы расчета для динамики ЭнВР производится сравнение весов меток, к которым относят соседние точки ЭнВР. Если веса одинаковые, то считается, что $\tilde{X}_j = \tilde{X}_k$. Если вес первой точки больше, то считается, что $\tilde{X}_j < \tilde{X}_k$. И, если вес первой точки меньше, то $\tilde{X}_j > \tilde{X}_k$. Если возникает ситуация, когда обе точки относятся к одной метке, то динамика вычисляется просто как разность значений энтропий двух точек. Если точки относятся к разным меткам, то необходимо вычислить расстояние от первой точки ЭнВР, соответствующей первой точке исходного ВР, до края метки \tilde{X}_k , который располагается ближе к метке \tilde{X}_j . Далее определяется количество меток, располагающихся между метками \tilde{X}_j и \tilde{X}_k . И определяются расстояние от края метки \tilde{X}_j , расположенным ближе к метке \tilde{X}_k и до второй точки ЭнВР, соответствующей второй точке исходного ВР. Полученные три значения суммируются и получается динамика для точек ЭнВР, относящихся к разным меткам. Знак динамики будет указывать на взаиморасположение двух точек, между которыми эта динамика определена. Если динамика меньше 0, то вторая точка располагается левее первой. Если динамика больше 0, то вторая точка располагается правее первой. Если динамика равно 0, то точки равны друг другу.

На основе изложенного описания ЭнВР и его динамики, математическая модель точки ЭнВР представляется следующим образом:

$$EnP(t) = (e(t), de(t)), \quad (16)$$

где e – значение энтропии точки по формуле 14,

de – значение динамики энтропии в точке по формуле 15.

Математическую модель самого ЭнВР можно представить либо как набор точек EnP , либо как совокупность двух ВР – на основе самой энтропии и на основе динамики энтропии:

$$EnTS = \langle ETS, DETS \rangle, \quad (17)$$

где ETS – ВР на основе энтропий точек, вычисленных по формуле 14,

$DETS$ – ВР на основе динамики энтропий точек, вычисленных по формуле 15.

Таким образом, при построении ETS получается ВР, на котором можно легко выделять участки работы, когда ТС находится в пограничных состояниях. К недостаткам ETS следует отнести отсутствие возможности фиксации смены меток, к которым принадлежат точки ВР, между соседними точками ряда.

Ряд DETS показывает поведение ряда ETS, в частности, как раз с его помощью можно фиксировать и смены меток между соседними точками ряда. Стоит отметить, что провести четкую границу, если график DETS выше или ниже определенного предела, что означает смену меток, невозможно.

В п. 2.5 представлен разработанный алгоритм прогнозирования (п. 2.3), в ходе реализации которого требуется вычислять прогнозное значение для ВР через ЭнВР. Для получения прогнозного значения для ВР через ЭнВР был разработан дополнительный алгоритм прогнозирования ВР через динамику ЭнВР. Исходя из выше сказанного, совместное использование рядов ETS и DETS в задачах анализа исходного ВР позволит определять факты смены нечетких меток (которым могут соответствовать состояния ТС), плавность этих смен и на основе этих данных делать предположения о наличии аномалий исходного ВР и наличия дефектов в ТС, представленной данным ВР.

На основе имеющегося ВР строится ЭнВР и на основе ЭнВР строится ВР динамик ЭнВР. Любым известным методом прогнозирования для ВР динамики ЭнВР прогнозируется значение. Далее по значению энтропии в последней точке ЭнВР и спрогнозированной динамике вычисляется прогнозное значение для исходного ВР по алгоритму.

В п.2.6 представлен алгоритм поиска аномалий, связанных со сменами меток базового терм-множества. Через ЭнВР осуществляется анализ переходных состояний, их плавность или скачкообразность. Аномальными будут считаться ситуации, когда, например, будет ожидаться плавный переход от одной метки к другой, а на ВР возникает резкий переход. Переход будет считаться «плавным», если энтропия в рамках нескольких точек будет приближаться к 1 (с сохранением в этих точках знака энтропии) и в следующей точке она сменит знак на противоположный, а через динамику энтропии можно будет отследить смену меток в этом месте. При этом, метки, смена которых фиксируется, являются соседними. Задача поиска аномалий в ВР сводится к формированию последовательностей элементарных паттернов в виде цепочек и поиску этих цепочек. Определять наличие аномалии во ВР при появлении таких цепочек следует только исходя из контекста ВР. Для одних ВР аномальным участком будет считаться участок, на котором поведение e и de соответствует паттерну резкой смены состояния, для других ВР – состояния скачка, а для третьих набор сразу из нескольких паттернов в определенной (либо произвольной) последовательности.

Алгоритм поиска аномалий через ЭнВР сводится к выполнению следующих шагов:

1. На основе контекста ВР выделяются цепочки элементарных паттернов поведения (ЭПП), идентифицирующие аномалии.
2. На основе ВР формируется ЭнВР.
3. Для каждой точки ЭнВР (кроме первой) определяется ЭПП.
4. На основе полученного ряда ЭПП выполняется поиск цепочек паттернов поведения аномалий в ЭнВР.
5. Выполняется сопоставление найденных отрезков с аномалиями в ЭнВР с отрезками исходного ВР, обозначение их как аномальные.

Выделен ряд элементарных паттернов поведения значений e и de в точках, на основе которых можно фиксировать изменения в поведении исходного ВР.

Алгоритм выявляет аномалии, связанные со сменами состояний. Однако, он не применим к аномалиям, связанным, например, с длительным пребыванием в определенном состоянии, или связанных с нарушением очередности следования состояний. Для расширения границ применимости ЭнВР в задачах поиска аномалий потребуется расширение модели энтропии точки (например, использование нечеткой метки, к которой принадлежит точка).

На основе выделенных участков аномалий через ЭнВР определяется наличие дефектов ТС. В п. 2.7 рассмотрена методика интерпретации аномалии энтропийного ВР в терминах дефектов ТС. Применение алгоритма диагностики с применением ЭнВР позволяет определять дефекты различных видов при наличии, в первую очередь, документации по ТС и эксперта (либо экспертной системы), который способен на основе документации выделить цепочки паттернов поведения, соответствующие аномальному поведению ВР при наличии дефектов в ТС, либо последовательности паттернов, также соответствующих аномальному поведению ВР при наличии дефектов в ТС. В случае отсутствия документации при диагностике ТС потребуется эксперт, способный решать, считать ли наличие того или иного паттерна поведения, либо последовательности определенных паттернов поведения признаком аномалии во ВР.

П. 2.8 содержит основные выводы и результаты главы 2.

В **третьей главе** изложено описание структурно-функционального решения программной системы балансировки мощностей на основе прогнозирования производственных и диагностических временных рядов в АТПП. П. 3.1 содержит описание архитектуры программной системы. Информационное обеспечение программной системы изложено в п. 3.2. П. 3.3 обосновывает выбор инструмента реализации. В п. 3.4 и 3.5 описаны структуры данных и программные модули. Базовые диаграммы проекта в нотации UML представлены в п. 3.6, выводы по главе – в п. 3.7.

В **четвертой главе** проводится анализ адекватности разработанных моделей и алгоритмов на основе вычислительных экспериментов и оценка их результативности по итогу внедрения.

П. 4.1 посвящен описанию плана экспериментов, который включает в себя следующие пункты.

1. Оценка алгоритма прогнозирования ВР на основе набора данных (data set) соревнования Computational Intelligence in Forecasting 2015 (международная бенчмарка):

1.1. Оценка точности прогнозирования для одноточечного прогноза,

1.2. Оценка для n -точечного прогноза (для последней точки цепочки и для всех точек цепочки).

2. Оценка алгоритма поиска аномалий при диагностике технических систем (ТС):

2.1. Оценка выявления аномалий во ВР показателей ТС предприятия.

Набор данных Computational Intelligence in Forecasting 2015 состоит из 91 временного ряда из различных проблемных областей (банковское дело, веб-хостинг, медицинские домены, производственные системы, ...). Используются

различные частоты временных рядов: ежедневные, ежемесячные, ежеквартальные и годовые ВР (11 ежедневных рядов (длина 212, 518, 909); 45 ежемесячных (длина 16-105); 25 поквартальных (длина 8-57, 206), 10 ежегодных (длина 18-48).

Эксперименты 1.1 и 1.2 были разбиты на две части. В рамках первой части была проверена точность прогнозирования ВР разработанного алгоритма. Во второй части эксперимента определяется зависимость точности прогноза через ЭнВР от точности прогноза метода прогнозирования, через который получается прогнозное значение динамики энтропии.

Эксперимент 2.1 был разработан для проверки корректности диагностического теста. На первом этапе эксперимента определялась способность алгоритма находить аномальные участки на ВР и качество поиска аномалий. На втором этапе определялась способность алгоритма на основе найденных аномалий судить о наличии неисправностей в ТС и выдавать рекомендации.

Апробация созданных алгоритмов балансировки производственных мощностей для АТПП выполнена на предприятии филиал ПАО «Ил»-Авиастар.

В п. 4.2 изложены результаты оценки разработанных алгоритмов на массиве временных рядов международных соревнований Computational Intelligence in Forecasting 2015.

Были выбраны три метода прогнозирования разной точности: метод экспоненциального сглаживания с трендом и сезонностью Хольта-Винтерса, метод экспоненциального сглаживания, метод прогнозирования на основе нейронной сети. Нейронная сеть обучалась с помощью метода обратного распространения ошибки.

Прогноз строился на 5 точек вперед. Среднее значение SMAPE по всем рядам, представленным в рамках конкурса, для всех 5 точек прогноза при прогнозировании простым методом прогнозирования ВР составили: 23,15 (Хольт-Винтерс), 171,83 (экспоненциальное сглаживание) и 24,24 (нейронная сеть). Среднее значение SMAPE при прогнозировании через ЭнВР составило: 24,14 (Хольт-Винтерс), 11,43 (экспоненциальное сглаживание) и 12,46 (нейронная сеть). Среднее значение SMAPE для скорректированного прогноза составило: 17,91 (Хольт-Винтерс), 63,51 (экспоненциальное сглаживание) и 16,51 (нейронная сеть).

Для одноточечного прогноза и прогноза пяти точек прогнозируемой цепочки точность скорректированного прогноза была выше, чем прогноз базовым методом прогнозирования.

При планировании производственного цикла или составления производственной программы важно учитывать состояние оборудования, используемого на производстве. При расчете баланса мощностей предприятия необходимо, в частности, учитывать график планово-профилактических работ оборудования, а также потребность в ремонте, либо замене неисправного оборудования.

Во втором эксперименте (п. 4.3) проверялся алгоритм выявления аномалий ВР показателей работы ТС. На первом этапе эксперимента определялась способность алгоритма находить аномальные участки на ВР и качество поиска аномалий. На втором этапе определяется способность алгоритма на основе

найденных аномалий судить о наличии неисправностей в ТС и выдавать рекомендации. В данном пункте оценка эффективности предложенных результатов выполнялась на основе технической диагностики агрегатов, а именно, главного редуктора и силовой установки двигателя. Были выделены главные показатели для выделенных элементов, по которым можно определять исправность или дефектность двигателя.

Для главного редуктора это температура масла главного редуктора и давление масла главного редуктора. Для силовой установки - температура выхлопных газов, температура масла на входе, давление масла. Данные по этим показателям получались с датчиков, установленных на двигателе через определенные интервалы времени, в результате чего получились ВР, на основании анализа которых можно определить исправность двигателя. Были определены параметры функций принадлежности для получения НВР и последующего ЭнВР.

С помощью эксперта были составлены паттерны поведения, фиксирующие наличие частых смен состояния показателя, либо наличие скачков смен состояния (когда состояние меняется сразу через несколько диапазонов). Разработана Fuzzy OWL-онтология, которая имеет иерархическую структуру и включает в себя 55 классов, 8 объектных свойств, 40 типов данных. Описание результатов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа ВР показателей агрегатов ТС

Номер ряда	Показатель	Наличие паттернов	Необходимость диагностики
номер XXXXX1			
Главный редуктор			
1.	Температура масла	1 ситуация паттерна «Несколько смен состояния»	Не требуется
Левый двигатель			
2.	Давление масла	2 ситуации паттерна «Несколько смен состояния»	Не требуется
...			
Правый двигатель			
3.	Давление масла	2 ситуации паттерна «Несколько смен состояния»	Не требуется
Бортовой номер XXXX2			
Главный редуктор			
4.	Давление масла	1 ситуация паттерна «Прыжок с переходами»	Необходимо наблюдение
Правый двигатель			
5.	Температура выходных газов	3 ситуации паттерна «Несколько смен состояния» и 7 ситуаций паттерна «Прыжок с переходами»	Рекомендуется провести диагностику

Оценка эксперта по анализируемым ВР совпадает с рекомендациями системы за исключением ВР под номером 20.

По проведенному сравнению можно сделать выводы, что предложенный метод позволяет выявлять аномалии.

П 4.4 четвертой главы посвящен оценке внедрения разработанной программной системы балансировки мощностей предприятия (ПБМП) для предприятия филиала ПАО «Ил» – Авиастар. Проведена оценка сокращения времени выполнения расчета балансировки мощностей в ходе АТПП с использованием разработанной подсистемы по сравнению с существующим на данный момент на предприятии подходом.

Результаты оценки сокращения времени выполнения операции расчета мощностей предприятия и их балансировки сведены в таблицу 2. Для проведения оценки эксперт выполнил с замером времени операцию расчета мощностей предприятия имеющимися на данный момент инструментами и с помощью разработанной подсистемы балансировки.

Таблица 2 – Результаты замеров времени выполнения операции балансировки мощностей предприятия

Задача	Существующий подход	ПБМП
Ввод производственных программ	2-3 часа/прогр.	1-2 минуты*
Ввод мощностей цеха	1-4 часа	1-2 минуты
Ввод коэффициентов	1-2 часа	30-60 минут
Балансировка мощностей	3-10 часов	10-20 минут
Формирование рекомендаций	1-2 часа	1-2 минуты
Итого (по предприятию)	2-4 дня	1-2 часа

Таким образом, разработанная программная подсистема позволяют значительно сократить сроки выполнения операции балансировки мощностей предприятия в задачах автоматизированной технологической подготовки производства.

В **заключении** сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В ходе диссертационного исследования получены следующие результаты:

1. Проведен сравнительный анализ методов и средств АТПП, в том числе средств решения задачи балансировки мощностей и прогнозирования состояния технических систем на основе анализа диагностических временных рядов, современных средств диагностики технических систем.

2. Выполнен научный обзор методов анализа временных рядов, применения методов в задачах АТПП; сравнительный анализ методов анализа ВР и методов выявления аномалий во ВР.
3. Разработана модель и алгоритм балансировки мощностей с применением алгоритмов прогнозирования временных рядов производственных показателей и онтологий в задачах АТПП.
4. Разработана математическая модель энтропийного временного ряда, адаптированная для решения задач АТПП.
5. Разработан алгоритм прогнозирования, отличающийся применением энтропийного временного ряда для задач прогнозирования поведения производственно-технологической системы.
6. Разработаны модель и алгоритм выявления аномалий энтропийного временного ряда показателей производственно-технологической модели на основе элементарных паттернов поведения.
7. Разработана модель и алгоритм интерпретации выявляемых аномалий для выявления и прогнозирования дефектных состояний технических систем на основе интеллектуальной системы, включающей базу нечетких правил.
8. Разработана архитектура программной системы балансировки мощностей на основе онтологического подхода и использования прогнозирования временных рядов в АТПП.
9. Разработана программная система балансировки мощностей на основе онтологического подхода и прогнозирования временных рядов в АТПП.
10. Проведены вычислительные эксперименты, основными результатами которых являются следующие выводы:
 - а. Разработанная модель и алгоритм прогнозирования позволяют получать прогнозные значения со степенью точности, достаточной для решения задач АТПП.
 - б. Разработанная модель и алгоритм позволяют обнаруживать аномалии во временных рядах и определять дефекты ТС на основе найденных аномалий.
11. Результаты исследований внедрены в процесс расчета баланса производственных мощностей предприятия филиала ПАО «Ил»-Авиастар, в ходе проведения внедрения получено сокращение сроков балансировки мощностей в АТПП с нескольких часов до нескольких минут. В конкретном расчете достигнуто сокращение сроков в 8 раз.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных Перечнем ВАК России:

1. Анализ временных рядов в задачах управления архивом конструкторской технологической документации / И.А. Тимина, Ю.А. Радионова, Н.Г. Ярушкина, Е.Н. Эгов // Радиотехника. – 2015. – № 6. – С. 83-88.

2. Прогнозирование состояния технической системы с применением меры энтропии для нечетких временных рядов / Н.Г. Ярушкина, В.В. Воронина, И.А. Тимина, Е.Н. Эгов // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 3(41). – С. 49-57
3. Ярушкина, Н.Г. Применение энтропийной меры в диагностике технических временных рядов / Н.Г. Ярушкина, В.В. Воронина, Е.Н. Эгов // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 2. – С. 55-63
4. Ярушкина, Н.Г. Алгоритм выявления новых аномалий в диагностике технических временных рядов / Н.Г. Ярушкина, Е.Н. Эгов // Автоматизация процессов управления. – 2016. – № 2(44). – С. 24-34
5. Эгов, Е.Н. Нечеткое моделирование и генетическая оптимизация временных рядов в интеллектуальной системе технической диагностики / Е.Н. Эгов, Н.Г. Ярушкина, Д.В. Яшин // Радиотехника. – 2016. – № 9. – С. 64-71
6. Моделирование процесса технологической подготовки производства на основе онтологического инжиниринга / Н.Г. Ярушкина, В.Н. Негода, Ю.П. Егоров, Е.Н. Эгов [и др.] // Автоматизация процессов управления. – 2017. – № 4(50). – С. 94-100.
7. Идентификация аномалий временных рядов метрик проектной деятельности на основе энтропийных мер / И.А. Тимина, Е.Н. Эгов, Ю.П. Егоров, Е.Н. Эгов [и др.] // Радиотехника. – 2017. – № 6. – С. 128-135
8. Яшин, Д.В. Использование нейронной сети для выбора методов прогнозирования временного ряда в гибридной комбинированной модели / Д.В. Яшин, Е.Н. Эгов // Радиотехника. – 2018. – № 6. – С. 54-62
9. Мошкина, И.А. Прогнозирование состояния проекта по временным рядам метрик и выявленным аномалиям / И.А. Мошкина, Е.Н. Эгов // Автоматизация процессов управления. – 2019. – № 2(56). – С. 67-74.
10. Ярушкина, Н.Г. Прогнозирование состояния технической системы с применением энтропийных временных рядов / Н.Г. Ярушкина, Е.Н. Эгов // Автоматизация процессов управления. – 2021. – № 4(66). – С. 78-86. – DOI 10.35752/1991-2927-2021-4-66-78-86.

Статьи, проиндексированные в SCOPUS

11. Timina, I.A. Application of the anomaly pattern in forecasting time series of project activity metrics / I.A. Timina, E.N. Egov, A.A. Romanov // Информационные технологии и нанотехнологии : Сборник трудов ИТНТ-2018, Самара, 24–27 апреля 2018 года / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. – Самара: Предприятие "Новая техника", 2018. – Р. 1794-1799.
12. The use of the aggregator for choosing the method of forecasting time series / I.A. Timina, E.N. Egov, N.G. Yarushkina, D.V. Yashin // RPC 2018 - Proceedings of the 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications : 3, Vladivostok, 18–25 августа 2018 года. – Vladivostok, 2018. – Р. 8482168. – DOI 10.1109/RPC.2018.8482168
13. Timina, I.A. Fuzzy models in forecasting time series of project activity metrics / I.A. Timina, E.N. Egov, A.A. Romanov // Journal of Physics: Conference Series : electronic edition, Samara, 24–27 апреля 2018 года. – Samara: Institute

- of Physics Publishing, 2018. – P. 012205. – DOI 10.1088/1742-6596/1096/1/012205.
14. Moshkina, I.A. Applying method of phase plane to a fuzzy trend when predicting the project metrics presented by time series / I.A. Moshkina, E.N. Egov, A.A. Romanov // Сборник трудов ИТНТ-2019, САМАРА, 21–24 мая 2019 года. – САМАРА: Новая техника, 2019. – P. 737-742. – EDN OFEUIP.
 15. Timina, I.A. Project Management on Base Analysis of Fuzzy Time Series of Project Activity Metrics / I.A. Timina, S.K. Kiselev, E.N. Egov // Studies in Fuzziness and Soft Computing. – 2021. – Vol. 393. – P. 553-566. – DOI 10.1007/978-3-030-47124-8_45.

Статьи, опубликованные в иных изданиях

16. Эгов, Е.Н. Перспективы применения меры энтропии в анализе временных рядов / Е.Н. Эгов // Прикладные информационные системы. – 2014. – № 1. – С. 15-20.
17. Извлечение и прогнозирование временных рядов производственных процессов / И.Ф. Дьяков, И.А. Мошкина, А.А. Романов, Е.Н. Эгов // Шестнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2018 : Труды конференции: в 2-х томах, Москва, 24–27 сентября 2018 года. – Москва: Федеральное государственное предприятие «Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)» филиал «Российская книжная палата», 2018. – С. 3-11.
18. Эгов, Е.Н. Исследование и разработка моделей и алгоритмов автоматизации проектирования средств диагностики технических систем на основе энтропийных мер временных рядов / Е.Н. Эгов, Н.Г. Ярушкина // Вузовская наука в современных условиях : сборник материалов 54-й научно-технической конференции. В 3 ч., Ульяновск, 27 января – 01 февраля 2020 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2020. – С. 246-249.
19. Романов, А.А. Модели временных рядов в задачах прогнозирования, поиска аномалий и диагностики / А.А. Романов, И.А. Мошкина, Е.Н. Эгов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : Материалы V Всероссийской Пospelовской конференции с международным участием, Зеленоградск, Калининградская область, 18–20 мая 2020 года / Под редакцией А.В. Колесникова. – Зеленоградск, Калининградская область: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2020. – С. 545-552.
20. Интеллектуальный предиктивный мультимодальный анализ слабоструктурированных больших данных / Н.Г. Ярушкина, И.А. Андреев, Г.Ю. Гуськов [и др.]. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2020. – 220 с. – ISBN 978-5-9795-2088-9.

Свидетельства на регистрацию программы для ЭВМ:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018663984 Российская Федерация. Информационная система формирования баланса производственных мощностей : № 2018661799 : заявл. 26.10.2018 : опубл. 08.11.2018 / Н.Г. Ярушкина, Г.Ю. Гуськов, А.А. Романов, Е.Н. Эгов ; заявитель федеральное государственное

- бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет».
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019664659 Российская Федерация. Подсистема интеграции информационной системы формирования баланса производственных мощностей : № 2019663597 : заявл. 01.11.2019 : опубл. 12.11.2019 / Н.Г. Ярушкина, Г.Ю. Гуськов, А.А. Романов, Е.Н. Эгов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет».
 3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019664886 Российская Федерация. Подсистема моделирования сценариев развития производственных мощностей : № 2019663773 : заявл. 01.11.2019 : опубл. 15.11.2019 / Н.Г. Ярушкина, Г.Ю. Гуськов, А.А. Романов, Е.Н. Эгов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет».
 4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610690 Российская Федерация. Сервис диагностирования и прогнозирования технических систем : № 2019667785 : заявл. 31.12.2019 : опубл. 17.01.2020 / Н.Г. Ярушкина, Е.Н. Эгов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет».
 5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022610252 Российская Федерация. Сервис прогнозирования состояния технических систем с применением энтропийных временных рядов : № 2021681141 : заявл. 17.12.2021 : опубл. 10.01.2022 / Н.Г. Ярушкина, Е.Н. Эгов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет»

Эгов Евгений Николаевич

**Исследование и разработка моделей и алгоритмов автоматизации
технологической подготовки авиастроительного производства на основе
энтропийных временных рядов**

Автореферат

Подписано в печать 14.07.2022. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 1,40.

Тираж 100 экз. Заказ ____.

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Северный Венец, 32.