

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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)

**Диссертация**

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Ярушкина Надежда Глебовна

Ульяновск – 2022

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 7  |
| Глава 1. Сравнительный анализ методов и средств автоматизированной технологической подготовки производства .....   | 19 |
| 1.1. Анализ методов и средств автоматизированной технологической подготовки производства, в том числе средств решения задачи балансировки мощностей .....  | 19 |
| 1.1.1. Анализ методов автоматизированной технологической подготовки производства .....   | 19 |
| 1.1.2. Анализ программных систем автоматизированной технологической подготовки производства.....   | 28 |
| 1.2. Прогнозирование состояния технических систем на основе анализа диагностических временных рядов оборудования в автоматизированной технологической подготовки производства. Функциональные возможности современных средств диагностики технических систем ..... | 36 |
| 1.2.1. Основные понятия диагностики оборудования при автоматизированной технологической подготовки производства. ....  | 36 |
| 1.2.2. Анализ методов и средств диагностики технического состояния оборудования при автоматизированной технологической подготовки производства.....  | 40 |
| 1.3. Место анализа временных рядов в поиске дефектов технических систем .....  | 41 |
| 1.3.1. Модели диагностических временных рядов. ....  | 41 |
| 1.3.2. Классификация дефектов технических системы и процессов поведения эксплуатационных характеристик на основе временных рядов   | 42 |
| 1.3.3. Классификация аномалий временных рядов диагностических индикаторов.....   | 44 |

|  |    |
|--|----|
| 1.4. Программные средства анализа временных рядов в задачах диагностики .....  | 46 |
| 1.5. Постановка задачи исследований .....  | 48 |
| Глава 2. Модели и алгоритмы балансировки мощностей и технической диагностики оборудования на основе анализа временных рядов в задачах автоматизированной технологической подготовки производства ..... | 51 |
| 2.1 Модель и алгоритмы балансировки мощностей на основе прогнозирования временных рядов производственных показателей в задачах автоматизированной технологической подготовки производства.....         | 51 |
| 2.1.1 Методика производственно – технологического моделирования авиационного производства.....   | 51 |
| 2.1.2 Построение функциональной модели «КАК ЕСТЬ».....   | 53 |
| 2.1.3 Задача и модель балансировки мощностей предприятия на основе прогнозирования временных рядов производственных показателей .....  | 61 |
| 2.1.4 Алгоритм расчета баланса мощностей по оборудованию (на примере механокаркасного производства) .....  | 67 |
| 2.2 Архитектура подсистемы балансировки мощностей на основе прогнозирования временных рядов производственных показателей в задачах автоматизированной технологической подготовки производства.         | 68 |
| 2.2.1 Архитектура подсистемы балансировки производственных мощностей предприятия.....  | 68 |
| 2.2.2 Онтологическая модель базы знаний модели управления жизненного цикла изделия.....  | 70 |
| 2.2.3 Онтология метамодели подсистемы интеграции .....   | 71 |
| 2.2.4 Онтология модуля поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей .....   | 75 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 2.3   | Алгоритм прогнозирования технического состояния оборудования с корректировкой прогноза через применение энтропийного временного ряда. Формирование энтропийного временного ряда и его динамики. ....                       | 80  |
| 2.4   | Математическая модель энтропийного временного ряда для задач поиска аномалий и прогнозирования поведения производственно-технологической системы .....   | 89  |
| 2.5   | Алгоритм прогнозирования временного ряда через прогнозирование значения динамики энтропийного временного ряда. ....  | 90  |
| 2.6   | Алгоритм вычисления аномалий временного ряда показателей производственно-технологической модели на основе энтропий точек ряда..  | 101 |
| 2.7   | Методика интерпретации аномалии энтропийного временного ряда в терминах дефектов технических систем.....   | 105 |
| 2.8   | Выводы по главе.....   | 108 |
| Глава 3. Программная система балансировки мощностей на основе прогнозирования производственных и диагностических временных рядов в автоматизированной технологической подготовки производства ..... |  | 110 |
| 3.1   | Архитектуры программной системы балансировки мощностей на основе прогнозирования производственных и программной системы диагностических временных рядов в автоматизированной технологической подготовки производства ..... | 110 |
| 3.2   | Информационное обеспечение программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов .....  | 114 |
| 3.2.1   | Информационное обеспечение программной системы балансировки мощностей.....   | 114 |
| 3.2.2   | Информационное обеспечение программной системы диагностических временных рядов. База данных.....   | 117 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 3.3  | Обоснование инструментов реализации программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов .....   | 119 |
| 3.4  | Структуры данных программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов .....  | 120 |
| 3.4.1  | Структуры данных программной системы балансировки мощностей  | 120 |
| 3.4.2  | Структуры данных программной системы диагностических временных рядов .....   | 122 |
| 3.5  | Программные модули программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов .....  | 125 |
| 3.5.1  | Программные модули программной системы балансировки мощностей .....  | 125 |
| 3.5.2  | Программные модули программной системы диагностических временных рядов .....   | 131 |
| 3.6  | Диаграммы проекта программной системы программной системы балансировки мощностей и проекта программной системы диагностических временных рядов.....                                  | 140 |
| 3.6.1  | Диаграммы программной системы балансировки мощностей   | 140 |
| 3.6.2  | Диаграммы программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов.....  | 140 |
| 3.7  | Выводы по главе.....   | 150 |
| Глава 4. Эффективность средств диагностики технических систем на основе энтропийных мер временных рядов. Вычислительные эксперименты. Внедрение..... |  | 151 |
| 4.1  | План вычислительных экспериментов по анализу эффективности методов анализа диагностических временных рядов в задачах автоматизированной технологической подготовки производства..... | 151 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.2   | Вычислительные эксперименты эффективности анализа временных рядов на международных бенчмарках .....   | 153 |
| 4.3   | Применение энтропийных мер временных рядов для диагностики (на примере временных рядов вертолетных агрегатов).....  | 157 |
| 4.4   | Анализ результативности внедрения разработанной программной системы балансировки мощностей в процесс расчета баланса предприятия ПАО «Ил» – Авиастар..... | 177 |
| 4.4.1 | Анализ сокращения временных затрат на выполнение операции балансировки мощностей предприятия.....   | 177 |
| 4.4.2 | Прогнозирование состояния производственно- технологических процессов на основе временных рядов производственных показателей...                            | 179 |
| 4.4.3 | Анализ корректности формирования рекомендаций по балансировки мощностей предприятия.....  | 185 |
| 4.4.4 | Анализ зависимости рекомендательного модуля подсистемы балансировки мощностей от качества SWRL-правил.....  | 188 |
| 4.5   | Выводы по главе.....  | 189 |
|       | Заключение .....  | 191 |
|       | Список сокращений .....   | 194 |
|       | Библиографический список .....  | 196 |
|       | Приложение А. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.....   | 215 |
|       | Приложение Б. Акт о внедрении .....   | 220 |
|       | Приложение В. Результаты экспериментов прогнозирования временных рядов..  | 221 |

## ВВЕДЕНИЕ

### Общая характеристика работы

Производство современных летальных аппаратов (самолеты, вертолеты, беспилотные летательные аппараты) (ЛА) является сверхсложным процессом, требующим учитывать множество факторов. В то же время, производство можно рассматривать как сложную техническую систему. 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. Такое разнообразие производств обуславливает большой парк разнообразного станочного оборудования (элементов систем), включая обрабатывающие центры и роботизированные комплексы различного назначения.

Успешность и эффективность самолетостроительного производства определяется в том числе эффективностью средств автоматизации технологической подготовки производства. Стандарты единой системы технологической документации особое внимание уделяют автоматизации технологической подготовки производства (ГОСТ 14419-84 - автоматизированные системы технологической подготовки производства).

Технологическая подготовка производства новых ЛА предусматривает не только разработку технологических процессов их изготовления, но и выбор оптимального варианта выполнения производственной программы в условиях конкретного самолетостроительного предприятия. Оптимизация выполнения производственной программы требует решения задачи балансировки мощностей на основе адекватной производственно-технологической модели. Коэффициенты модели, участвующие в расчетах, на практике часто являются результатами статистических наблюдений на производстве. Новые

технологии, интенсивно внедряемые в самолетостроительное производство, требуют уточнения коэффициентов производственно-технологической модели на основе статистических наблюдений в рамках производства, в том числе на основе анализа производственных временных рядов. Диагностические временные ряды оборудования, используемого в технологических процессах, позволяют прогнозировать техническое состояние станков, приборов, производственных линий для выявления дефектов и учета потенциальных рисков в ходе автоматизированной технологической подготовки производства.

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, Евсеев Д.Г., Фомин В.А., Кривич О.Ю., Сергеев К.А., Денисов В.Т., Бирбраер Р.А. Афанасьев М.Я., Саломатина А.А., Алёшина Е.Е., Яблочников Е.И, Куликов Д.Д. и др.

Зарубежные и российские ученые, внесшие значительный вклад в область применения онтологий в СППР и описания знаний о предметной области: D. Bianchini, F. Bobillo, U. Straccia, R.A. Falbo, M. Gao, T.R. Gruber, N. Guarino, G. Guizzardi, G. Stumme, A. Maedche Вагин В.Н., Хорошевский В. Ф., Гаврилова Т.А., Грибова В.В., Загорулько Ю.А., Клещев А.С., Норенков И.П., Пальчунов Д.Е., Смирнов С.В., и др.

Зарубежные и российские ученые, внесшие значительный вклад в область диагностики ТС: Bogdan Żółtowski, Petra Dančová, Jan Novosád, N.A. Makhutov, R.S. Akhmetkhanov, E.F. Dubinin, V.I. Kuksova, V. Yakimov, G. Maltsev, Баженов Ю.В, Каленов В.П и др.

Зарубежными и российскими учеными, внесшими значительный вклад в область анализа и прогнозирования временных рядов являются Box D., Jenkins G., Chen S.M., Granger C., Herbst G., Novak V., Perfilieva I.G., Батыршин И.З.,



Ковалев С.М., Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В. и др. Проблеме обнаружения аномалий для ВР посвящены исследования: Chandola, Agyemang, Ходж и др.

Зарубежные и российские ученые, внесшие значительный вклад в область выявления аномалий во ВР: Chandola V., Kumar V., Banerjee A., Agyemang M., Barker K., Alhajj R., Hodge V., Austin J. Kyeong-Joong Jeong, Yong-Min Shin, Audibert, J., Michiardi, P., Guyard, F., Marti, S., Zuluaga, M. А. Афанасьева Т.В., Раюшкин Э.С., Щербаков М.В., Чесноков М.Ю. и др.

Зарубежные и российские ученые, внесшие значительный вклад в область энтропии ВР: Xiaofeng Liu, Aimin Jiang, Ning Xu, Jianru Xue, Stephan Schwill, Mirna Ponce-Flores, Juan Frausto-Solís, Guillermo Santamaría-Bonfil, Mikhailovsky, G.E., Levich, A.P., Ковалев М.С. и др.

В то же время задача анализа и интерпретации производственных и диагностических временных рядов с учетом проблемной области не решена в полном объеме.

## **Актуальность темы**

Применение концепции управления жизненным циклом изделия в сложном многооперационном производстве, характерном для предприятий машиностроения, необходимое условие повышения конкурентоспособности, за счет повышения качества выпускаемой продукции, сокращения сроков проектирования и производства изделий, уменьшение издержек.

Основным преимуществом концепции является быстрый доступ к нужной и актуальной информации об изделии.

Управление процессами жизненного цикла изделия является сложной задачей, для ее решения применяют целый набор автоматизированных систем управления. Важными функциями концепции является формирование информационного пространства, единого для различных автоматизированных систем, используемых на предприятии, объединение методик и средств информационной поддержки изделий на протяжении всех стадий жизненного цикла.

Внедрение новых элементов АПУ в общую систему или добавление нового изделия сопряжено с большим количеством временных и ресурсных издержек. В условиях работы предприятий в рамках больших корпораций всегда будет актуальной задача быстрой оценки возможности включения в цикл производства новых изделий и необходимых ресурсов для этого.

Качество ЛА, их стоимость и сроки выпуска в значительной степени определяются 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.

В существующих отечественных (АСКОН, Вертикаль) и зарубежных (НПП «Интермех» (г. Минск), TECHCARD; Siemens PLM Software, Tecnomatix) САПР представлена возможность оптимизации технологических процессов, балансировки оборудования и производственного персонала, формирования технологической последовательности. Но среди существующих систем автоматизации проектирования (САПР) и систем автоматизации технологической подготовки производства (АСТПП) не представлены программные модули для уточнения коэффициентов используемых производственно-технологических моделей за счет прогнозирования производственных временных рядов. Отмечая значимость автоматизации технологической подготовки производства на самолетостроительном предприятии, можно сделать вывод о необходимости проведения исследований и разработки моделей и алгоритмов с целью сокращения сроков автоматизированной технологической подготовки производства.

Исходя из вышеизложенного крайне актуальной является проблема повышения эффективности технологической подготовки самолетостроительного производства за счет создания интегрированных

интеллектуальных автоматизированных систем.

Исходя из вышеизложенного тема диссертации, которая посвящена разработке методов и средств балансировки оборудования и производственного персонала, автоматизации технологической подготовки производства (АСТПП), в которых для уточнения коэффициентов используемых производственно-технологических моделей используется интеллектуальный анализ временных рядов является актуальной.

### **Цель диссертационной работы**

Целью диссертационной работы является 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, 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 автоматизированной технологической подготовки производства.
4. Разработать математическую модель энтропийного временного ряда, адаптированную для решения задач автоматизированной технологической подготовки производства.
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-технологической модели авиастроительного производства.
7. Разработать модели и алгоритмы интерпретации выявляемых 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 автоматизированной технологической подготовке производства.
9. Разработать программную систему балансировки мощностей на основе онтологического подхода и прогнозирования временных рядов в автоматизированной технологической подготовке производства.

10. Провести вычислительные эксперименты, подтверждающие результативность решения задач автоматизированной технологической подготовки производства на основе разработанных моделей и алгоритмов.
11. Внедрить программную систему балансировки мощностей на основе онтологического подхода и прогнозирования временных рядов в автоматизированной технологической подготовке производства 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, отличающиеся 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**

Полученные в ходе выполнения диссертационной работы результаты применялись в ряде НИОКР, выполненных в Ульяновском государственном техническом университете, которые были направлены на решение научно-технических задач. К наиболее важным результатам относятся:

1. Грант РФФИ №14-01-31092 «Разработка метода интеллектуального анализа многомерных нечетких временных рядов», участник.
2. Грант РФФИ №15-41-02413 «Интеллектуальный анализ временных рядов на основе нечетких онтологий, извлекаемых из Интернет-ресурсов», участник.
3. Грант РФФИ № 16-47-732070 «Исследование и разработка моделей прогнозирования нечетких тенденций метрик проектной деятельности», участник.
4. Грант 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)», участник.
5. Грант РФФИ № 18-47-730025 «Исследование и разработка средств диагностики технических систем на основе энтропийных мер временных рядов», руководитель.
6. Грант РФФИ № 18-47-730022 «Исследование и разработка моделей цифрового производства на базе интеллектуального анализа данных», участник.
7. Государственное задание №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», участник.

### **Достоверность результатов диссертационной работы**

В ходе выполнения вычислительных экспериментов были подтверждены

достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Также достоверность научных положений, выводов и рекомендаций были подтверждены результатами использования созданных алгоритмов и методик в программе балансировке мощностей для предприятия 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-ой всероссийской научно-практической конференции "Прикладные информационные системы", УлГТУ-2014, 49й Научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях», УлГТУ-2015, 2-ой всероссийской научно-практической конференции "Прикладные информационные системы", УлГТУ-2015, 7-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2015, VIII-ой 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, 50й Научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях», УлГТУ-2016, 3-ей всероссийской научно-практической конференции "Прикладные информационные системы", УлГТУ-2016, во второй Российско-Тихоокеанской конференции по Компьютерным Технологиям и Приложениям (RPC 2017), 2ой 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).

Основные положения и результаты неоднократно докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях УлГТУ «Вузовская наука в современных условиях».

## **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 к публикации некоторых результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад соискателя 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.

# ГЛАВА 1. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

## 1.1. Анализ методов и средств автоматизированной технологической подготовки производства, в том числе средств решения задачи балансировки мощностей

### 1.1.1. Анализ методов автоматизированной технологической подготовки производства

#### 1.1.1.1. *Анализ нормативной базы технологического проектирования*

Технологическая подготовка производства (далее по тексту ТПП) – процесс, представляющий собой комплекс подготовительных работ конструкторско-технологического характера, предоставляющий возможность выполнению технологических процессов на всех этапах производства изделий, отвечающих требованиям заказчика или рынка данного класса изделий [1].

ТПП состоит из следующих основных процедур с группировкой по видам деятельности [2]:

- технологическое планирование цехов основного производства на основе решения задачи балансировки мощностей;
- технологическая проработка конструкторской документации(КД);
- планирование, проектирование, изготовление и планово-предупредительный ремонт (далее ППР) оборудования и технологической оснастки на основе диагностики технического состояния;

- управление технологической документацией;
- организация подготовки производства к проведению наземных и летных испытаний и последующему сопровождению авиационной техники (далее АТ).

При технологическом планировании цехов основного производства применяются следующие виды работ [3]:

1. расчет сметы затрат на технологическую подготовку для производства изделия;
2. разработка цикловых графиков сборки, монтажа и испытаний агрегатов и изделия;
3. разработка документации технологического планирования сборочно-технологического комплекта (СТК) и групп опережения (далее по тексту – ГО);
4. разработка технологических характеристик цехов основного производства;
5. расчет перечня технологического оборудования;
6. разработка технологических планировок;
7. формирование заявок на технологическое оборудование.

Цикловой график сборки – технический документ, разработанный на основе комплексного план-графика (КПГ), технологической документации, директивных данных об объеме производственной программы выпуска изделий и трудоемкости изготовления агрегатов и изделия [4].

Перечни СТК и групп опережения разрабатываются для обеспечения комплектной, плановой и диспетчерской работы цехов и предприятия. СТК в совокупности с ГО определяют последовательность комплектации и сборки изделия.

Технологическая характеристика цеха – документ, определяющий технологический профиль цеха, руководящий материал при распределении

объемов работ по производству деталей, сборочных элементов, агрегатов и изделий в целом.

Технологическая проработка КД в процессе постановки на производство нового изделия и при конструктивных изменениях в процессе серийного производства включает в себя следующие этапы работ [5]:

- расцеховка изготовления деталей и сборочных единиц (СБЕ);
- разработка технологического маршрута;
- централизованное нормирование расхода материалов;
- проработка КД изделия на технологичность;
- определение комплекта средств СТО, обеспечивающего производство изделия головных серий;
- определение рациональных и согласованных межцеховых условий поставки деталей и сборочных единиц;
- оформление ведомости подготовки производства (ВПП) и ведомости плазово-шаблонной оснастки (ВПШО) на проектирование и изготовление средств технологического оснащения.

Основными задачами планирования, проектирования, изготовления и ППР технологической оснастки являются:

- обеспечение выполнения подготовки производства изделия в сроки комплексного план-графика;
- координация работы всех подразделений, участвующих в подготовке производства.

ТПП связана со стадиями жизненного цикла продукта, предусматривает проведение работ при проектировании изделий, изготовлении опытных образцов и единичных изделий, постановке на производство серийных изделий.

Задача ТПП при проектировании изделия является формирование определяющих технологических и организационных решений по его производству.

Основная цель ТПП – это обеспечение технологической готовности производства (ТГП). Под ТГП подразумевается, что на предприятии имеется полный набор документов (конструкторских и технологических), средства технологического оснащения, которые требуются для выпуска запланированного объема продукции под установленные технико-экономические показатели.

В процессе проведения ТПП *опытных экземпляров или единичных изделий* необходимо решить следующие задачи [6]:

- отработка в производственных условиях, определяющих технологических и организационных решений по изготовлению изделия;
- обеспечение технологической готовности производства к изготовлению для приемочных испытаний опытных образцов, единичных и других изделий, подлежащих промышленному освоению.

Критерием завершения ТПП опытных образцов и единичных изделий является фактическое выполнение работ, предусмотренных планом, подтвержденное оценкой технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний, которую выполняет изготовитель с привлечением, при необходимости, независимых экспертов из специализированных технологических организаций, если они не участвуют в ТПП.

К задачам ТПП серийных изделий относятся задачи обеспечения ТГП к изготовлению запускаемых в производство изделий, а также изделий, ранее освоенных другими изготовителями или изготавливаемых по технической документации иностранных организаций.

Критерием завершенности ТПП серийных изделий является фактическое выполнение работ, предусмотренных планом, подтвержденное оценкой технологической готовности производства к изготовлению серийных изделий.

Помимо указанных выше функций ТПП также имеются следующие:

1. обеспечение технологичности элементов конструкции;
2. расцеховка деталей и сборочных единиц с целью распределения объемов работ между цехами основного производства предприятия;
3. организация и управление ТПП.

ТПП проводится в соответствии с установленной государственными стандартами Единой системой организации и управления процессами технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Технологическая подготовка производства, согласно ЕСТПП, должна проводиться по календарному плану, ТПП проводится применительно к установленному типу производства и организационно-технической структуре предприятия.

Организационную, информационную и техническую совместимость работ ТПП обеспечивают на основе применения: рациональных параметрических и типоразмерных рядов объектов производства (изделий), типовых конструкторско-технологических и организационных решений, требований действующей нормативно-технической документации, прогрессивных информационных технологий на основе единых баз конструкторско-технологического назначения, методов информационного и математического моделирования процессов ТПП, методов сетевого планирования и управления ТПП.

Технологическая подготовка производства проводится согласно комплексного план-графика подготовки производства и изготовления первого изделия (далее по тексту КПГ). Возможно применение трех форм организации работ по ТПП:

- децентрализованная,

- централизованная;
- смешанная.

Децентрализованная форма ТПП применяется на предприятиях единичного и мелкосерийного производства. Методическое руководство осуществляют подразделения главного металлурга (ПГМет), главного технолога (ПГТ), главного сварщика (ПГС). Также они проводят работы по типизации технологических процессов и унификации оснастки. На технологические бюро цехов (ТБ) возлагаются прочие работы. Централизованная форма ТПП применяется на предприятиях крупносерийного и массового производства. На таких предприятиях ТБ занимаются внедрением разработанных технологических процессов. Смешанная форма используется при серийном типе производства. В таком случае, ТБ выполняют разработку операционных рабочих технологических процессов.

Для сокращения цикла ТПП и снижения затрат используется ЕСТПП за счет применения типовых и стандартных техпроцессов. Использование ЕСТПП дает возможность снизить затраты на проведение ТПП (в среднем, в 1,5-2 раза), увеличить производительность труда работников (в мелкосерийном на 30-35%, а крупносерийном и массовом производствах на 10-15%), улучшить технический уровень производства и качество изготовления продукции [6-8].

Ассоциативное проектирование с применением CAD/CAM-систем является актуальным подходом к проектированию и подготовке производства авиационной техники. Внедрение такого подхода позволит выполнять конструкторско-технологическую отработку изделия с целью выбора наиболее эффективного технологического метода (механической обработки, штамповки, сварки, сборки), для подбора оптимального оснащения и выбора соответствующего оборудования [9].



Для обеспечения постоянного улучшения организации необходимо вводить международные стандарты ИСО 9001, ИСО/ТУ 16949, ИСО 14001, AS 9100, OHSAS 18001, применять методы менеджмента качества: «анализ видов, причин и последствий потенциальных несоответствий» (FMEA) и «развертывание функции качества» (QFD). Данные внедрения позволяют организациям развивать и совершенствовать базовые системы менеджмента и являются организационными инновациями. Так, основным элементом «развертывания функции качества» будет развёртывание требований потребителя в производстве. Результатом такого развертывания будет достижение технических характеристик производства, отвечающих ожиданиям потребителя. При реализации таких подходов сроки подготовки производства к выпуску нового изделия сокращаются на 30–50%.

Ключевым фактором, обуславливающим успешность внедрения инновационных технологий, выступают системы управления предприятием. Для повышения результативности существующих технологий, либо новых применяются инновации на основе лучших мировых достижений, прописанных в международных стандартах и методах менеджмента качества. Применение инноваций позволяют повысить конкурентоспособность предприятий [10].

#### 1.1.1.2. *Анализ требований к инструментальным средствам производственного и технологического моделирования*

Основу технологического, а соответственно и производственного моделирования на российских предприятиях закладывают рекомендации Р 50-54-5-87 «ЕСТПП Разработка графической информационной модели системы технологической подготовки производства» [11] введенный взамен ГОСТ 14.104-74 «ЕСТПП. Правила разработки графической информационной модели системы технологической подготовки производства» [12].

Рекомендации определяют назначение, структуру и правила разработки графической информационной модели системы ТПП. Целью документа

является разъяснение всем сотрудникам, занятым в ТПП (руководители отраслевых отделов, служб, а также непосредственно цеховые технологи и т.д.), подходов к созданию и функционированию графической модели ТПП [13, 14].

Непосредственно под термином «Графическая информационная модель системы ТПП» подразумевается системное описание процесса подготовки производства, с выделением всех подпроцессов и их взаимосвязей.

Подобная графическая модель служит для достижения следующих целей:

1. для каждого элемента определяется входная и выходная информация, решаются вопросы единообразия представления совокупности этой информации, что приводит к информационной совместимости задач внутри системы;
2. формализуется состав блоков задач, для решения в системе при ТПП;
3. визуализируются информационные связи при реализации задач ТПП, что позволяет вести учёт и корректировку информационных потоков при модификации методов решения задач ТПП;
4. формируются укрупненные требования для методов решения задач ТПП;
5. происходит приведение к единообразию технологических средств, которые используются в системе для сбора, хранения и обработки информации;
6. проводят сравнительный анализ различных систем технологической подготовки производства с целью установления общности различий при построении системы ТПП;
7. устанавливаются информационные взаимосвязи системы ТПП с другими системами, а том числе автоматизированной системой управления качеством;
8. оптимизация административной структуры служб ТПП.

Для оптимизации сложных процессов ТПП применяют концепцию цифрового производства. По сути, это набор инструментов планирования, проверки и моделирования производственных процессов, находящаяся в единой виртуальной среде [15, 16].

В условиях цифрового производства, если производство обеспечено заказами и процесс изготовления серийный, то основными задачами является оптимизация производственного процесса, снижение издержек и достижение требуемого качества. Первые два пункта реализуются оптимальной загрузкой, оптимизацией цепочек поставок и т.д. минимизируя простои оборудования и персонала. Если производство в стадии технологической подготовки нового изделия – то соответственно еще ускорение постановки изделия на производство, сокращение опытных образцов. Каждый опытный образец, или проверка решений «в металле» приводит к неоправданным затратам, экономически выгодно производить все с первого раза [17-20].

Основные компоненты цифрового производства [21]:

1. Создание инструкций (рабочих техпроцессов)
2. Формирование связанных технологических инструкций
3. Планирование процесса сборки
4. Симуляция процесса сборки

Технологическая структура – термин характеризующий различное представление структуры изделия у конструктора (функциональные узлы) и технолога (производственные этапы). Проработанная структура членения конструкции – залог оптимального процесса сборки в развитой производственной системе. На процесс разбиения конструкции имеет большое влияние оснащение производственных площадок.

Основные риски связанные с технологической структурой:

1. Разбиение технологической структуры вслепую (хотя часто технологическое членение на предприятиях может и не проводиться) приводит к многочисленным и дорогостоящим ошибкам.

2. Не полное соответствие структур конструкторского и технологического дерева (как правило отсутствие инструмента проверки полного потребления ДСЕ)
3. Создание технологической структуры не использующей полностью производственные мощности, на разных площадках или разных этапах освоения изделия.
4. Невозможность или сильное ограничения сдвига цикла КТПП к стадии конструирования.

### **1.1.2. Анализ программных систем автоматизированной технологической подготовки производства**

#### *1.1.2.1. Возможности инструментального средства агрегатора инженерных данных TeamCenter*

Teamcenter – пакет масштабируемых программных решений, применяемый для поддержки жизненного цикла изделий. Решения Teamcenter предназначены для ускорения разработок изделий, уменьшение сроков их вывода на рынок, проверку на соответствие законодательным и управленческим требованиям, оптимизации использования ресурсов организации и поддержки сотрудничества со смежниками [22].

Возможности TeamCenter:

1. Разработка множества технологических структур на основе конструкторской на условно любой стадии проработки
2. Визуализированное построение технологической структуры
3. Проверка соответствия структур. Визуализация несоответствия конструкторского и технологического представления.
4. Единные процесс верификационного контроля, процессов изменения и конфигурации
5. Создание связей конструкторская – технологическая структура для поддержки процессов конфигурации и сквозного внесения изменений в единой системе.

Система Teamcenter предоставляет возможность создания защищенной среды для информации, получаемой из различных систем САМ, МСAD, САЕ, САСЕ, ЕСAD и ЕСМ. Полученная информация хранится как в единый источник знаний о проектируемых изделиях и используется для выполнения следующего спектра задач:

- Управление данными об изделиях.
- Управление структурой и конфигурациями изделия.
- Управление процессами и инженерными изменениями.

Стоит выделить ряд аспектов, которые Teamcenter не способен учитывать. При планировании процессов важную роль играют сквозное описание технологических процессов от заготовки до точки потребления. Без подобного описания расчеты планов не могут быть проведены эффективным образом. Это касается как загрузки оборудования так и смен суточного планирования и т.д. Потеря эффективности управления в первую очередь заметна при проведении любых конструктивных изменений на разорванных, кусочно описанных процессах. При отсутствии возможности описания параллельности работ, проводимых на сборке крупных элементов невозможно составить правильный расчет цикла производства.

Общей проблемой недостаточной информационной поддержки является концентрация знаний только в головах без построения соответствующей базы знаний.

#### 1.1.2.2. Система автоматизированного проектирования технологических процессов «Вертикаль»

Вертикаль – это САПР техпроцессов. Она решает большинство задач в рамках ТПП и предоставляет возможность упрощения формирования и сопровождения техпроцессов, повышения качества ТД и оптимизации показателей использования ресурсов предприятия [23].

К возможностям системы относят:

- Разработка тех. процессов.

- Создание заказов на проектирование СТО и разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ.
- Технологические расчеты.
- Создание ТД в соответствии с требованиями ГОСТ РФ и стандартами, используемыми на предприятии.
- Наличие единого базы знаний для управления жизненным циклом изделия.

«Вертикаль» предоставляет возможность в автоматизированном режиме проектировать тех. процессы. В основе этих тех. процессов устроена иерархическая структура, состоящая из операций, оборудования, оснастки, переходов, профессий и других тех. объектов. Также позволяет выполнять операции параллельного проектирования для сложных и сквозных технологических процессов группой технологов в реальном режиме времени.

В системе имеется возможность разработки как типовых, так и групповых техпроцессов. В рамках этой возможности можно, разово внести общие данные по ТП, и использовать их далее в процессе проектирования. Дополнительно «Вертикаль» имеет возможность создания типовых и групповых технологических процессов на базе ранее разработанного единичного техпроцесса.

Особая компоновка интерфейса системы дает возможность разрабатывать сборочные техпроцессы, в том числе и с применением графической схемы комплектования переходов и операций.

Система дает возможность создания двусторонней связи параметров техпроцессов системы с параметрами, получаемыми от графических документов системы КОМПАС-3D: эскизов, чертежей, 3D-моделей. В случае внесения изменений в графических документах происходит автоматическое изменение аналогичных параметров технологического процесса. Также присутствует возможность и обратного обмена – обновления параметров в графическом документе в случае изменений в техпроцессах.

После завершения разработки техпроцесса, содержащего в себе все сведения, необходимые для производства изделия, система может в автоматическом режиме сформировать комплект ТД.

Комплект ТД на изделие включает документы, которые содержат сведения из единичных технологических процессов, сводную технологическую информацию по всем элементам изделия. К таким документам относят различные ведомости, такие как, ведомость материалов, ведомость специфицированных норм расхода, ведомость маршрутов.

Система может применяться на предприятии как в виде самостоятельного решения и использоваться в процессе ТПП, так и как часть большой системы, при интеграции с другими продуктами АСКОН. В результате база знания об изделиях содержит полную информацию, требуемую для поддержки этапов жизненного цикла изделия. На этапе ТПП выполняется сбор информации по результатам конструкторско-технологического проектирования, а также обмен данными между инженерными службами компании.

#### *1.1.2.3. Производственно-технологическое моделирование на основе системы «ТеМП-2»*

Методы и средства моделирования применяются на многих этапах жизненного цикла производства самолетов, начиная с проектирования заканчивая организацией послепродажного обслуживания [24-28]. Для организации эффективного производства наиболее интересны технологические и производственные модели. Однако точность многих моделей для организации и оптимизации реального производства недостаточна. А соответственно и их применимость в реальном производстве сильно ограничена.

Производственно-технологическая модель (ПТМ) предприятия создается для поддержки принятия управленческих решений на основе

подготовки и сравнительного анализа возможных и целевых сценариев производственного планирования [29].

Производственно-технологическое моделирование является по сути имитационным и событийным, основываясь на информационных и алгоритмических моделях реализуемых бизнес процессов и технологических процессов.

Под ПТМ понимается параметризованная информационно-алгоритмическая (имитационная) модель, характеризующая производственный процесс на требуемом уровне детализации (рабочее место, участок, цех, предприятие, группа предприятий) на основе взаимосогласованных конструкторско-технологических и производственных данных. Задачами ПТМ являются [30]:

1. получение характеристик текущего и прогнозного состояния производственной системы под заданные ресурсы в определённый период времени;
2. моделирование поведения производственной системы на стрессоустойчивость при дефиците мощностей и ресурсов;
3. поиск и обоснование необходимых проектно-инвестиционных решений;
4. мониторинг эффективности использования имеющихся мощностей, трудовых и финансовых ресурсов.

При создании моделей, независимо от их назначения, предъявляются ряд требований, основные из них [31]:

1. Рациональность применяемых решений, что определяет качественно новый подход к решению задач ТПП и организацию всей системы ТПП. В процессе разработки моделей систем ТПП указанное требование должно найти отражение в следующих процессах:
  - а. при установлении оптимальной организационной последовательности решения задач ТПП;



- б. при определении рациональных информационных связей блоков и состава необходимой для решения задач информации;
  - в. при определении характера и последовательности выполнения процедур при решении задач ТПП;
  - г. при разработке вариантов решения типовых задач ТПП.
2. Информационная совместимость блоков модели независимо от методов решения задач, что определяет однозначные требования к составу входной информации блоков независимо от вариантности решения задач ТПП. Без этого требования невозможно реализовать метод агрегатирования при разработке моделей системы ТПП.
  3. Единство информационного языка, что подразумевает единство условных графических изображений (символов), применяемой терминологии систем кодирования элементов моделей.
  4. Доступность восприятия, реализуемое наглядным графическим отображением с необходимой степенью детализации проектных решений по совершенствованию системы ТПП предприятия.

Производственно-технологическая модель (ПТМ) – параметризованная модель производственного процесса, которая позволяет:

1. Смоделировать ситуацию на производственном участке при выполнении заданной производственной программы с возможностью 3D просмотра данного процесса;
2. Сформировать производственное расписание;
3. Сформировать план набора численности персонала;
4. Сформировать план заказа оснастки или оборудования;
5. Произвести расчет затрат.

Изменяемые параметры для формирования альтернативных сценариев ПТМ и утверждения Производственного Расписания:

1. Оснастка;
2. Оборудование;
3. Трудоемкость;

4. Количество персонала;
5. Продолжительность рабочего дня;
6. Логистика.

Система «ТеМП» предназначена для подготовки комплекта технологической документации цехового уровня на предприятии. Проектирование технологических процессов в системе основывается на принципах имитационного моделирования с формированием ассоциативной (по отношению к объекту) технологией, детерминированной до уровня нормативов времени и автоматизированного выбора инструмента.

Применение инструмента «производственно-технологическая модель» на стадии:

1. Проектирования - выявляет отклонения на ранних этапах жизненного цикла изделия;
2. Конструкторско-технологической подготовки производства – формирует прогнозные сценарии развития производства; производственное расписание;
3. Производства – проводит мониторинг и оптимизацию существующей ПТМ.

Для анализа и выявления отклонений, для формирования прогнозных сценариев развития производства, для формирования производственного расписания на стадии конструкторско-технологической подготовки производства требуются производственно технологические планировки.

Для мониторинга и оптимизации существующей ПТМ на стадии производства требуются рабочие технологические процессы.

Занеся всю эту информацию, получаем фактическую производственно-технологическую модель на основе которой рассчитываются сценарии развития. Выбрав наиболее экономически выгодный для предприятия сценарий и оптимальное планировочное решение, система «ТеМП» может формировать план технического развития, оптимальное производственное расписание, план набора численности персонала (рисунок 1.1).

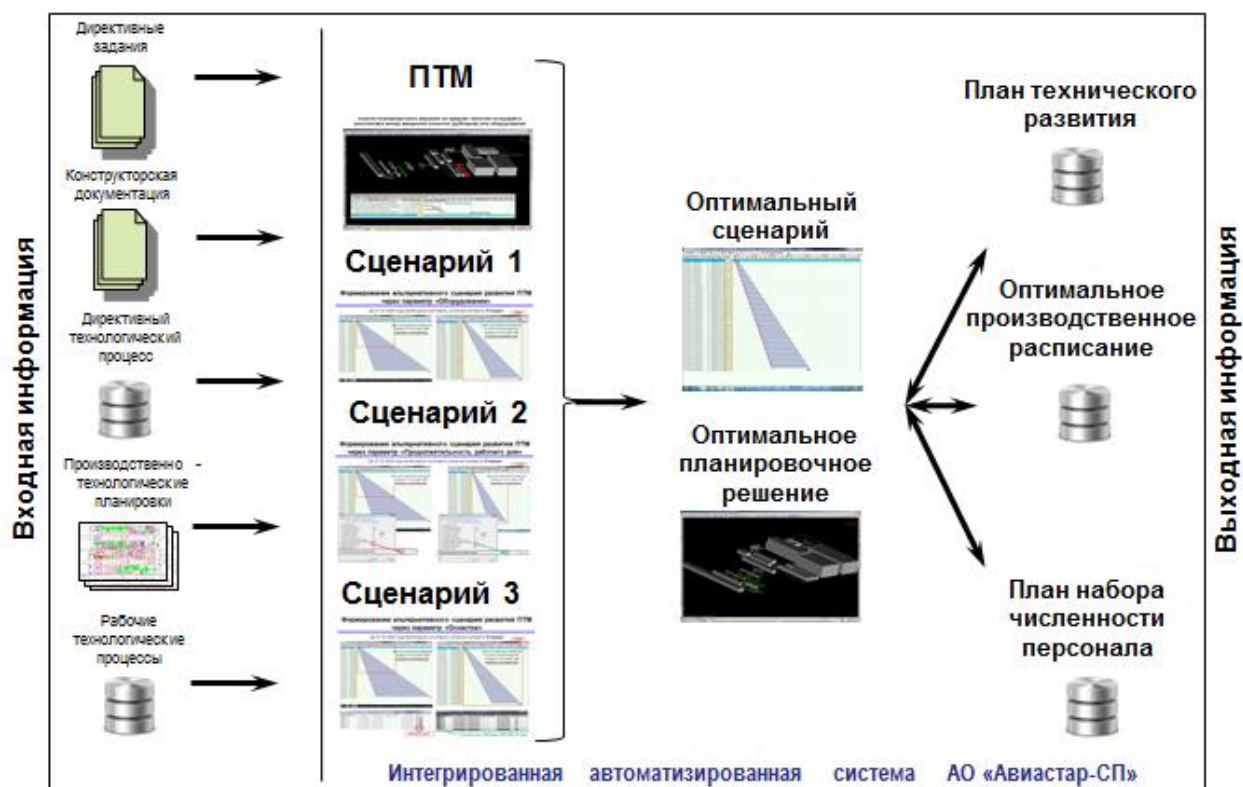


Рисунок 1.1 – Схема создания оптимального сценария развития ПТМ

Функционал позволяет выявить несимметричность загруженности ресурсов, оптимизировать сроки поставки комплектующих и загруженность персонала, сократить издержки (рисунок 1.2).

Если вернуться к задаче балансировки мощностей, то стоит отметить, что при планировании производственного цикла или составления производственной программы важно учитывать состояние оборудования, используемого на производстве. Также одним из важных пунктов ТПП является составление ППР имеющегося оборудования. Для составления графика ППР и определения возможной загруженности оборудования в производственных программах, требуется проводить его техническую диагностику.

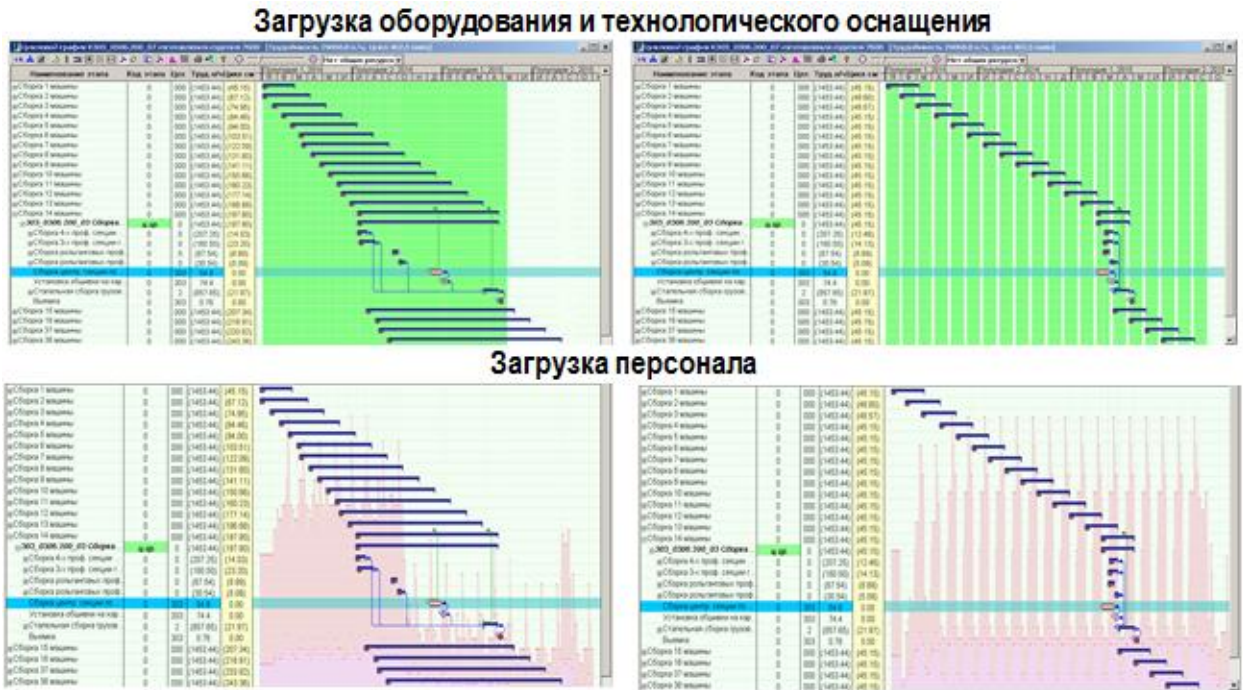


Рисунок 1.2 – Методика и алгоритмы для анализа и оптимизации загрузки ресурсов в ПТМ

## 1.2. Прогнозирование состояния технических систем на основе анализа диагностических временных рядов оборудования в автоматизированной технологической подготовке производства. Функциональные возможности современных средств диагностики технических систем

### 1.2.1. Основные понятия диагностики оборудования при автоматизированной технологической подготовке производства.

Из определения ГОСТ 20911-89 «*техническая диагностика (ТД)* – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния (ТС) объектов» [32].

ТД направлено на решение следующих взаимосвязанных задач:

- идентификация технического состояния и отнесение его к одному из видов состояний;

- определение места отказа системы или выявление неисправностей в системе;
- прогнозирование вида технического состояния системы.

Объект или система, ТС которого требует проверки, называется *объектом диагностирования (ОД)*.

*Техническое состояние (ТС)* объекта – это состояние технического устройства, которое в настоящий момент времени характеризуется определенными значениями параметров.

«Контроль технического состояния – проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из видов технического состояния в данный момент времени» [32]. В стандартах указаны возможные состояния, в которых может находиться ОД, определяются следующим образом:

- *Исправное техническое состояние* – это состояние объекта, соответствующее всем требованиям документации, в частности конструкторской, нормативно-технической и т.п.
- *Неисправное техническое состояние* – это состояние объекта, несоответствующее хотя бы одному из требований технической документации.
- *Работоспособное техническое состояние* – это такое состояние объекта, при котором показатели всех элементов системы, характеризуются способностью выполнять требуемые от них функции в соответствии требованиям документации.
- *Неработоспособное техническое состояние* – состояние объекта, в рамках которого наблюдается отклонение значения хотя бы одного элемента объекта, характеризующего способность выполнять указанные функции, от требований документации.

Другими словами, *работоспособное состояние* можно охарактеризовать как состояние ОД, при котором оно способно выполнять

свои задачи, сохраняя значения определенных параметров в границах, установленных документацией. Таким образом, если ТС выполняет требуемые от нее функции и значения параметров находятся в допустимых пределах, то она считается работоспособной [33].

*Отказом* является переход из работоспособного состояния в состояние неработоспособное. Различают [34]:

- *Полный отказ* – это отказ, приводящий к полной потере работоспособности ОД – прекращению выполнения функций системы.
- *Частичный отказ*, приводящий к потере работоспособности и функционированию ОД, в несоответствии нормативным требованиям, т.е. ОД продолжает выполнять только часть требуемых функций или выполнять эти функции с меньшими значениями выходных параметров.

Причиной, которая приводит к потере работоспособности или резкого снижения значений выходных параметров, является дефект. При возникновении дефекта снижается степень работоспособности ОД и повышается вероятность наступления отказа системы, приводящая ОД в неработоспособное состояние [35]. В таких случаях необходимо наличие целенаправленных обоснованных видов неисправности и алгоритмов диагностирования.

К прикладным задачам ТД можно отнести следующие [36]:

- контроль технического состояния,
- идентификация отказа (неисправности),
- поиск отказавшего элемента
- определение причин отказа, прогнозирование технического состояния.

В диагностике принято, что ОД может иметь множество состояний (выделяют классы состояний). Но, можно ограничить число классов

состояний, если они будут привязаны к определенным объемам работ по контролю технического состояния, проведению технического обслуживания и их периодичности. В практике эксплуатации технических систем широко распространены четыре класса технического состояния [36]:

- I – хорошее состояние, при котором техническое обслуживание и ремонт не требуется;
- II – удовлетворительное состояние, при котором контроль ТС осуществляется с сокращенной периодичностью;
- III – неудовлетворительное состояние, при котором проводится ТО или ремонт;
- IV – аварийное состояние, при котором происходит немедленная остановка, проводится ТО или ремонт.

Международный стандарт ISO 2372 [37], который относится к вибрационной диагностике, выделяет следующие классы технического состояния:

- хорошее,
- приемлемое,
- допустимое,
- недопустимое.

Неисправности ТС можно разделить на следующие виды [38]:

- Нарушения функционирования, повреждения. К таким неисправностям относятся нарушения исправного технического состояния в ходе эксплуатации объекта.
- Неправильное функционирование. К ним относятся нарушения алгоритма функционирования в ходе эксплуатации и/или при изготовлении объекта.
- Дефекты. Нарушение качества изготовления.

Диагностирование представляет собой процесс исследования ОД с целью выявления в нем неисправностей. В качестве результатов

диагностирования состояния ОД будут заключения вида: ОД находится в исправном состоянии, неисправном состоянии, в объекте имеют место неизвестные неисправности [39].

Диагностирование проводится на разных этапах жизненного цикла ОД: в процессе производства, во время эксплуатации, во время хранения и во время проведения ремонта [40]. В процессе производства, во время эксплуатации или хранения объектов в них могут возникать и копиться неисправности. Некоторые из таких неисправностей могут приводить к тому, что ОД перестает удовлетворять предъявляемым к нему требованиям и переходит в неработоспособное состояние. Перед вводом в эксплуатацию ОД необходимо определять присутствие дефектов, которые могут повлиять на его работоспособность и явиться причиной неисправности ОД. На этот вопрос отвечает процесс выявления дефектов в ОД. Он детализируется в зависимости от режима и особенностей использования ОД и, исходя из этого, определяют следующий спектр задач выявления дефектов [41]:

1. проверка исправности, на предмет выявления неисправных ОД. ОД исправен, если он удовлетворяет всем требованиям нормативных документов;
2. проверка работоспособности, целью которой является выяснение, выполняет ли объект требуемые по нормативам функции;
3. проверка правильности функционирования, для обнаружения неисправностей, которые нарушают правильную работу ОД.

В случае выявления неисправности ОД, необходимо выявить неисправный элемент для последующего его замены или ремонта [36, 42, 43].

### **1.2.2. Анализ методов и средств диагностики технического состояния оборудования при автоматизированной технологической подготовки производства**

Важным фактором при проектировании высокоэффективных средств диагностики является контролепригодность объекта диагностирования [44].



За счет этого свойства объекта обеспечивается достоверность оценки ТС, а также появляется возможность на ранних стадиях выявлять неисправности и отказы. Данное свойство ОД должно закладываться на этапе разработки системы для обеспечения доступа систем диагностики к ОД и его элементам.

Существует два варианта проведения технической диагностики ОД, находящегося в эксплуатации [45]:

- Функциональное;
- Тестовое.

Методы диагностирования делят на три группы [46]:

1. Методы проверки работоспособности ОД.
2. Методы поиска неисправностей ОД.
3. Методы прогнозирования технического состояния ОД.

### **1.3. Место анализа временных рядов в поиске дефектов технических систем**

#### **1.3.1. Модели диагностических временных рядов.**

Процессы, которые происходят в любом ОД, зачастую имеют случайный характер по причине флуктуации выходных параметров. Подобные явления имеют место возникать в отдельных элементах и устройствах объекта. Это происходит из-за изменения состояния внутренних параметров элементов по причине их старения, внезапных отказов, разрегулирования и т.п. Из-за этих изменений измерение диагностических параметров выполняются при наличии случайных помех, сбоев, погрешностей, усложняющих выявления основной тенденции изменения параметра, которая может свидетельствовать о неисправностях в системе [47].

Вывод о техническом состоянии объекта в большинстве случаев содержит ошибку, так как имеет место воздействие на измерительный канал, шумы и помехи, возникающие в процессе работы подсистем

диагностирования [48]. Корректность проведения диагностической процедуры и вероятность ошибки зависят от ряда событий, которые являются случайными. Исходя из выше сказанного, количественные характеристики показателей диагностирования необходимо дополнять вероятностными характеристиками состояний объекта. Элементы структурной схемы диагностирования оказывают влияние на количественное значение этих вероятностей [49, 50].

Чтобы повысить качество диагностирования важно правильно определить структуру анализируемого ВР [51-55].

В технической диагностике для анализа временных рядов, как правило, применяется следующая обобщенная модель [56]:

$$Z(t) = B(t) + C(t) + X(t) + N(t) \quad (1.1)$$

где  $Z(t)$  – временной ряд;

$B(t)$  – тренд, характеризуемый медленными, постепенными изменениями во временном ряду;

$C(t)$  – периодические функции с фиксированными периодами (сезонная компонента);

$X(t)$  – случайный процесс с нулевым средним, который формируется в результате одновременного действия множества независимых или слабо связанных друг с другом факторов, сравнимых по эффекту своего участия;

$N(t)$  – случайная помеха, которая является комбинацией различных случайных процессов, возникающих в чувствительных элементах диагностических систем (датчиках), каналах связи, измерительных устройствах и преобразователях.

### **1.3.2. Классификация дефектов технических системы и процессов поведения эксплуатационных характеристик на основе временных рядов**

Важным фактором, оказывающим влияние на выбор СД при проведении ТД, является виды дефектов, которые требуется выявить.

*По причинам возникновения* дефекты подразделяют на [57]:

- эксплуатационные;
- производственные;
- конструктивные.

Также, чаще всего в реальных условиях имеет место объединение дефектов. Размеры дефектов сильно влияют на определение способа и технологии восстановления.

### **Классификация процессов поведения эксплуатационных характеристик.**

Под надежностью оборудования понимается его комплексное свойство выполнять заданные функции, сохраняя свои основные эксплуатационные характеристики в установленных пределах. Поэтому при поиске эксплуатационных дефектов первостепенным становится проверка подобных характеристик на предмет принадлежности их значений к нормальному поведению.

Самый простой вариант классификации эксплуатационных характеристик сводится к установлению факта принадлежности или отклонению от заданного нормального поведения этой характеристики:

- соответствуют эталонному поведению;
- имеется отклонение от эталонного поведения.

Процессы, поведение, не соответствующие эталонному, также классифицируются, например, по длительности:

- краткосрочные;
- длительные;
- постоянные.

### **1.3.3. Классификация аномалий временных рядов диагностических индикаторов**

«Аномалия – это участок временного ряда, на котором поведение объекта не соответствует ожидаемым прогнозам или значительно отклоняется от типичного поведения» [58].

В целом, существует множество методов по выявлению аномалий [58], большая часть которых изучает отдельные объекты на предмет отличия от нормальных объектов. Однако они не берут во внимание аспект временной значимости данных. Такие аномалии также упоминается как точечные аномалии.

Проблема обнаружения аномалий для ВР не так хорошо понимается, как традиционная проблема выявления аномалий. Многочисленные исследования: Chandola и др. [59], Agyemang и др. [60], Ходж и др. [61] изучали проблему обнаружения аномалий. Для символической последовательности, было предложено несколько методов обнаружения аномалий. Они представлены в обзоре Chadola и др. [62]. В то время существует ограниченное число методов выявления аномалий для одномерных и многомерных ВР.

Важно уделять внимание не только выявлению аномалий по значению параметра, но и выявлению аномалий по временным интервалам ряда [63, 64].

Аномалия ВР может проявляться по-разному [65, 66]. Она может проявляться:

- в длительном сохранении определенной тенденции;
- в частых сменах тенденций;
- в изменении частоты ряда;
- в значении показателя ниже или выше определенного порогового значения в длительный промежуток времени.

Выделяют следующие задачи поиска аномалий:

- Распознавание аномалий по контексту исследуемого ряда [67].

- Выявление расхождений при сравнении с идеальным (спрогнозированным) рядом.
- Распознавание аномалий в зашумленных рядах (разделение шумов и аномальных значений) [68].

Классифицировать аномалии можно по проблеме обнаружения аномалии данных ВР.

- Обнаружение контекстных аномалий во ВР [69-71].
- Обнаружение аномальной подпоследовательности в течение заданного времени серии [72, 73].
- Обнаружение аномального ВР по ВР баз данных [62, 74].

Некоторые проблемы, связанные с обнаружением аномалий для ВР [75]:

1. Есть много вариантов проявления аномалии, возникающих во ВР. Событие в течение ВР может быть аномальным; подпоследовательность в ВР может быть аномальной; или весь ВР может быть аномальным по сравнению с набором нормальных ВР.
1. Для обнаружения аномальных подпоследовательности, точная длина подпоследовательности часто неизвестна.
2. Тестовые ВР и исследуемый ВР могут быть разной длины.
3. Наилучшие меры сходства/различия, которые могут быть использованы для различных типов ВР не легко определить. Простые меры, такие как евклидово расстояние не всегда работают хорошо, поскольку они очень чувствительны к выбросам, и они также не могут использоваться, когда ВР различной длины.
4. Представления многих алгоритмов обнаружения аномалий очень чувствительны к шуму в данных ВР, так как дифференцировать аномалии от шума является сложной задачей.
5. ВР в реальных приложениях, как правило, больших размеров. И размер ВР увеличивает вычислительную сложность.

6. Многие алгоритмы обнаружения аномалий ожидают несколько ВР, чтобы иметь сопоставимый масштаб по величине, в то время как для большинства данных это невозможно.

Помимо классификации аномалий немаловажным является методы выявления этих аномалий. Все методы условно можно разбить на 2 группы:

- методы поиска аномалий на основе анализа только исходного ВР;
- методы поиска аномалий на основе сравнения исходного ВР с эталонными ВР.

Выше рассматривались методы поиска аномалий, относящиеся к первой группе. Рассмотрим, какие существуют методы поиска аномалий на основе сравнения получаемых ВР с эталонными.

К таким методам относят:

- метод, основанный на базовом ядре [65, 70, 71, 76-91];
- метод, основанный на окнах [92-94];
- марковский метод [86, 88];
- скрытые марковские методы [95-101]

В рамках данного научного исследования не стояла задача анализа больших временных рядов, поэтому детальный обзор методов приводиться не будет.

#### **1.4. Программные средства анализа временных рядов в задачах диагностики**

Существует много средств диагностики технических систем, но они являются узкоспециализированными и малораспространенными. С другой стороны, существует множество программ экономического плана, которые имеют в своем распоряжении функционал для обработки ВР. Так как в случаях использования ВР задача диагностики, как правило, сводится к анализу поведения ВР, то программы, обрабатывающие ВР и используемые в

экономическом анализе, также могут использоваться и в сфере диагностики технических систем при определенной корректировке [102, 103].

Так, в состав математических пакетов (например, MATLAB, Mathcad), электронных таблиц (например, Excel) входят статистические методы анализа ВР.

Ряд пакетов (SAS, STADIA, STATISTICA, SPSS, STATGRAPHICS, S-plus, SYSTAT, MICROSTA) имеют в своем наборе специальные методы, которые при обработке ВР определяют, каким методом будет эффективнее проводить анализ [104-106].

В таблице 1.1 представлен обзор вышеперечисленных программных средств [106].

Таблица 1.1 – Преимущества и недостатки существующих программных средств анализа ВР

| <b>Название</b>               | <b>Преимущества</b>   | <b>Недостатки</b>   |
|-------------------------------|---|---|
| R [107]                       | Поддерживаемые библиотеки; визуализация                     | Сложность обучения  |
| Matlab [108]                  | Простая поддержка матриц; визуализация                      | Высокая стоимость; Неполная поддержка статистики                |
| SciPy [109]/NumPy/ Matplotlib | Разработан на языке программирования Python                 | Недавно разработанный   |
| Excel [110]                   | Простой; Визуальный; Гибкий                                 | Долго обрабатывает большие наборы данных                        |
| SAS [111]                     | Быстро обрабатывает большие наборы данных                   | Высокая стоимость; Написан на устаревшем языке программирования |
| Stata [112]                   | Простой статический анализ                                  |   |
| SPSS [113]                    | По функционалу аналогичен Stata, но дороже и хуже качеством |   |

| Название                             | Преимущества                                      | Недостатки |
|--------------------------------------|---|------------|
| Интернет-сервис для анализа ВР [114] | Экспертная система, основанная на нечеткой логике |            |

Каждое из рассмотренных решений имеет свои плюсы и минусы, так решения Stata, SPSS, MS Excel потребуют меньше финансовых вложений и времени на обучении, но будут менее гибкими для решения специфически задач [115].

## 1.5. Постановка задачи исследований

Тема диссертации посвящена разработке методов и средств балансировки оборудования и производственного персонала, автоматизации технологической подготовки производства (АСТПП), в которых используется интеллектуальный анализ временных рядов для уточнения коэффициентов производственно-технологических моделей.

Целью диссертационной работы является 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 и материалом исследования послужила производственно-технологическая модель на примере агрегатно-сборочного производства самолетостроительного предприятия в условиях мультипродуктовой производственной программы.

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



1. Выполнить сравнительный анализ методов и средств автоматизированной технологической подготовки авиастроительного производства, 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 автоматизированной технологической подготовки производства;
4. Разработать математическую модель энтропийного временного ряда, адаптированную для решения задач автоматизированной технологической подготовки производства.
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-технологической модели авиастроительного производства.
7. Разработать модели и алгоритмы интерпретации выявляемых 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 автоматизированной технологической подготовке производства.

9. Разработать программную систему балансировки мощностей на основе онтологического подхода и прогнозирования временных рядов в автоматизированной технологической подготовке производства.
10. Провести вычислительные эксперименты, подтверждающие результативность решения задач автоматизированной технологической подготовки производства на основе разработанных моделей и алгоритмов.
11. Внедрить программную систему балансировки мощностей на основе онтологического подхода и прогнозирования временных рядов в автоматизированной технологической подготовке производства в деятельность авиастроительного предприятия.

## **ГЛАВА 2. МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ БАЛАНСИРОВКИ МОЩНОСТЕЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

### **2.1 Модель и алгоритмы балансировки мощностей на основе прогнозирования временных рядов производственных показателей в задачах автоматизированной технологической подготовки производства**

#### **2.1.1 Методика производственно – технологического моделирования авиационного производства.**

Процесс моделирования ТПП предусматривает разработку моделей на каждом этапе проектирования, с уточнением детализацией и взаимоувязкой информационных потоков ТПП [116 – 118].

В зависимости от назначения и общности модели представления технологический процесс классифицируются на директивный, типовой, рабочий.

Директивное описание ТП отражает систему ТПП и разрабатывается в головном институте, на конкретных предприятиях.

Рабочие ТП отражают текущее состояние ТПП до ее совершенствования, и оптимизации.

Термины, применяемые при создании и работе с производственно технологической моделью [119 – 126]:

**Процедура** – определенная совокупность элементарных операций по обработке данных, по результату работы которых происходят изменения в составе данных.

**Задача** – совокупность процедур, которые выполняются в строго заданной логической последовательности и при этом определяющих процесс формирования одного или нескольких носителей данных.

**Функция** – набор процессов создания носителей данных, сгруппированных по общности решаемых задач.

**Носитель информации** – материальный объект или физическая среда, который содержит определенный объем информации и используется для ее хранения.

**Документ** – носитель информации, имеющий юридическую силу.

**Блок** – элемент графической информационной модели системы ТПП, имеющим в своем составе: информационный вход, процесс обработки данных, информационный выход и обратную связь.

**Блок-схема** – графический документ модели системы ТПП, в котором отображается взаимосвязь блоков и процессов обработки данных при помощи условных графических обозначений.

**Проектное решение задачи** – постановка задачи и ее программное обеспечение, которые оформлены соответствующей документацией.

С помощью ПТМ решаются задачи:

1. Выявления отклонения на ранних стадиях жизненного цикла изделия.
2. Оптимизации ПТМ на всех стадиях ЖЦИ.
3. Формирования производственного расписания.
4. Мониторинга в реальном времени соответствия утверждённой ПТМ и формирования прогнозных сценариев развития.

ПТМ представляется информационным и инструментальным обеспечением, методами работы с ними а также документами (как текстовыми, так и различных инженерных форматов).

ПТМ состоит из следующих компонент (рисунок 2.1):

- Функциональная модель
- Информационная модель
- Ресурсная модель
- Организационная модель .



Рисунок 2.1 – Структура ПТМ

### 2.1.2 Построение функциональной модели «КАК ЕСТЬ»

В настоящее время концепция создания технологической документации имеет значительное место в организации деятельности любого предприятия [127, 128]. Технолог, не владеющий методами создания технологической документации, не может эффективно смоделировать рабочий процесс [129]. Инженер, не понимающий значение этих методов, обречен на принятие ошибочных решений. На рисунке 2.2 представлена система ТеМП, построенная с точки зрения главного конструктора и инженера.

Контекстная диаграмма представлена функциональным блоком «Создание технологической документации», который имеет в качестве управления «Руководство пользователя», «Нормативные документы», в качестве механизма представлены «Пользователь», «АРМ пользователя». На вход поступают «БД ЭОИ», «БД состава изделия», а на выходе находятся «КК (бумажная версия)», «ЭТД», «ЦГ».

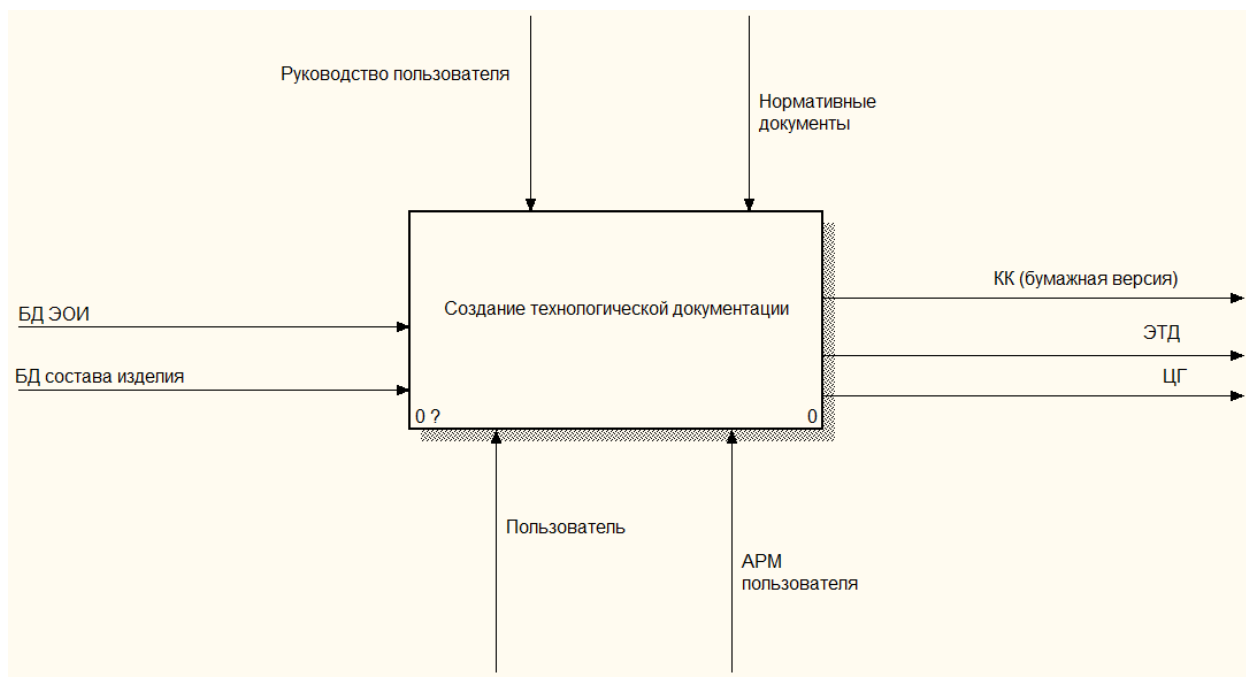


Рисунок 2.2 – Контекстная диаграмма «Создание технологической документации» (нотация IDEF0)

Декомпозиция контекстной диаграммы, представленная на рисунке 2.3, содержит основные функциональные блоки, которые задействованы в системе:

- работа с КД АСУ-Маяк;
- работа с оборудованием и инструментами;
- работа с деревом технологических паспортов;
- работа с технологическим процессом;
- работа с цикловыми графиками изготовления изделия;
- работа с комплекточной картой;
- утверждение директивных технологических процессов;
- разработка дерева состава изделия.

Механизмы «Пользователь» и «АРМ пользователя» служат для выполнения всех блоков.

Функциональные блоки «Работа с КД АСУ-Маяк», «Работа с деревом технологических паспортов». На основании нормативных документов и руководства пользователя (управляющие интерфейсные дуги), пользователь со своего рабочего места для подготовки к работе с технологическим

процессом ведет работу с КД АСУ-Маяк и использует дерево технологических паспортов.

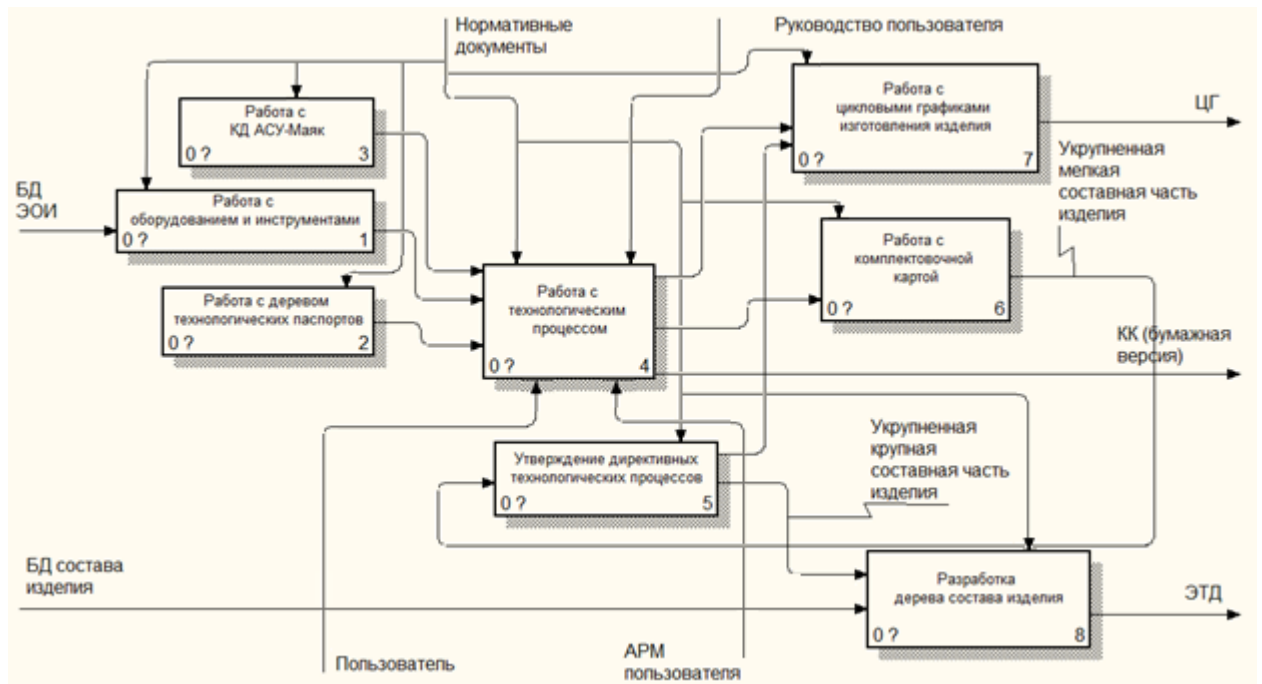


Рисунок 2.3 – Декомпозиция контекстной диаграммы (нотация IDEF0)

Вход «БД ЭОИ» блока «Работа с оборудованием и инструментами» представляет собой набор электронно определенных изделий для выбора и подготовки к работе с технологическим процессом. Определенный набор множества оборудования и инструментов является входом для блока «Работа с технологическим процессом».

Результат работы с технологическим процессом является входом для блоков «Работа с цикловыми графиками изготовления изделия» и «Работа с комплекточной картой». Выход «КК (бумажная версия)» блока «Работа с технологическим процессом» является итогом реализации технологического процесса и включает в себя СТК, чертежи и критерии.

Выход «ЦГ» блока «Работа с цикловыми графиками изготовления изделия» является результатом анализа и представляется собой диаграмму обозначения занятости ресурсов и таблицу из следующих столбцов:

- наименование этапа (в виде дерева этапов);
- код этапа;

- цех/машина;
- технологическая трудоемкость этапа и охватывающая дочерних этапов;
- цикл, охватывающий дочерних этапов (в том числе задний цикл и технологический цикл).

«Укрупненная мелкая составная часть изделия» является входом для блока «Утверждение директивных технологических процессов», который представляет собой дерево укрупненного технологического процесса, имеющего следующую структуру:

- код изделия;
- обозначение укрупненного техпроцесса;
- операция укрупненного техпроцесса;
- обозначение рабочего техпроцесса, привязанного к укрупненному;
- операция в маршрутной карте;
- операция в операционной карте;
- конечное состояние техпроцесса.

Выход данного блока – «Укрупненная крупная составная часть изделия».

«БД состава изделия» и «Укрупненная крупная составная часть изделия» являются входом для блока «Разработка дерева состава изделия», результатом которого будет выход «ЭТД», в комплект которого входит:

- технологический паспорт;
- закрытие паспортов БТК;
- утвержденные технологические паспорта;
- КД АСУ-Маяк;
- инструмент и оборудование.

Следующим шагом построения модели является декомпозиция функциональных блоков диаграммы IDEF0-0. Результатами этой



декомпозиции являются диаграммы IDEF3. Все единицы работ выполняются последовательно в соответствии с правилом временного предшествования.

На рисунке 2.4 представлена декомпозиция блока «Работа с оборудованием и инструментами» в нотации IDEF3.

Функциональный блок состоит из следующих единиц работы (из работ):

- «Добавление в БД оборудования и инструментов»;
- «Обновление БД»;
- «Установка связей между оборудованием и инструментами».

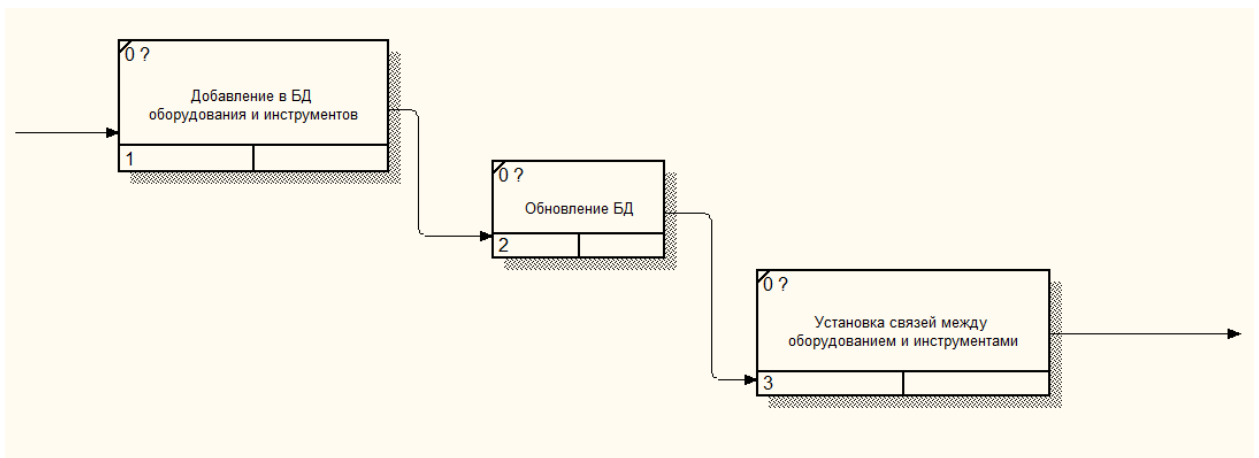


Рисунок 2.4 – Декомпозиция блока «Работа с оборудованием и инструментами» (нотация IDEF3)

Функциональный блок «Работа с деревом технологических паспортов» декомпозируется на рисунке 2.5.

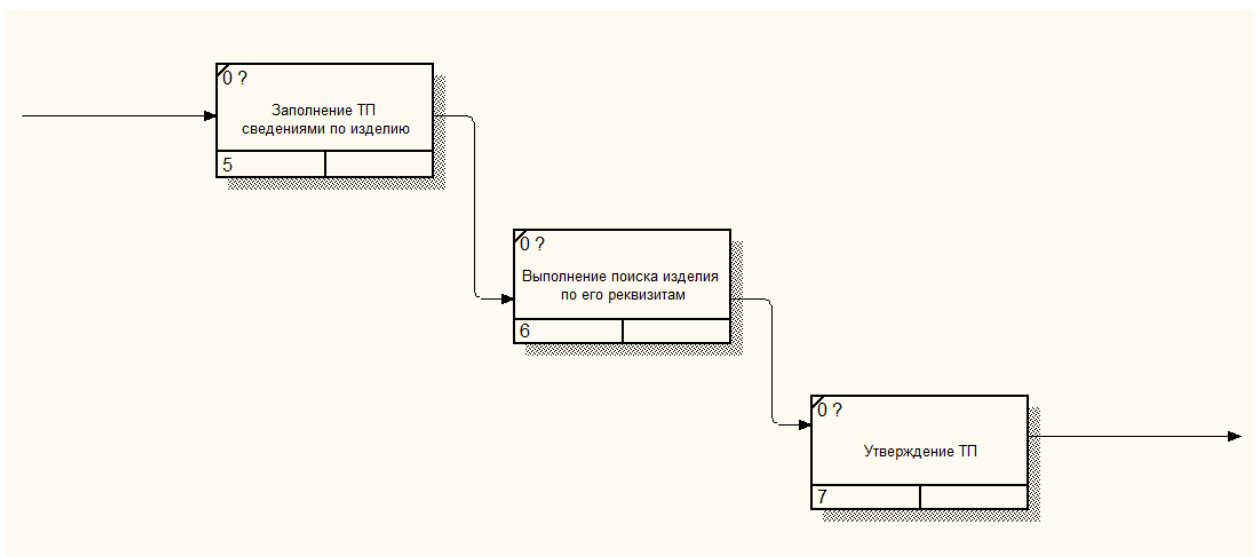


Рисунок 2.5 – Декомпозиция блока «Работа с деревом технологических паспортов» (нотация IDEF3)

Функциональный блок состоит из следующих единиц работы (из работ):

- «Заполнение ТП сведениями по изделию»;
- «Выполнение поиска изделия по его реквизитам»;
- «Утверждение ТП».

Декомпозиция блока «Работа с КД АСУ-Маяк» в нотации IDEF3 представлена на рисунке 2.6.

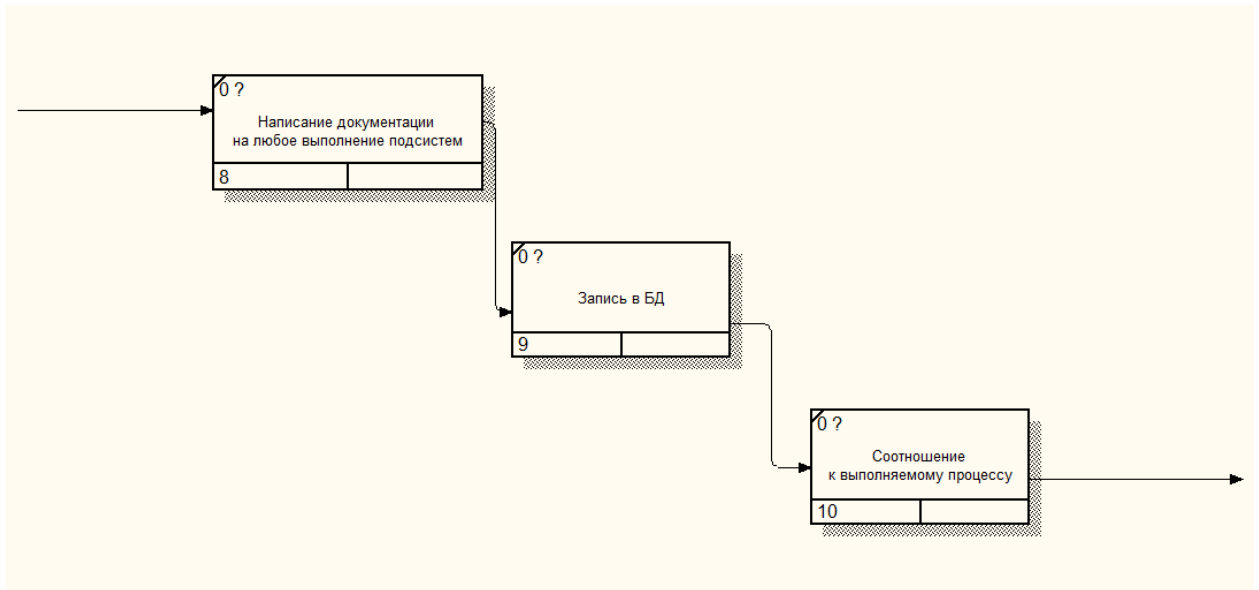


Рисунок 2.6 – Декомпозиция блока «Работа с КД АСУ-Маяк» (нотация IDEF3)

Функциональный блок состоит из следующих единиц работы (из работ):

- «Написание документации на любое выполнение подсистем»;
- «Запись в БД»;
- «Соотношение к выполняемому процессу».

Декомпозиция блока «Работа с технологическим процессом» в нотации IDEF3 представлена на рисунке 2.7.

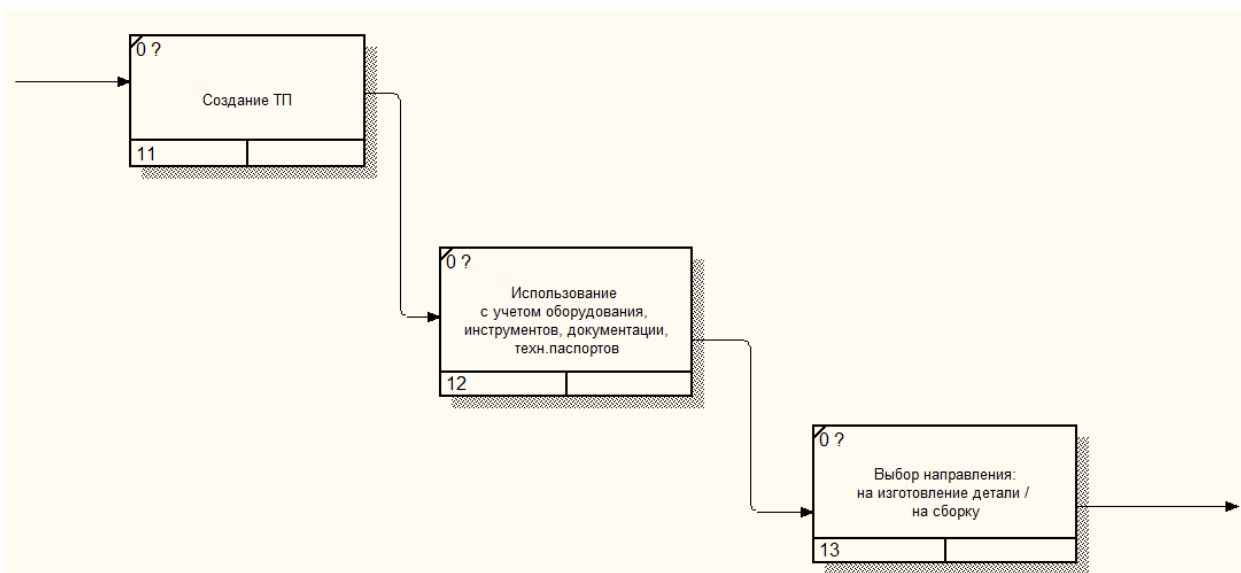


Рисунок 2.7 – Декомпозиция блока «Работа с технологическим процессом» (нотация IDEF3)

Функциональный блок состоит из следующих единиц работы (из работ):

- «Создание ТП»;
- «Использование с учетом оборудования, инструментов, документации, технологических паспортов»;
- «Выбор направления: на изготовление детали / на сборку».

Декомпозиция блока «Работа с цикловыми графиками изготовления изделия» в нотации IDEF3 представлена на рисунке 2.8.

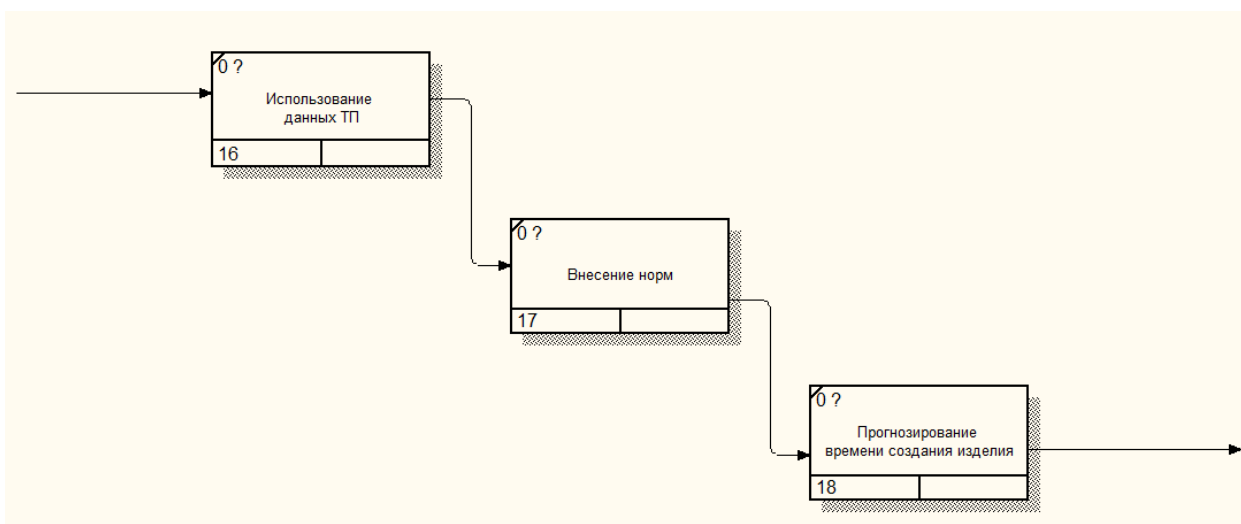


Рисунок 2.8 – Декомпозиция блока «Работа с цикловыми графиками изготовления изделия» (нотация IDEF3)

Функциональный блок состоит из следующих единиц работы (из работ):

- «Использование данных ТП»;
- «Внесение норм»;
- «Прогнозирование времени создания изделия».

Декомпозиция блока «Работа с цикловыми графиками изготовления изделия» в нотации IDEF3 представлена на рисунке 2.9.

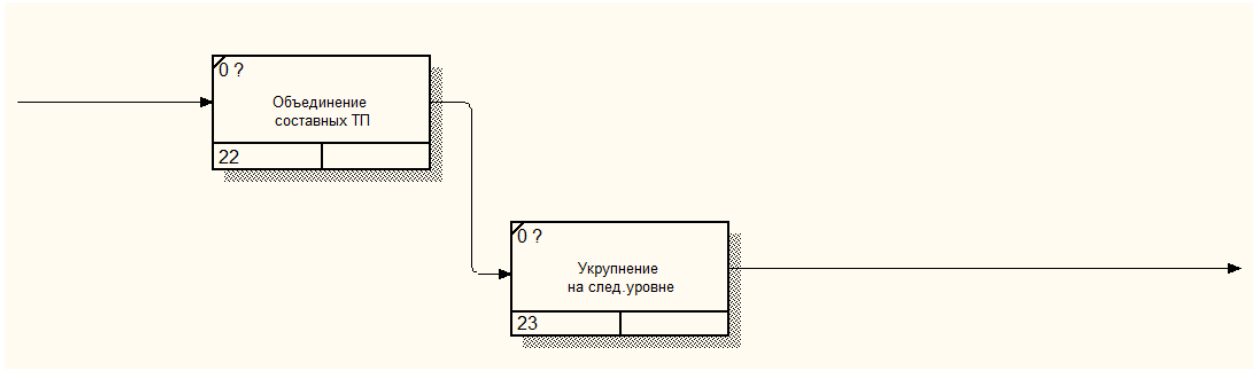


Рисунок 2.9 – Декомпозиция блока «Работа с комплекточной картой» (нотация IDEF3)

Функциональный блок состоит из следующих единиц работы (из работ):

- «Объединение составных ТП»;
- «Укрупнение на следующем уровне».

Декомпозиция блока «Утверждение директивных технологических процессов» в нотации IDEF3 представлена на рисунке 2.10.

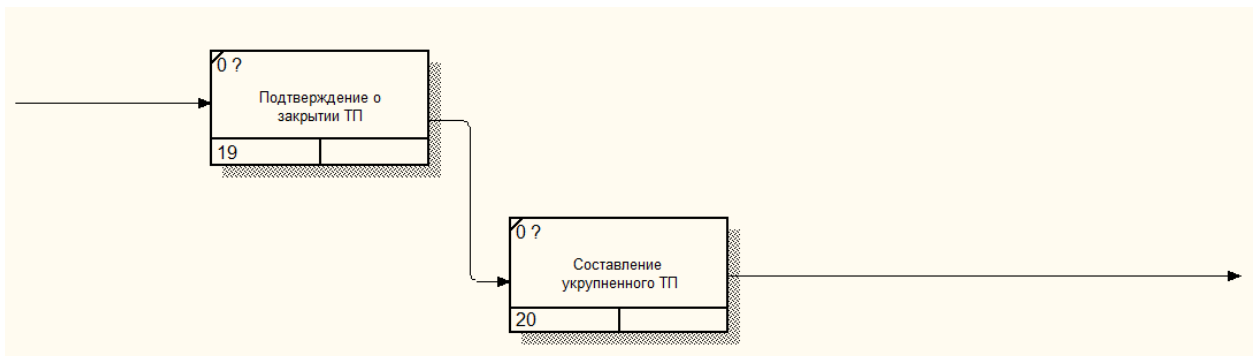


Рисунок 2.10 – Декомпозиция блока «Утверждение директивных технологических процессов» (нотация IDEF3)

Функциональный блок состоит из следующих единиц работы (из работ):

- «Подтверждение о закрытии ТП»;
- «Составление укрупненного ТП».

Декомпозиция блока «Разработка дерева состава изделия» в нотации IDEF3 представлена на рисунке 2.11.

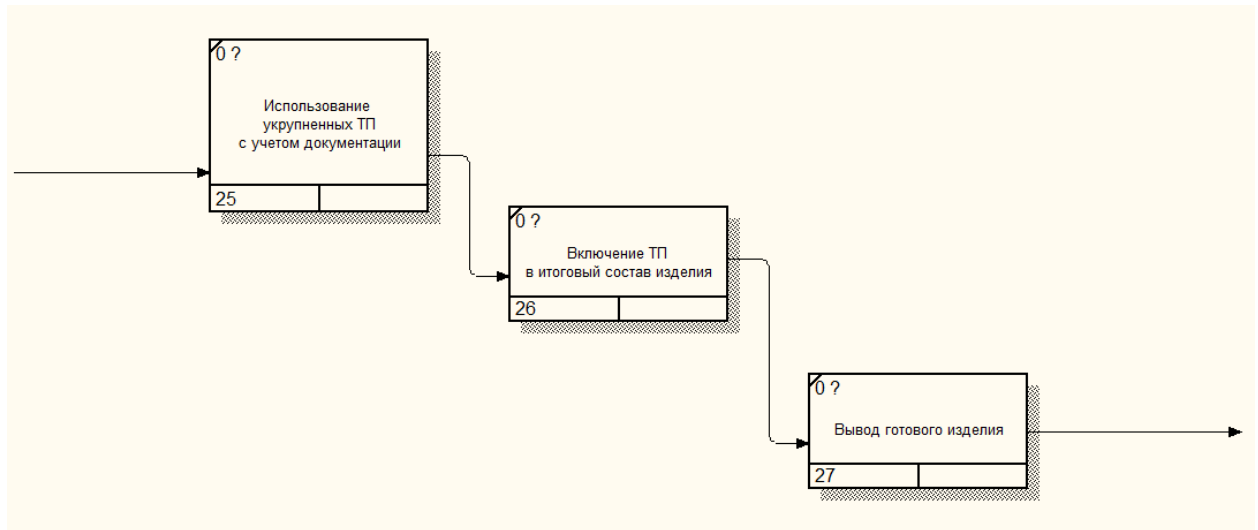


Рисунок 2.11 – Декомпозиция блока «Разработка дерева состава изделия» (нотация IDEF3)

Функциональный блок состоит из следующих единиц работы (из работ):

- «Использование укрупненных ТП с учетом документации»;
- «Включение ТП в итоговый состав изделия»;
- «Вывод готового изделия».

### 2.1.3 Задача и модель балансировки мощностей предприятия на основе прогнозирования временных рядов производственных показателей

Баланс производственных мощностей – это система показателей, описывающих наличие, движение и загруженность производственных мощностей, которые используются в процессе изготовления продукции. Производственная мощность – это возможность имеющихся в распоряжении предприятия различного оборудования (технологического и сборочно-технологического), рабочих (участвующих непосредственно в изготовлении), производственных площадей, производить максимально возможное количество продукции за заданный период в соответствии с установленным режимом работы.

Процесс расчета балансировки производственных мощностей предприятия, включает в себя результаты расчетов балансировки мощностей цехов предприятия с учётом плана производственной программы. Основным результатом выполнения балансировки является дополнение данными технологического паспорта предприятия. Технологический паспорт – это документ, отражающий техническое оснащение предприятия и его производственные характеристики.

Модель балансировки производственных мощностей предприятия представляется следующей формулой:

$$PCB = \langle P_e, P_p, P_a, Pas, Recom \rangle, \quad (2.1)$$

где  $P_x$  – мощности предприятия (оборудование, персонал, площади),

$Pas$  – технологический паспорт предприятия,

$Recom$  – набор рекомендаций по устранению дефицита мощностей

$$P_x = F(PP, Coef, TS), \quad (2.2)$$

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

$PP_i$  –  $i$ -ый 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 ВР этих коэффициентов.

$F$  – алгоритм генерации вариантов балансировки производственных мощностей предприятия.

Производственная программа – планируемый объем изготовления изделий установленной номенклатуры. Программа измеряется в условных единицах продукции и человеко-часах. Помимо производственной программы существует товарная программа, под которой понимается директивный план поставок продукции по отраслевой технике.

Целью работы по систематизации и унификации расчета и управлению мощностями предприятия является реализация товарной программы и минимизация экономических рисков.

Процесс расчета баланса производственных мощностей предприятия состоит из следующих этапов:

1. выполняется расчет мощностей по каждому технологическому переделу, цеху, участку и предприятию в целом;
2. на основе проведенного расчета создается мероприятий по устранению дефицита мощностей;
3. на основе проведенного расчета получается прогноз выполнения товарной программы;
4. на основе проведенного расчета в технологический паспорт предприятия вносятся сведения по загрузке мощностей (указываются фактические показатели на конец предшествующего года, а также прогнозные по текущему году);
5. выполняется расчет консолидированного баланса мощностей по предприятию;
6. выполняется согласование консолидированного баланса мощностей;
7. согласованный баланс мощностей проходит этап утверждения.

Балансировка мощностей производится по 3 основным категориям:

- Оборудование
- Персонал
- Площади

Задача балансировки усложняется, если на предприятие выполняется полный цикл производства изделия, от изготовления деталей до финальной сборки. При этом, габариты готового изделия очень большие (корабль или самолет) [130]. В таком случае, балансировка оборудования для каждого вида производства может отличаться. Следовательно, невозможно составить единый алгоритм балансировки мощностей по оборудованию для каждого

вида производства предприятия. Построим алгоритмы балансировки мощностей оборудования на примере производства самолета.

В полный цикл изготовления самолета могут быть включены производства, начиная от кузнечного (изготовление частей фюзеляжа и т.п.), до финальной сборки корпуса.

Рассмотрим алгоритм балансировки для механокаркасного производства [131].

На производстве занимаются: механической обработкой балок, кронштейнов, фитингов, поясов фюзеляжа всех изделий и т.д., поверхностным упрочнением деталей каркаса планера и т.п.

Расчет баланса производственных мощностей по оборудованию для механокаркасного производства зависит от нескольких параметров:

1. Цех, в которых выполняется механокаркасное производство.
2. Тех. процессы, которые имеются в цехах (для каждого цеха отдельно).
3. Виды станков, расположенных в цехах.
4. Количество оборудования в каждом цеху с дополнительной информацией, срок эксплуатации и к какому виду станков он относится.

Также требуется ряд дополнительных коэффициентов для расчета:

1. Полезный годовой фонд времени работы единицы оборудования (ПГФ) – данный коэффициент нормативную указывает загруженность оборудования в течении года (данный коэффициент будет различаться для разных видов станков, задействованных в разных тех. процессах).
2. Коэффициент использования (КИ) – отражает сколько времени в течении года станок будет работать, а сколько – находится на профилактике.
3. Коэффициент использования оборудования (КИсО) – коэффициент, определяющий используемость оборудования, исходя из вида станка, к которому оно принадлежит и сроку эксплуатации.
4. Коэффициент перевода из человеко-часов в станко-часы (КПчч-сч).



Количество оборудования является основным параметром, необходимым для вычисления проектной мощности (ПМ). Проектная мощность вычисляется отдельно для каждого вида станка и каждого тех. процесса цеха:

$$\begin{aligned} \text{ПМ(цех, тех. процесс, вид станка)} = \\ \text{Количество(цех, тех. процесс, вид станка)} * \\ \text{ПГФ(тех. процесс, вид станка)}, \end{aligned}$$

где Количество (цех, тех. процесс, вид станка) – количество станков цеха, задействованных в тех. процессе и относящихся к определенному виду станков;

ПГФ (тех. процесс, вид станка) – коэффициент полезного годового фонда времени работы единицы оборудования для определенного вида станка и определенного тех. процесса.

Для расчета располагаемой мощности, также требуется Коэффициент износа оборудования (КИО). В нем, как и в ПМ основным расчетным параметром будет выступать количество оборудования. Рассчитывается КИО по следующему алгоритму:

$$\text{КИО(цех, тех. процесс, вид станка)} =$$

Если(Количество(цех, тех. процесс, вид станка) == 0), то 1,

иначе

$$\frac{\sum_{сэ} \text{Количество(цех, тех. процесс, вид станка, сэ)} * \text{КИсО(вид станка, сэ)}}{\text{Количество(цех, тех. процесс, вид станка)}}$$

где сэ – срок эксплуатации оборудования (обычно берется 5 этапов в диапазоне  $[0, \infty)$  с разбивкой на 5 лет каждый);

Количество (цех, тех. процесс, вид станка, сэ) – это количество станков цеха, задействованных в тех. процессе и относящихся к определенному виду станков и входящих по сроку эксплуатации в текущий сэ;

КИсО (вид станка, сэ) – коэффициент использования оборудования для определенного вида станка и относящийся к определенному сэ.

Располагаемая мощность оборудования (РМО) рассчитывается на каждый тех. процесс каждого цеха в разрезе видов станков цеха. Она будет иметь следующую формулу:

$$\begin{aligned} \text{РМО(цех, тех. процесс, вид станка)} = \\ \text{ПМ(цех, тех. процесс, вид станка)} * \text{КИ} * \\ \text{КИО(цех, тех. процесс, вид станка)}, \end{aligned}$$

Исходя из РМО на текущий год и производственную программу на каждый вид изделия, производимых на предприятии на  $n$  лет вперед рассчитывается коэффициент загрузки оборудования (КЗО) на эти  $n$  лет.

Для расчета КЗО из производственной программы необходимо получить следующую информацию:

- Производственная программа (ППц) для каждого цеха и вида изделия
- Доля работ цеха (ДРц) в разрезе тех процесса цеха, вида станков и изделия.

На основе этой информации рассчитывается производственная программа в разрезе человек-часов (ППчч):

$$\begin{aligned} \text{ППчч(год, цех, тех. процесс, вид станка)} = \\ \sum_{\text{изд}} \text{ППц(год, цех, тех. процесс, вид станка, изд)} \\ * \text{ДРц(год, цех, тех. процесс, вид станка, изд)} \end{aligned}$$

где изд – изделие, выпускаемое на предприятие,

ППц (цех, тех. процесс, вид станка, изд) – производственная программа изделия на определенный год в ч/ч для определенного цеха, его тех. процесса, вида станка;

ДРц (цех, тех. процесс, вид станка, изд) – доля работ для определенного вида станков тех. процесса цеха по производственной программе изделия на определенный год.

Для получения итогового КЗО полученное значение ППчч переводят из ч/ч в станко-часы, деля на коэффициент КПчч-сч.

Формула расчета КЗО будет следующей:

$$\begin{aligned} & \text{КЗО(год, цех, тех. процесс, вид станка)} = \\ & \text{Если (РМО(цех, тех. процесс, вид станка)} == 0), \text{ то } 0, \\ & \text{иначе } \left( \frac{\text{ППчч(год, цех, тех. процесс, вид станка) / КПчч - сч}}{\text{РМО(цех, тех. процесс, вид станка)}} \right) \end{aligned}$$

#### **2.1.4 Алгоритм расчета баланса мощностей по оборудованию (на примере механокаркасного производства)**

Итоговый алгоритм расчета баланса мощностей по оборудованию для механокаркасного производства представлен на рисунке 2.12.

Так как расчет баланса мощностей зависит от производственной программы, то делать по нему прогнозы не представляется возможным. Однако, в расчетах используются различные коэффициенты, например, коэффициент использования, который требуется знать на будущий период, но который не поддается расчетам. В данном случае уместно применить метод прогнозирования для определения величины коэффициента на весь период расчета.

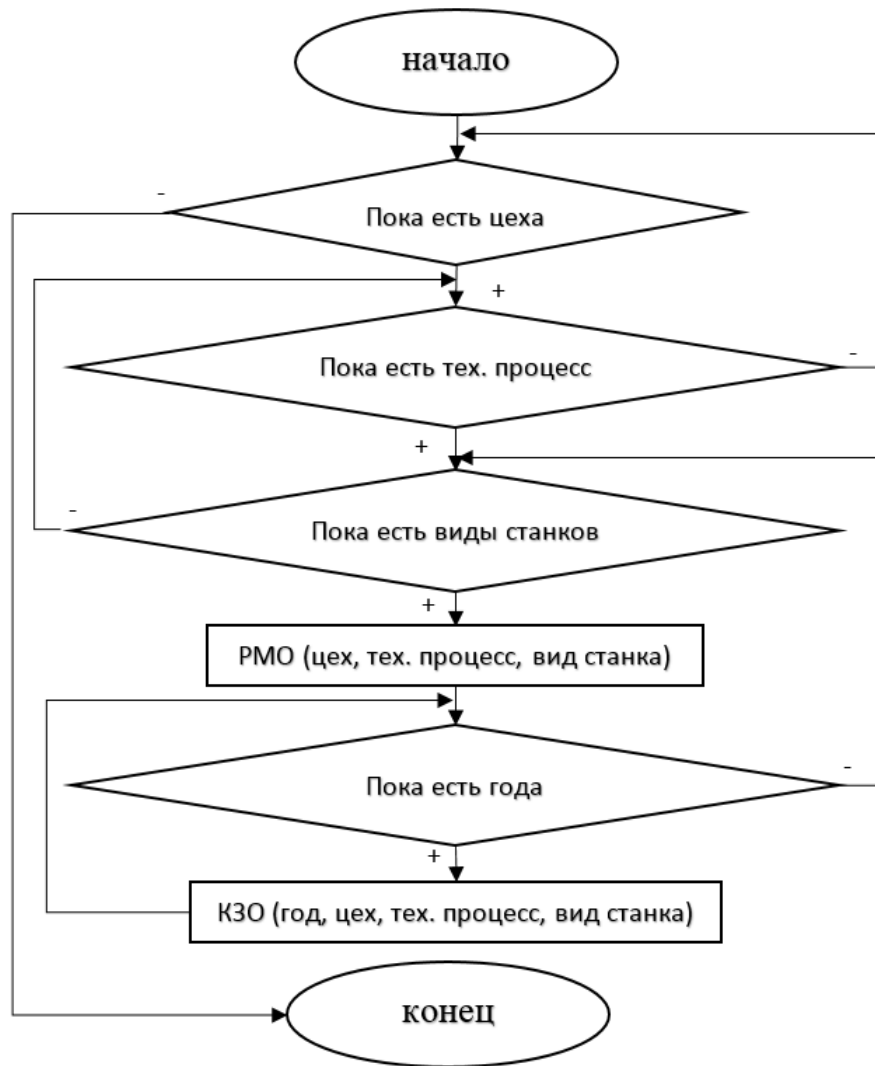


Рисунок 2.12 – Алгоритм расчета баланса мощностей по оборудованию для механо-каркасного производства

## 2.2 Архитектура подсистемы балансировки мощностей на основе прогнозирования временных рядов производственных показателей в задачах автоматизированной технологической подготовки производства

### 2.2.1 Архитектура подсистемы балансировки производственных мощностей предприятия

Архитектура подсистемы балансировки производственных мощностей предприятия представлена на рисунке 2.13.

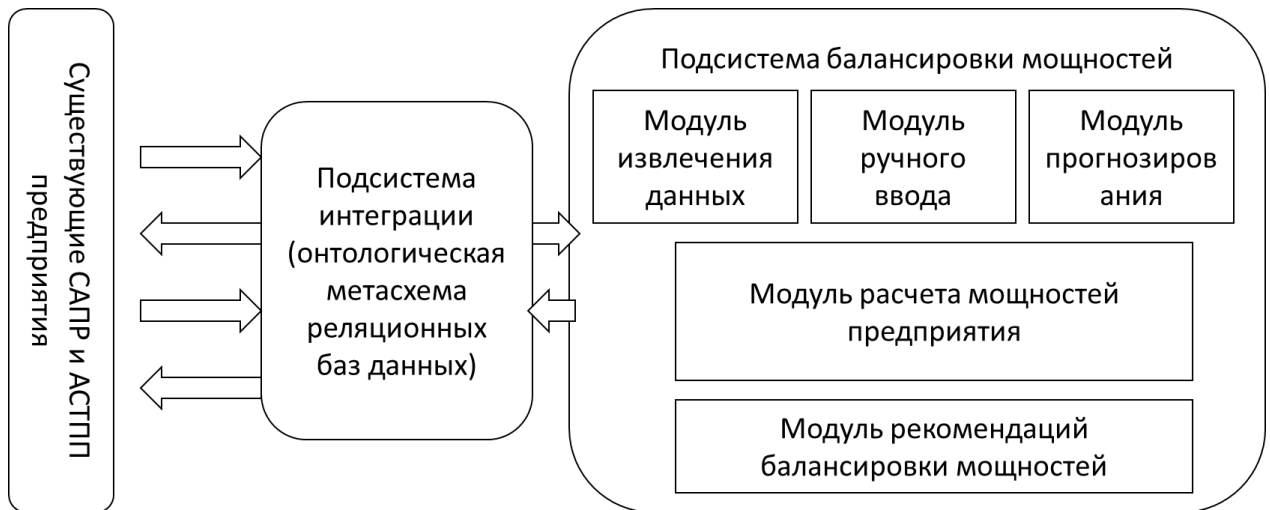


Рисунок 2.13 – Архитектура подсистемы балансировки производственных мощностей предприятия

Подсистема балансировки мощностей состоит из 5 модулей:

- Модуль извлечения данных. Данный модуль отвечает за получение данных из различных информационных источников предприятия, например, различных систем САПР.
- 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 этих 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 существующих 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.

Для извлечения данных из существующих информационных источников предприятия вводится подсистема интеграции. Интеграция позволяет избежать дублированного ввода данных, что в свою очередь сокращает нагрузку на лиц, ответственных за актуализацию данных. И чем больше лиц задействовано в работе системы, тем более прозрачна будет для них такая интеграция. Также данная подсистема позволит объединить весь комплекс САПР предприятия в единое информационное поле, получив в результате модель управления полного жизненного цикла изделия.

### **2.2.2 Онтологическая модель базы знаний модели управления жизненного цикла изделия**

В настоящий момент для организации базы знаний (БЗ) программных систем, ориентированных на поддержку принятия различного рода решений, используется онтологический подход. В работах таких российских и иностранных исследователей как Вагин В.Н. [132], Хорошевский В. Ф. [133], Гаврилова Т.А. [134], Грибова В.В. [135], Загоруйко Ю.А. [136], Клещев А.С. [137], Норенков И.П., Пальчунов Д.Е., Смирнов С.В. [138], D. Bianchini [139], F. Bobillo [140], U. Straccia [141], R.A. Falbo [142], M. Gao [143], T.R. Gruber [144], N. Guarino [145], G. Guizzardi [146], G. Stumme [147], A. Maedche [148] и др. подчеркивается актуальность применения онтологического подхода для описания различного рода знаний о проблемной области (ПрО).

Онтология – модель представления знаний некоторой ПрО, состоящая из множества определений основных понятий (имен классов, индивидуалов, свойств и т.д.), а также различного рода семантических связей между ними. В основе онтологии находится словарь терминов, отражающих понятия ПрО, и совокупность правил (аксиом), согласно которым эти термины могут быть скомбинированы для построения достоверных утверждений о состоянии рассматриваемой области в некоторый момент времени [133, 135, 143].

Помимо того, что онтология основана на различных семействах языков представления знаний – дескрипционных логиках [149], позволяющих описывать понятия ПрО в недвусмысленном, формализованном виде, существует также широкий перечень различных инструментальных средств, позволяющих автоматизировать процесс формирования и работы с онтологиями. К таким средствам можно отнести:

1. Редактор онтологий Protégé [150]. Редактор онтологий позволяет автоматизировать процесс формирования БЗ ПрО в виде онтологии.
2. Машины логического вывода: Pellet [151], FaCT++ [152], HermiT [153] и др. Машины логического вывода (reasoners) позволяют осуществлять проверку логической целостности онтологии и ее непротиворечивость, а также производить новые знания в процессе логического вывода по содержимому онтологии.
3. Библиотеки OWLAPI [154] и SWRLAPI [155]. Библиотеки для встраивания механизмов работы с БЗ ПрО в виде онтологии в формате OWL [156] с множеством логических правил на языке SWRL [157] в различные программные системы.

Таким образом, для организации базы знаний используется онтологический подход. При этом БЗ состоит из двух компонентов, каждый из которых выполняет определенную функцию:

1. Формирование метамодели информационного обеспечения подсистемы интеграции для организации механизма консолидации данных с различными информационными системами предприятия.
2. Организация модуля поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей.

Рассмотрим онтологии БЗ более подробно.

### **2.2.3 Онтология метамодели подсистемы интеграции**

Для реализации метамодели подсистемы интеграции, позволяющей организовать механизм консолидации данных с ИС предприятия,

используются методы онтологического инжиниринга.

В качестве формального представления метамодели будет использоваться определение онтологической системы [133]:

$$O^И = \sum O^{DB} \oplus O^{МЕТА} \oplus F^{DB} , \quad (2.3)$$

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 консолидацию данных;

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

Таким образом,  $i$ -е онтологическое представление  $O_i^{DB}$  (формула 2.3) модели данных ИО ИС предприятия будет иметь вид:

$$O_i^{DB} = \langle C^{DB}, P^{DB}, L^{DB}, R^{DB} \rangle, \quad (2.4)$$

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:

$$R^{DB} = \{R_C^{DB}, R_P^{DB}, R_L^{DB}\}, \quad (2.5)$$

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.



В качестве логической основы предлагается использовать расширение дескрипционной логики  $\mathcal{ALC}$  дескрипционную логику  $\mathcal{ALCHF}(\mathcal{D})$ . Дескрипционная логика  $\mathcal{ALCHF}(\mathcal{D})$  позволяет формировать иерархию ролей ( $\mathcal{H}$ ), допуская формирование аксиом вложенности, использовать функциональные роли ( $\mathcal{F}$ ), а также расширять описание конкретными доменами (типами данных) ( $\mathcal{D}$ ).

В рамках дескрипционной логики  $\mathcal{ALCHF}(\mathcal{D})$  онтология метамодели имеет следующий вид:

$$DB = \{TBox^{DB}, ABox^{DB}\}, \quad (2.6)$$

где  $TBox^{DB}$  – набор терминологических аксиом, представляющих общие знания о понятиях и их взаимосвязях метамодели;

$ABox^{DB}$  – набор утверждений (фактов) об индивидах метамодели.

Терминологию  $TBox^{DB}$  и набор фактов  $ABox^{DB}$  будет записываться с применением следующих операторов и аксиом дескрипционной логики  $\mathcal{ALCHF}(\mathcal{D})$ :

- $T$  – домен;
- $A \sqsubseteq B$  – аксиома вложенности концептов;
- $A \sqsubseteq \neg B$  – аксиома непересекаемости концептов;
- $A \equiv B$  – аксиома эквивалентности концептов (или определение концептов с необходимыми и достаточными условиями);
- $A \sqcap B$  – пересечение (или конъюнкция) концептов;
- $A \sqcup B$  – объединение (или дизъюнкция) концептов;
- $\forall R. A$  – ограничение на значения роли (или ограничение квантором всеобщности);
- $\exists R. A$  – экзистенциальное ограничение (или ограничение квантором существования);
- $a : A$  – утверждение о принадлежности индивида  $a$  концепту  $A$ ;
- $(a, b) : R$  – утверждение о связи двух индивидов  $a$  и  $b$  ролью  $R$ .

Тогда терминология  $TBox^{DB}$  онтологии метамодели будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
& C_1 \sqsubseteq C \quad C_2 \sqsubseteq C \quad \dots \quad C_i \sqsubseteq C \\
& C_{11} \sqsubseteq C_1 \quad C_{12} \sqsubseteq C_1 \quad C_{21} \sqsubseteq C_2 \quad C_{22} \sqsubseteq C_2 \\
C \equiv & \top \sqcap \exists \textit{hasName}.String \sqcap \forall \textit{hasName}.String \sqcap \\
& \sqcap \forall \textit{hasAttribute}.P \sqcap \forall \textit{hasParent}.C, \\
P \equiv & \top \sqcap \exists \textit{hasName}.String \sqcap \forall \textit{hasName}.String \sqcap \\
& \sqcap \forall \textit{hasConstraint}.L \\
L \equiv & \top \sqcap \exists \textit{hasType}.String \sqcap \forall \textit{hasType}.String \sqcap \\
& \sqcap \forall \textit{hasValue}.(Integer \sqcup String \sqcup Double \sqcup C)
\end{aligned}$$

где  $C_i$  – концепт, представляющий класс-сущность онтологического представления модели данных ИС;

$P$  – концепт, представляющий свойство (атрибут) класса-сущности онтологического представления модели данных ИС;

$L$  – концепт, представляющий ограничение атрибута класса-сущности онтологического представления модели данных ИС;

*hasName* – функциональная роль «имеет наименование», позволяющая обозначить концепт некоторым именем, представленным конкретным доменом типа *String*;

*hasValue* – роль «имеет значение», позволяющая задать значение свойства класса-сущности онтологического представления модели данных ИС, представленное конкретным доменом из множества типов данных: *Integer*, *String*, *Double*, либо являющееся ссылкой на концепт для описания некоторого класса-сущности онтологического представления модели данных ИС;

$\sqsubseteq$  – аксиома вложенности концептов, позволяющая формировать иерархию концептов онтологического представления модели данных ИС;

*hasAttribute* – роль «имеет атрибут», позволяющая задать соответствие между некоторым классом-сущностью онтологического представления модели данных ИС и его свойствами;

*hasConstraint* – роль «имеет ограничение», позволяющая задать соответствие между некоторым свойством класса-сущности онтологического

представления модели данных ИС и его ограничениями;

*hasParent* – роль «имеет родителя», позволяющая учитывать в рамках онтологического представления модели данных ИС механизм наследования классов-сущностей.

Набор фактов  $ABox^{DB}$  онтологии метамодели представляется следующим образом:

|          |                                   |
|----------|-----------------------------------|
| $e_1: E$ | $(e_1, a_1): hasAttribute$        |
| $a_1: A$ | $(e_1, a_2): hasAttribute$        |
| $a_2: A$ | $(a_1, c_1): hasConstraint$       |
| $c_1: C$ | $(a_1, c_2): hasConstraint$       |
| $c_2: C$ | $(a_2, c_3): hasConstraint$       |
| $c_3: C$ | $(c_1, value1: Double): hasValue$ |
|          | $(c_2, value2: String): hasValue$ |
|          | $(c_3, e_1): hasValue$            |

Как видно из набор фактов  $ABox^{DB}$  онтологии метамодели, одна из ИС предприятия содержит класс сущность  $e_1$ , которая имеет два свойства (атрибута)  $a_1$  и  $a_2$ . Свойство  $a_1$  имеет два ограничения  $c_1$ , обладающее значением с типом данных *Double*, и  $c_2$  с типом данных *String*. Свойство  $a_2$  обладает ограничением  $c_3$ , значение которого является ссылкой на класс-сущность  $e_1$ .

#### **2.2.4 Онтология модуля поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей**

На основе полученных рекомендаций в задаче балансировки мощностей сотрудник, ответственный за принятие решения, может оперативно реагировать на изменения ситуации на производстве. В качестве исходных данных для модуля поддержки принятия решений выступают временные ряды основных индикаторов производства, например, фактическая и планируемая мощность производства, фактический и плановый коэффициент загрузки производственных мощностей, возраст оборудования, стаж работы персонала

на предприятии и т.д. Данные индикаторы были выбраны исходя из требований промышленной методологии, утвержденной в отрасли, которая используется в настоящий момент для ручного расчета показателей производственных мощностей предприятия. В процессе анализа временных рядов производственных индикаторов с применением множества логических правил на языке SWRL [156] происходит формирование рекомендаций. В свою очередь, SWRL правила основаны на содержимом онтологии модуля поддержки принятия решений, которая имеет следующий вид:

$$O^R = \langle I^R, E^R, S^R, A^R, R^R, F^R \rangle, \quad (2.7)$$

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:

$$R^R = \{R_{ES}^R, R_{EA}^R, R_{IE}^R\}, \quad (2.8)$$

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.

В качестве логической основы онтологии модуля поддержки принятия решений, как и для описания онтологии метамодели, используется дескрипционная логика  $\mathcal{ALCF}(D)$ .

В рамках дескрипционной логики  $\mathcal{ALCF}(D)$  онтология модуля поддержки принятия решений имеет следующий вид:

$$R = \{TBox^R, ABox^R\}, \quad (2.9)$$

где  $TBox^R$  – набор терминологических аксиом, представляющих общие знания о понятиях и их взаимосвязях онтологии модуля поддержки принятия решений;

$ABox^R$  – набор утверждений (фактов) об индивидах онтологии модуля поддержки принятия решений.

Терминология  $TBox^R$  онтологии модуля поддержки принятия решений выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} E &\sqsubseteq \top & Bad &\sqsubseteq E & Good &\sqsubseteq E \\ High &\sqsubseteq E & Middle &\sqsubseteq E & Low &\sqsubseteq E \\ High &\sqsubseteq \neg Low & High &\sqsubseteq \neg Middle \\ High &\sqsubseteq \neg Low & Bad &\sqsubseteq \neg Good \\ Recommendation &\sqsubseteq \top & A &\sqsubseteq Recommendation \\ & & S &\sqsubseteq Recommendation \\ StateHigh &\sqsubseteq S & StateMiddle &\sqsubseteq S & StateLow &\sqsubseteq S \\ StateHigh &\sqsubseteq \neg StateMiddle & StateHigh &\sqsubseteq \neg StateLow \end{aligned}$$

$$StateLow \sqsubseteq \neg StateMiddle$$

$$I \sqsubseteq T$$

$$I \sqsubseteq T \sqcap \exists hasResume.A \sqcap \exists hasState.S \sqcap \exists hasValue.Double$$

$$Recommendation \sqsubseteq T \sqcap \exists hasDescription.String \sqcap$$

$$\sqcap \forall hasDescription.String$$

где  $E$  – концепт, представляющий лингвистическую метку онтологии модуля поддержки принятия решений;

$Bad, Good, High, Middle, Low$  – концепты, представляющие отдельные лингвистические метки для представления значений индикаторов состояния производственных мощностей предприятия;

$Recommendation$  – концепт, представляющий лингвистические метки и рекомендации онтологии модуля поддержки принятия решений;

$I$  – концепт, представляющий индикатор состояния производственных мощностей предприятия онтологии модуля поддержки принятия решений;

$S$  – концепт, представляющий лингвистическую метку онтологии модуля поддержки принятия решений;

$StateHigh, StateMiddle, StateLow$  – концепты, представляющие отдельные состояния производственных мощностей предприятия онтологии модуля поддержки принятия решений;

$A$  – концепт, представляющий рекомендации онтологии модуля поддержки принятия решений;

$\sqsubseteq$  – аксиома вложенности концептов, позволяющая формировать иерархию концептов онтологии модуля поддержки принятия решений;

$hasResume$  – роль «имеет рекомендацию», позволяющая задать соответствие между рекомендацией и индикатором производственных состояний производственных мощностей предприятия онтологии модуля поддержки принятия решений;

$hasState$  – роль «имеет состояние», позволяющая задать соответствие между лингвистической меткой и индикатором производственных состояний

производственных мощностей предприятия онтологии модуля поддержки принятия решений;

*hasValue* – роль «имеет значение», позволяющая задать значение типа *Double* индикатора производственных состояния производственных мощностей предприятия онтологии модуля поддержки принятия решений;

*hasDescription* – функциональная роль «имеет описание», позволяющая задать текстовое описание (*String*) лингвистической метки или рекомендации онтологии модуля поддержки принятия решений.

Набор фактов  $ABox^R$  онтологии модуля поддержки принятия решений будет иметь вид:

$$\begin{array}{llll}
 i_1: I & i_1: High & s_1: StateHigh & a_1: A \\
 (i_1, value1: Double): hasValue & & (i_1, s_1): hasState & \\
 (a_1, value2: String): hasDescription & & & (i_1, a_1): hasResume
 \end{array}$$

Как видно из набор фактов  $ABox^R$  онтологии модуля поддержки принятия решений, индикатор состояния производственных мощностей предприятия  $i_1$  имеет значение  $value1$  с типом *Double*. В процессе представления рекомендаций на основе множества SWRL правил машина логического вывода присвоила значению индикатора  $i_1$  лингвистическую метку *High*, состояние индикатора  $s_1$  и рекомендацию  $a_1$ . Текстовое описание (*String*) рекомендации  $a_1$  имеет значение  $value2$ .

Таким образом, модель БЗ содержит два компонента, представленных онтологиями для организации механизма консолидации данных с различными информационными системами предприятия и организация модуля поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей. Использование современных подходов и средств формирования БЗ на основе языка представления онтологии OWL и множества логических правил на языке SWRL позволяет гибко адаптировать подсистемы к динамической природе ПрО предприятия.

### 2.3 Алгоритм прогнозирования технического состояния оборудования с корректировкой прогноза через применение энтропийного временного ряда. Формирование энтропийного временного ряда и его динамики.

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 получается прогнозное значение (*ForecastOrigMethod*).
2. На основе ВР строится энтропийный ВР (ЭнВР).
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 *OrigForecast*, полученного через метод прогнозирования и *NewForecast*, полученным через ЭнВР.

$$\mathbf{Forecast} = \frac{\mathbf{ForecastOrigMethod} + \mathbf{ForecastByEntropy}}{2} \quad (2.10)$$

Рассмотрим алгоритм формирования ЭнВР из ВР.

В диссертации [158] описана концепция гранулированных временных рядов (ГрВР).

Под ГрВР понимается упорядоченная во времени последовательность нечетких меток, где нечеткое множество характеризуется временным



интервалом, и значениями временного ряда, вошедшими в данный интервал.

Модель гранулы ВР будет иметь вид:

$$GTSV = (\sim Trend, \sim t, \sim Intens) \quad (2.11)$$

где  $\sim Trend$  – лингвистическая оценка характера изменения исходного ВР,

$\sim t$  – нечеткое значение промежутка времени, на котором наблюдалось изменение,

$\sim Intens$  – лингвистическая оценка интенсивности изменения величины на данном отрезке времени.

При анализе технических систем, или экономических часто выделяется цикличность функционирования системы. В качестве примера можно рассмотреть ВР экономического явления. При анализе месячных и квартальных данных, легко выявляются периодические колебания, которые возникают под влиянием сезонности (смены времен года, например). Полученные в ходе анализа сезонных колебаний значения характеристик отображают особенности развития анализируемых процессов. На основе этих особенностей можно выявлять закономерностей развития анализируемых процессов, получать прогнозные значения.

Применение метода анализа, основанного на понятии гранул будет эффективным для рядов имеющих выраженную сезонность, так как такой метод легко выявляет наличие или отсутствие сезонных циклов. Кроме того, многие ТС характеризуются длительной работой в определенных режимах, либо наоборот, нахождение длительный период времени ТС в определенном режиме может говорить о его неисправности.

Для построения ГрВР применяется ACL-шкала (Absolute&Comparative Linguistic) [159]. Абсолютные оценки ACL-шкалы, соответствуют нечетким меткам уровней ВР. Сравнительные оценки ACL-шкалы – нечетким тенденциям НВР. ACL-шкала представляется в виде алгебраической системы:

$$S_x = \langle Name_{S_x}, \tilde{X}, N, X, G, P, TTend, RTend \rangle \quad (2.12)$$

где  $Name_{S_x}$  – имя ACL-шкалы,

$\tilde{X}$  – базовое терм-множество абсолютных лингвистических оценок (лингвистическое название градаций),

$N$  – мощность базового терм-множества шкалы,

$X$  – универсальное множество, на котором определена шкала.

$G$  – синтаксические правила вывода(порождения) цепочек оценочных высказываний (производные термов, не входящих в базовое терм-множество),

$P$  - семантические правила, определяющие функции принадлежности для каждого терма (задаются обычно экспертно),

$TTend(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j)$  – лингвистическое отношение, фиксирующее тип изменения между двумя оценками  $\tilde{x}_i, \tilde{x}_j$  шкалы,

$RTend(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j)$  – лингвистическое отношение, фиксирующее интенсивность различия между двумя оценками  $\tilde{x}_i, \tilde{x}_j$  шкалы.

Для определения отношения точки к одной из абсолютных лингвистических оценок (нечетких меток) используется треугольная функция принадлежности:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c < x \end{cases} \quad (2.13)$$

Графически функция принадлежности выглядит следующим образом (рисунок 2.14):



Рисунок 2.14 – График классической функции принадлежности

Для любой ACL-шкалы справедливо утверждение, что точки, относящиеся к одной нечеткой метке, являются неразличимыми. Однако, могут быть ситуации, когда требуется не просто знать принадлежность точки к метке, но и ее расположение относительно центра этой метки. Для определения положения используют вспомогательный знак минус. Считается, что значения, меньше значения центра метки – отрицательные, а больше – положительные. Формула 2.13 примет вид:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ -\frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c < x \end{cases} \quad (2.14)$$

График для модифицированной функции принадлежности представлен на рисунке 2.15.

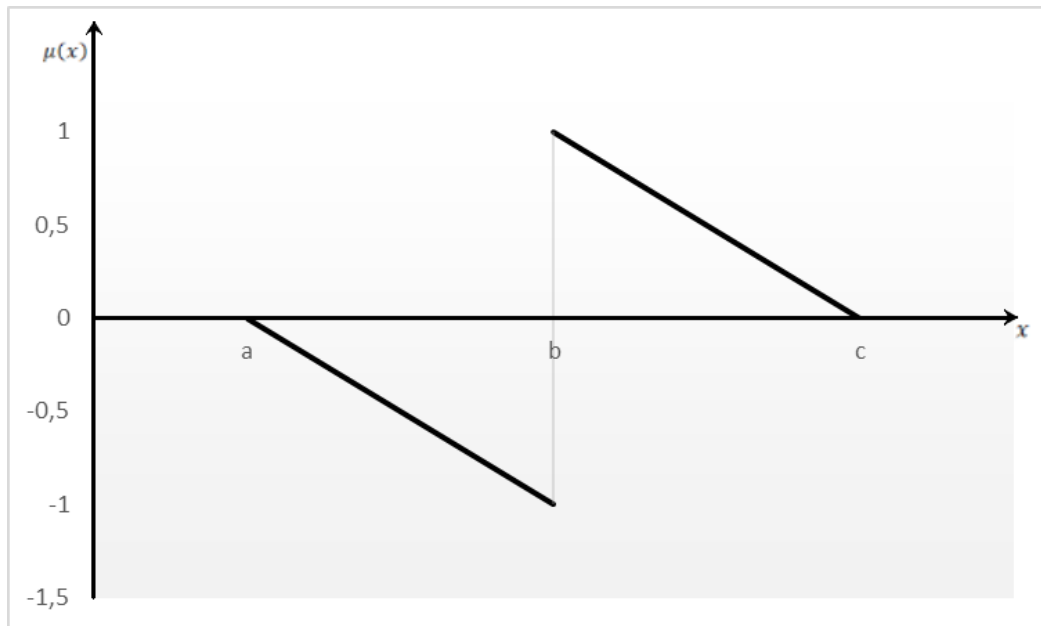


Рисунок 2.15 – График модифицированной функции принадлежности

Для построения ACL-шкалы требуется задать коэффициенты  $a, b, c$  для каждой из абсолютных лингвистических оценок. Есть несколько способов определения коэффициентов:

- статический (задаются без знания контекста ВР);
- динамический (задаются в зависимости от контекста ВР):
- комбинированный (часть меток задаются статически, часть динамически).

Коэффициенты могут быть заданы экспертом, либо рассчитаны с помощью алгоритма кластеризации. Для второго варианта, значение функции принадлежности будет определяться на основе значения степени принадлежности точки к кластеру.

Для примера, при fcm-кластеризации значения матрицы принадлежности  $\mu(x)$  рассчитываются по формуле:

$$\mu_j = \frac{1}{\sum_{I=1}^C \left( \frac{\|x-c_j\|}{\|x-c_I\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}, \quad (2.15)$$

где  $\mu_j$  – степень принадлежности  $j$ -у кластеру.

$c_j$  – вектор центра  $j$ -го кластера.

$c_I$  – вектор центра  $I$ -го кластера.

При этом если для некоторого кластера  $j$   $\|x - c_j\| = 0$ , то  $\mu_j = 1$ , а для всех остальных кластеров равнялась 0.

Мера энтропии по функции принадлежности для каждой точки ВР получается по следующей формуле [160]:

$$H_i^\mu = \mu(x_i) \ln(\mu(x_i)) \quad (2.16)$$

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  $\bar{A}$ :  $\rho(A, \bar{A})$ , где расстояние  $\rho(A, \bar{A})$ , может быть вычислено по формуле Евклида, Хэмминга или др.

В отдельной точке ВР коэффициент размытости (энтропии) будет вычисляться по формуле:

$$\rho(x_i) = |\mu_{\bar{A}}(x_i) - \mu_A(x_i)| = |1 - \mu_A(x_i) - \mu_A(x_i)| = |1 - 2 * \mu_A(x_i)| \quad (2.17)$$

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

$$e(x_i) = 1 - 2 * \mu_A(x_i) \quad (2.18)$$

В настоящее время в ряде работ сформулированы принципы обобщения мер нечеткости (энтропии) нечетких множеств [161, 162].

Допустим,  $f$  – некоторая монотонная функция,  $\rho(x, y)$  – метрика,  $A^*$  – базисное множество, тогда степенью нечеткости  $\xi(A)$  нечеткого множества  $A$  называется значение  $\xi(A) = f(\rho(A, A^*))$ . Функция  $f$  подбирается для удовлетворения некоторым естественным требованиям для степени нечеткости, которые определяются для каждой задачи. Примерами таких требований могут быть изменение степени нечеткости в пределах от 0 до 1, от -1 до 1, равенство степени нечеткости нулю для обычного множества и т.д. [163].

На основе обобщенного представления о формировании коэффициента нечеткости (энтропии) точки ВР для упрощения вычислений будем использовать следующий коэффициент размытости(энтропии):

$$e(x_i) = 1 - \mu_A(x_i) \quad (2.19)$$

Взяв за основу формулу 2.14 модифицированной функции принадлежности и подставив в 2.19 значения в интервалах  $\{a,b\}$  и  $\{b,c\}$  получаем следующую формулу расчета коэффициента размытости (энтропии) точки ВР, с учетом использования аналитического интервала  $[-1,1]$  :

$$e(x) = \begin{cases} -1, x \leq a \\ \frac{x-b}{b-a}, a < x < b \\ 0, x = b \\ \frac{x-b}{c-b}, b < x < c \\ 1, c \leq x \end{cases} \quad (2.20)$$

Значение в точке ЭнВР показывает, по сути, удаленность точки исходного ВР от метки, к которой ее относят. При этом, если значение энтропии меньше 0, то это говорит о том, что точка располагается левее от центра. Если значение энтропии больше 0, то точка располагается правее от центра. Таким образом, получается график, обратный графику функции принадлежности по формуле 2.20 (рисунок 2.16).

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

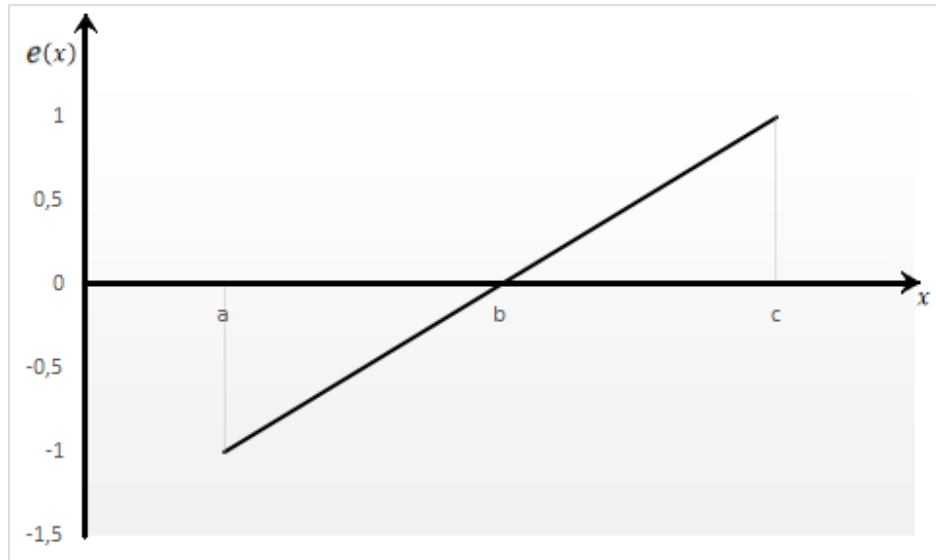


Рисунок 2.16 – График энтропии

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

$$d = \begin{cases} e_i - e_{i-1}, e_i \in \tilde{X}_j, e_{i-1} \in \tilde{X}_k, \tilde{X}_j = \tilde{X}_k \\ |e_{i-1} - 1| + |-1 - e_i|, e_i \in \tilde{X}_j, e_{i-1} \in \tilde{X}_k, \tilde{X}_j > \tilde{X}_k \\ (|e_{i-1} + 1| + |1 - e_i|) * (-1), e_i \in \tilde{X}_j, e_{i-1} \in \tilde{X}_k, \tilde{X}_j < \tilde{X}_k \end{cases}, \quad (2.21)$$

где  $e_i$  – значение энтропии в  $i$ -й точке,

$e_{i-1}$  – значение энтропии в  $(i-1)$ -й точке,

$\tilde{X}_j, \tilde{X}_k$  – нечеткие метки, относящиеся к базовому терм-множеству абсолютных лингвистических оценок, при этом  $i$ -я точка относится к  $\tilde{X}_j$  метке, а  $(i-1)$ -я к  $\tilde{X}_k$  метке,

$\tilde{X}_j = \tilde{X}_k$  – ситуация, при которой  $i$ -я и  $(i-1)$ -я точка относятся к одной метке,

$\tilde{X}_j > \tilde{X}_k$  – ситуация, при которой  $i$ -я и  $(i-1)$ -я точка относятся к разным меткам,

при этом  $i$ -я располагается правее  $(i-1)$ -й точки,

$\tilde{X}_j < \tilde{X}_k$  – ситуация, при которой  $i$ -я и  $(i-1)$ -я точка относятся к разным меткам,

при этом  $i$ -я располагается левее  $(i-1)$ -й точки.

Для понимания ориентации точек относительно друг друга представим график, на котором отображаются функции принадлежности для всех меток,

относящиеся к базовому терм-множеству абсолютных лингвистических оценок (рисунок 2.17).

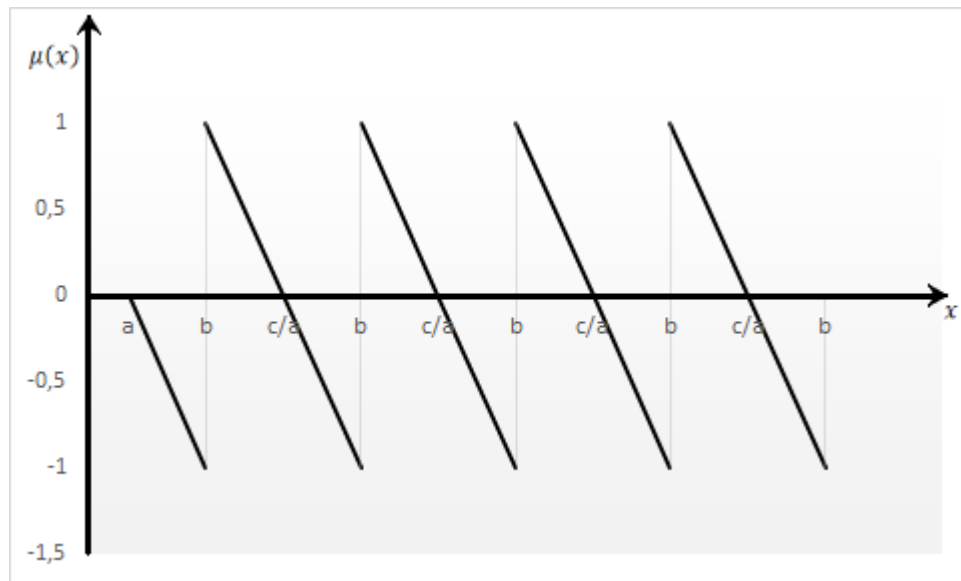


Рисунок 2.17 – График функций принадлежности по нечетким меткам

Как видно из графика, все метки располагаются друг за другом (может быть с небольшим наложением на краях). Таким образом, можно расположить все метки в определенной последовательности, по возрастанию и задать каждой метке вес, начиная с 0 или 1 и прибавляя 1 каждой следующей метке. 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.

## 2.4 Математическая модель энтропийного временного ряда для задач поиска аномалий и прогнозирования поведения производственно-технологической системы

На основе изложенного в пункте 2.3 описания ЭнВР и его динамики, математическая модель точки ЭнВР представляется следующим образом:

$$EnP(t) = (e(t), de(t)), \quad (2.22)$$

где  $e$  – значение энтропии точки по формуле 2.20,

$de$  – значение динамики энтропии в точке по формуле 2.21.

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:

$$EnTS = \langle ETS, DETS \rangle, \quad (2.23)$$

где  $ETS$  – ВР на основе энтропий точек, вычисленных по формуле 2.20,

$DETS$  – ВР на основе динамики энтропий точек, вычисленных по формуле 2.21.

Исходя из формулы 2.20, ряд  $ETS$  представляет собой нормализованную версию исходного ВР в диапазоне  $[-1, 1]$ . При рассмотрении ВР от ТС в качестве базового терм-множества абсолютных лингвистических оценок можно принимать различные состояния его работы (холостой ход, рабочий режим, пределы и т.п.) и соответствующие им диапазоны значений, в рамках которых они заключены. 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, что если график *DETS* выше или ниже определенного предела, то это означает смену меток, невозможно. Могут быть случаи, когда энтропия «скачет» от одной границы метки до другой границы той же метки и значение динамики в таком случае будет приближаться к 2. И могут быть случаи, когда энтропия двух соседних точек отличается на десятые доли, а точки относятся к разным меткам, в таком случае динамика также будет близка к 2.

Исходя из выше сказанного, совместное использование рядов *ETS* и *DETS* в задачах анализа исходного ВР (или *EnTS*) позволит определять факты смены нечетких меток (которым могут соответствовать состояния ТС), плавность этих смен и на основе этих данных делать предположения о наличии аномалий в исходном ВР и наличия дефектов в ТС, с которого ВР был получен.

## **2.5 Алгоритм прогнозирования временного ряда через прогнозирование значения динамики энтропийного временного ряда.**

При выполнении алгоритма прогнозирования, описанного в пункте 2.3 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.

На основе имеющегося ВР строится ЭнВР по формуле 2.23. Любым известным методом прогнозирования для ВР *DETS* прогнозируется значение. Далее по значению энтропии в последней точке ЭнВР и спрогнозированной

динамике вычисляется прогнозное значение для исходного ВР по следующему алгоритму:

Шаг 1. Если спрогнозированное значение динамики равно 0, то энтропия для прогнозной точки остается неизменной, а, значит, и прогнозное значение для исходного ВР будет равным значению в последней точке ВР. Если спрогнозированное значение динамики не равно 0, то перейти к шагу 2.

Шаг 2. Для дальнейших расчетов необходимо вычислить значение энтропии в прогнозной точке. Оно равно сумме значения энтропии в последней точке и спрогнозированному значению динамики.

Шаг 3. Если спрогнозированное значение динамики меньше 0 и значение энтропии в последней точке меньше 0, то

Шаг 3.1. Если значение энтропии в прогнозной точке меньше -1, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда. Так как значение энтропии в последней точке меньше 0 и спрогнозированное значение динамики меньше 0, то значение энтропии в прогнозной точке тоже будет меньше 0, а, следовательно, располагаться она будет слева от центра метки. На основе формулы 2.20 рассчитывается новое прогнозное значение исходного ВР для случая ( $a < x < b$ )

$$x = b * (1 + e) - e * a \quad (2.24)$$

Шаг 3.2. Иначе, если значение энтропии в прогнозной точке равно -1, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться на границе этой метки

$$x = a \quad (2.25)$$

Шаг 3.3. Иначе прогнозная точка будет относиться к иной метке, расположенной левее метки, к которой относится последняя

точка ВР. Для дальнейших расчетов необходимо от модуля спрогнозированного значения динамики вычесть разницу-расстояние от границы метки (-1) до значения энтропии в последней точке. Далее скорректированное спрогнозированное значение динамики используется в 7 шаге для получения прогнозного значения.

Шаг 4. Иначе, если спрогнозированное значение динамики меньше 0 и значение энтропии в последней точке больше 0, то

Шаг 4.1. Если разница модулей спрогнозированного значения динамики и значения энтропии в последней точке меньше 0, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться правее центра метки. На основе формулы 2.20 рассчитывается новое прогнозное значение исходного ВР для случая ( $b < x < c$ )

$$x = e * c + b * (1 - e) \quad (2.26)$$

Шаг 4.2. Иначе, если разница модулей спрогнозированного значения динамики и значения энтропии в последней точке равна 0, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться в центре метки

$$x = b \quad (2.27)$$

Шаг 4.3. Иначе, если разница модулей спрогнозированного значения динамики и значения энтропии в последней точке меньше 1, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться левее центра метки. Прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.24.

Шаг 4.4. Иначе, если разница модулей спрогнозированного значения динамики и значения энтропии в последней точке

равна 1, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться на границе метки. Прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.25.

Шаг 4.5. Иначе прогнозная точка будет относиться к иной метке, расположенной левее метки, к которой относится последняя точка ВР. Для дальнейших расчетов необходимо от модуля спрогнозированного значения динамики отнять значение энтропии в последней точке (по сути расстояние до центра метки) и единицу (расстояние от центра метки до края). Далее скорректированное спрогнозированное значение динамики используется в 7 шаге для получения прогнозного значения.

Шаг 5. Иначе, если спрогнозированное значение динамики больше 0 и значение энтропии в последней точке больше 0, то

Шаг 5.1. Если значение энтропии в прогнозной точке меньше 1, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда. Так как значение энтропии в последней точке больше 0 и спрогнозированное значение динамики больше 0, то значение энтропии в прогнозной точке тоже будет больше 0, а, следовательно, располагаться она будет справа от центра метки. Прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.26.

Шаг 5.2. Иначе, если значение энтропии в прогнозной точке равно 1, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться на границе этой метки

$$x = c \quad (2.28)$$

Шаг 5.3. Иначе прогнозная точка будет относиться к иной метке, расположенной правее метки, к которой относится последняя точка ВР. Для дальнейших расчетов необходимо от модуля

спрогнозированного значения динамики вычесть разницу-расстояние от границы метки (1) до значения энтропии в последней точке. Далее скорректированное спрогнозированное значение динамики используется в 8 шаге для получения прогнозного значения.

Шаг 6. Иначе, если спрогнозированное значение динамики больше 0 и значение энтропии в последней точке меньше 0, то

Шаг 6.1. Если разница модулей спрогнозированного значения динамики и значения энтропии в последней точке меньше 0, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться левее центра метки. Прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.24.

Шаг 6.2. Иначе, если разница модулей спрогнозированного значения динамики и значения энтропии в последней точке равна 0, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться в центре метки. Прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.27.

Шаг 6.3. Иначе, если разница модулей спрогнозированного значения динамики и значения энтропии в последней точке меньше 1, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться правее центра метки. Прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.26.

Шаг 6.4. Иначе, если разница модулей спрогнозированного значения динамики и значения в последней точке равна 1, то значит прогнозная точка будет относиться к той же метке, что и последняя точка ряда и будет располагаться на границе

метки. Прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.28.

Шаг 6.5. Иначе прогнозная точка будет относиться к иной метке, расположенной правее метки, к которой относится последняя точка ВР. Для дальнейших расчетов необходимо от модуля спрогнозированного значения динамики отнять значение энтропии в последней точке (по сути расстояние до центра метки) и единицу (расстояние от центра метки до края). Далее скорректированное спрогнозированное значение динамики используется в 8 шаге для получения прогнозного значения.

Шаг 7. Если имеет место ситуация, что прогнозная точка будет относиться к иной метке, расположенной левее метки, к которой относится последняя точка ряда. Для расчета прогноза в шаг передается расстояние от края метки, к которой относится последняя точка ряда до нового значения.

Шаг 7.1. Определяется сколько меток будет между меткой, к которой будет относиться прогнозная точка и меткой, к которой относится последняя точка ряда. По сути, каждая метка имеет свою длину равно 2 (от -1 до 1). Таким образом следует определить сколько «двоек» укладывается в переданное в 7 шаг расстояние.

Шаг 7.2. Если полученная разница меток выходит за базовое терм-множество абсолютных лингвистических оценок, то прогнозное значение будет относиться к крайней левой метке множества и вычисляться по формуле 2.25.

Шаг 7.3. Иначе определяется метка, к которой будет относиться прогнозное значение и из расстояния вычитается количество промежуточных меток \* 2.

Шаг 7.4. Если полученное расстояние равно 0, то прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.28.

Шаг 7.5. Иначе если расстояние меньше 1, то значит прогнозная точка будет располагаться правее центра метки. Энтропия точки будет определяться как  $1 - \text{расстояние}$  и прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.26.

Шаг 7.6. Иначе если расстояние равно 1, то прогнозная точка будет располагаться в центре метки и прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.27.

Шаг 7.7. Иначе значит прогнозная точка будет располагаться левее центра метки. От расстояния отнимается 1 (чтобы «пройти» до центра метки). Если расстояние равно 1 или более, то прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.25, иначе по формуле 2.24, где значение энтропии будет равно расстоянию \* (-1).

Шаг 8. Если имеет место ситуация, что прогнозная точка будет относиться к иной метке, расположенной правее метки, к которой относится последняя точка ряда. Для расчета прогноза в шаг передается расстояние от края метки, к которой относится последняя точка ряда до нового значения.

Шаг 8.1. Аналогично шагу 7.1 определяется сколько меток следует пропустить.

Шаг 8.2. Если полученная разница меток выходит за базовое терм-множество абсолютных лингвистических оценок, то прогнозное значение будет относиться к крайней правой метке множества и вычисляться по формуле 2.28.

Шаг 8.3. Иначе определяется метка, к которой будет относиться прогнозное значение и из расстояния вычитается количество промежуточных меток \* 2.

Шаг 8.4. Если полученное расстояние равно 0, то прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.25.



Шаг 8.5. Иначе если расстояние меньше 1, то значит прогнозная точка будет располагаться левее центра метки. Энтропия точки будет определяться как расстояние – 1 и прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.24.

Шаг 8.6. Иначе если расстояние равно 1, то прогнозная точка будет располагаться в центре метки и прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.27.

Шаг 8.7. Иначе значит прогнозная точка будет располагаться правее центра метки. От расстояния отнимается 1 (чтобы «пройти» до центра метки). Если расстояние равно 1 или более, то прогнозное значение будет рассчитываться по формуле 2.28, иначе по формуле 2.26, где значение энтропии будет равно расстоянию.

В результате выполнения алгоритма будет получено прогнозное значение для исходного ВР. Блок-схема алгоритма представлена на рисунках 2.18-2.20.



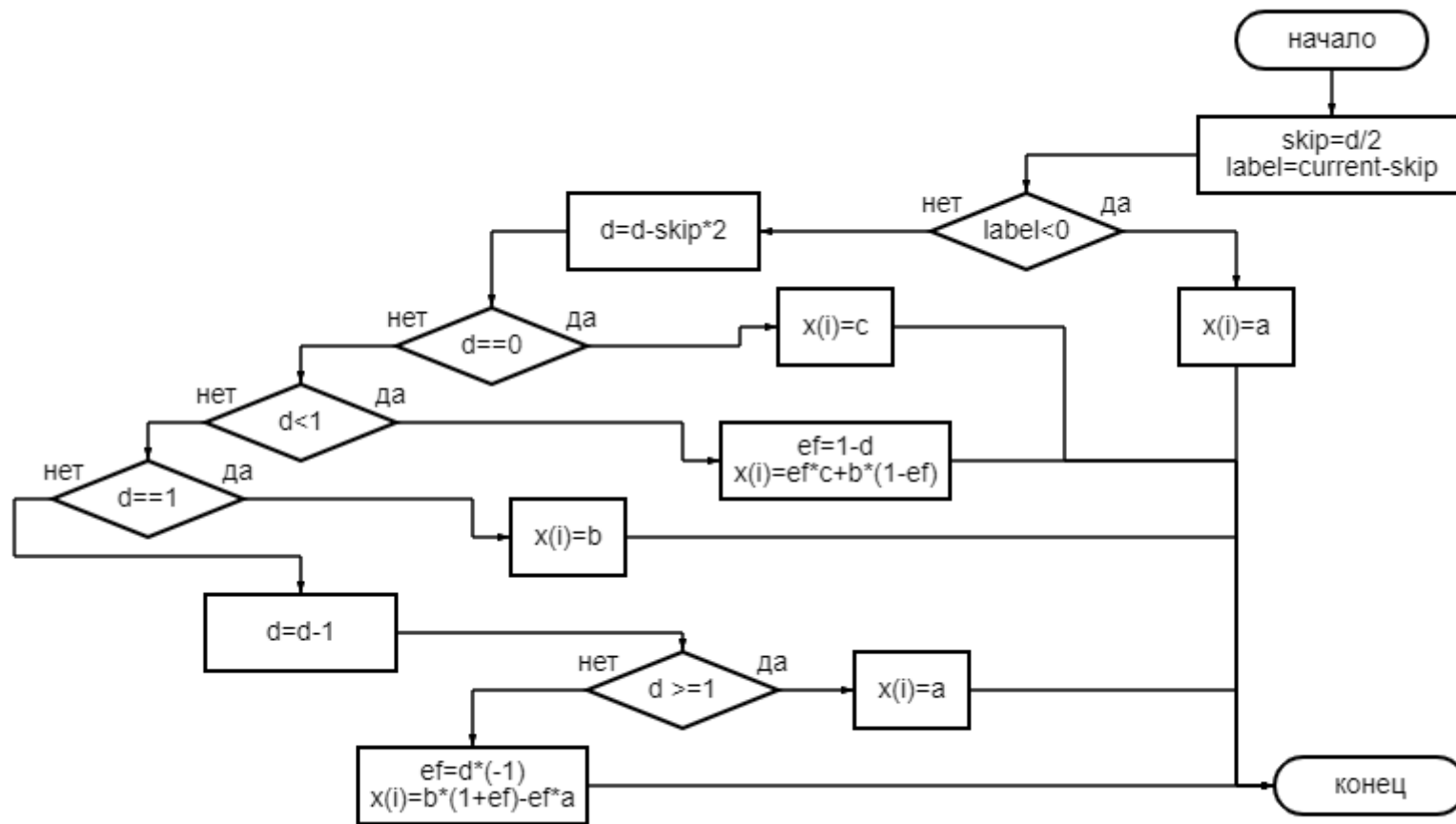


Рисунок 2.19 – Блок-схема алгоритма LeftPoint (шаг 7)

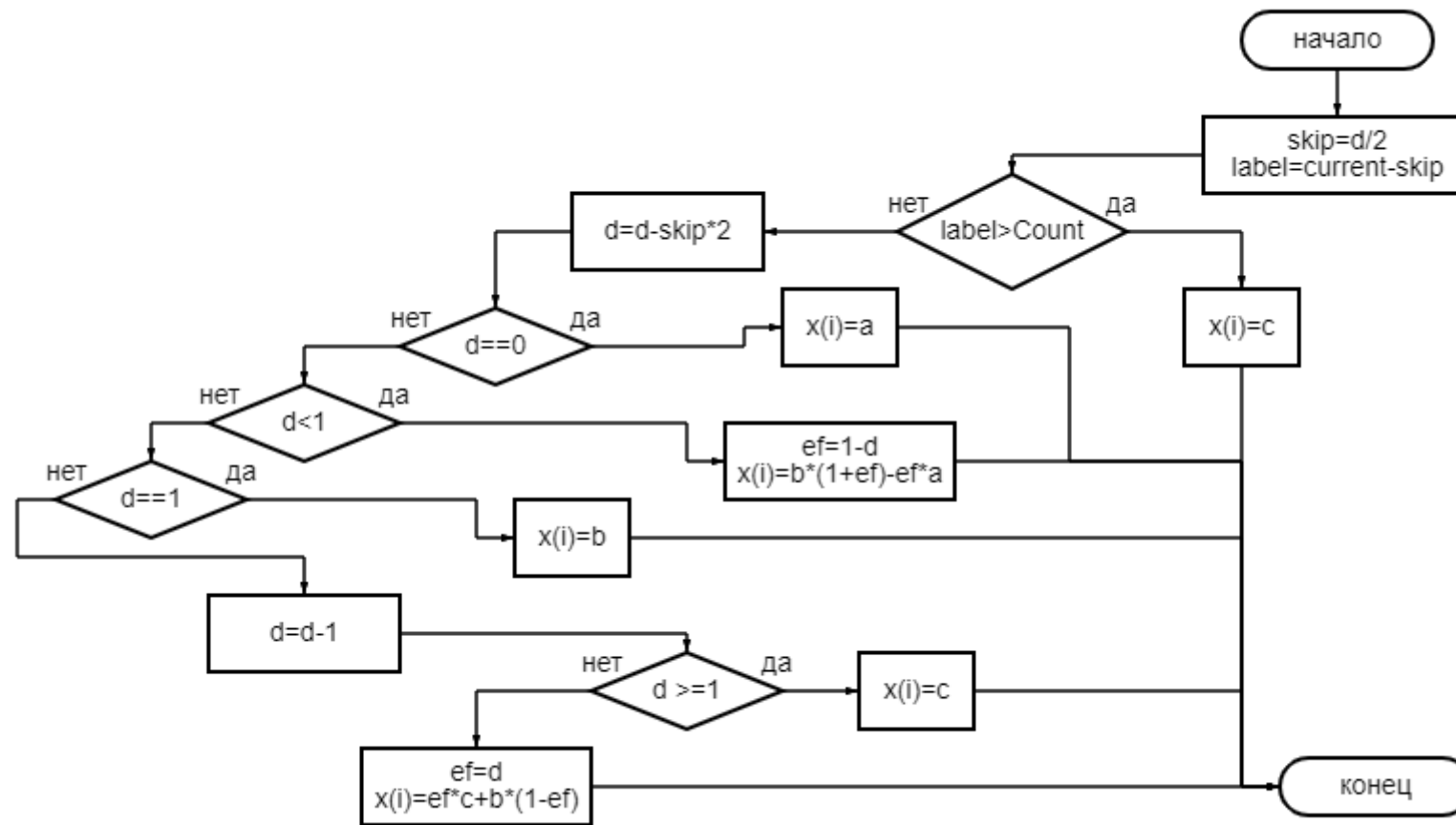


Рисунок 2.20 – Блок-схема алгоритма RightPoint (шаг 8)

## 2.6 Алгоритм вычисления аномалий временного ряда показателей производственно-технологической модели на основе энтропий точек ряда

Алгоритм нацелен на выявление 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, смену которых фиксируется, являются соседними. Детальнее различные ситуации, а также значения энтропии и динамики энтропии, через которые эти ситуации выделяются разобраны ниже.

Для выполнения поиска аномалий просматриваются пара соседних точек  $EnP$ , анализируется как меняются значения  $e$  и  $de$  в этих точках. Анализируемые две соседние точки соотносят с одним из элементарных паттернов поведения (ЭПП). Элементарные паттерны поведения описывают поведение ВР в двух соседних точках ряда на основе изменения значений энтропий в точках и динамики энтропии между точками. Задача поиска аномалий в ВР сводится к формированию последовательностей элементарных паттернов в виде цепочек и поиску этих цепочек в ряду. 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 ЭПП, идентифицирующие аномалии.
2. На основе ВР формируется ЭнВР в виде ряда точек  $E_nP$ .
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:

1. Если значение  $e$  по модулю в обеих точках близко к 0 и значение  $de$  по модулю во второй точке также близко к 0, то имеет место *стабильное состояние*. Данное состояние описывает ситуацию, когда обе точки расположены близко от центра одной метки.

$$stable: |e_1| \rightarrow 0 \ \& \ |e_2| \rightarrow 0 \ \& \ |de| \rightarrow 0$$

2. Если значение  $e$  по модулю в обеих точках близко к 1 и знаки их равны и значение  $de$  по модулю во второй точке также близко к 0, то имеет место *неопределенное состояние*. Данное состояние описывает ситуацию, когда обе точки расположены близко к краю одной метки.

$$uncertainty: |e_1| \rightarrow 1 \ \& \ |e_2| \rightarrow 1 \ \& \ sign(e_1) = sign(e_2) \ \& \ |de| \rightarrow 0$$

3. Если значение  $e$  по модулю в обеих точках больше 0 и меньше 1 и знаки их равны и значение  $de$  по модулю во второй точке меньше 1, то имеет место *устойчивое состояние*. Данное состояние описывает ситуацию, когда обе точки расположены слева или справа от центра одной метки, и, при этом, удалены и от центра, и от края этой метки.

$$\text{sustainable: } 1 > |e_1| > 0 \ \& \ 1 > |e_2| > 0 \ \& \ \text{sign}(e_1) = \text{sign}(e_2) \ \& \\ \& \ |de| \rightarrow 0$$

4. Если значение  $e$  по модулю в первой точке больше значения  $e$  по модулю второй точки и знаки их равны и значение  $de$  по модулю во второй точке меньше 1, либо если значение  $e$  по модулю в первой точке больше значения  $e$  по модулю второй точки и знаки их не равны и значение  $de$  по модулю во второй точке меньше 2 и знак  $de$  не равен знаку  $e$  первой точки, то имеет место *стабилизация состояния*. Данное состояние описывает ситуацию, когда имеет место движение к центру метки, когда вторая точка располагается ближе первой к центру метки. При этом, обе точки располагаются в условно разных «областях» метки: «близко к центру», «близко к краю» или «посередине». Также учитывается ситуации, когда точки расположены по разные стороны от центра метки.

$$\text{stabilization: } |e_1| > |e_2| \ \& \ (|de| < 1 \ | \ (\text{sign}(e_1) \neq \text{sign}(e_2)) \ \& \\ \& \ |de| < 2 \ \& \ \text{sign}(e_1) \neq \text{sign}(de)$$

5. Если значение  $e$  по модулю в первой точке меньше значения  $e$  по модулю второй точки и знаки их равны (либо значение  $e$  в первой точке равно 0) и значение  $de$  по модулю во второй точке меньше 1, либо если значение  $e$  по модулю в первой точке меньше значения  $e$  по модулю второй точки и знаки их не равны и значение  $de$  по модулю во второй точке меньше 2 и знак  $de$  не равен знаку  $e$  первой точки, и значение  $e$  первой точки не равно 0, то имеет место *состояние нарастания неопределенности*. Данное состояние описывает ситуацию, когда имеет место движение к краю метки, когда вторая точка располагается дальше первой от центра метки. При этом, обе точки располагаются в условно разных «областях» метки: «близко к центру», «близко к краю» или «посередине». Также учитывается ситуации, когда точки расположены по разные стороны от центра метки.

$$\begin{aligned} \text{growinguncertainty: } & |e_1| < |e_2| \& ((\text{sign}(e_1) = \text{sign}(e_2) | \\ & |e_1 = 0) \& |de| < 1) | (\text{sign}(e_1) \neq \text{sign}(e_2) \& |de| < 2 \& \\ & \& \text{sign}(e_1) \neq \text{sign}(de) \& e_1 \neq 0) \end{aligned}$$

6. Если значение  $e$  по модулю в обеих точках близко к 1 и знаки значений различны, а значение  $de$  по модулю близко к 0, то имеет место *плавная смена состояния*. Данное состояние описывает ситуацию, когда происходит смена меток (метки «соседние») в точках, при этом обе метки располагаются близко к границам своих меток.

$$\text{smoothchange: } |e_1| \rightarrow 1 \& |e_2| \rightarrow 1 \& \text{sign}(e_1) \neq \text{sign}(e_2) \& |de| \rightarrow 0$$

7. Если знаки  $e$  обеих точек различны и знак  $de$  равен знаку  $e$  первой точки и значение  $de$  по модулю, меньше 2, либо если значение  $e$  равно 0 и значение  $de$  по модулю больше 1 и меньше 2, то имеет место *смена состояния*. Данное состояние описывает ситуацию, когда происходит смена меток (метки «соседние») в точках, при этом, как минимум одна точка располагается далеко от края метки.

$$\begin{aligned} \text{change: } & (\text{sign}(e_1) \neq \text{sign}(e_2) \& \text{sign}(e_1) = \text{sign}(de) \& |de| < 2) | \\ & | (e_1 = 0 \& 1 < |de| < 2) \end{aligned}$$

8. Если знаки  $e$  в обеих точках равны и значение  $de$  по модулю лежит в диапазон от 1 до 4, либо если знаки  $e$  в обеих точках не равны и значение  $de$  по модулю лежит в диапазон от 2 до 4, то имеет место *резкая смена состояния*. Данное состояние описывает ситуацию, когда происходит смена меток (метки «соседние») в точках, при этом обе метки располагаются далеко от границ своих меток.

$$\begin{aligned} \text{abruptchange: } & (\text{sign}(e_1) = \text{sign}(e_2) \& 1 < |de| < 4) | \\ & | (\text{sign}(e_1) \neq \text{sign}(e_2) \& 2 < |de| < 4) \end{aligned}$$

9. Если значение  $de$  по модулю больше 4, то имеет место *состояние скачка*. Данное состояние описывает ситуацию, когда происходит смена меток (метки не «соседние») в точках.

$$\text{jump: } |de| > 4$$



Как отмечалось в начале пункта, данный алгоритм позволяет выявлять 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  $EnP$  (например, значением нечеткой метки, к которой принадлежит точка), либо включение модели  $EnTS$  в более крупные модели.

## **2.7 Методика интерпретации аномалии энтропийного временного ряда в терминах дефектов технических систем**

На основе выделенных участков аномалий через ЭнВР определяется наличие дефектов ТС.

Рассмотрим, для каких видов дефектов применим алгоритм диагностики с применением ЭнВР.

1. Конструктивные дефекты. К данным дефектам относят отклонения от определенных правил разработки (внесения изменений) изделий или от требований технического задания. В данном случае описанный алгоритм мало пригоден, так как, как правило, отсутствуют ВР от ТС. Однако, если, все же имеются приборы, способные проводить диагностику ТС на наличие подобных дефектов и, имеющих в качестве выходных параметров ВР, то алгоритм диагностики с использованием ЭнВР применим. В таких случаях аномальной будет считаться любая смена состояния (если считать, что прибор выдает показания, соответствующие исправному состоянию, строго в определенном диапазоне), а также наличие паттернов «состояния неопределенности».

2. Производственные дефекты. К данным дефектам относят несоответствия требованиям документации при производстве, ремонте продукции. Для выявления подобных дефектов через ЭнВР также потребуются приборы диагностики, способные выдавать на выходе ВР. При анализе полученных ВР, перечень потенциально аномальных ситуаций будет гораздо шире. На решение об аномальности ситуации и наличия дефекта ТС на основе присутствия этой аномальности будет влиять техническая документация по диагностируемому ТС. Для одних ТС признаками наличия дефектов будет выступать паттерн *«резкой смены состояния»*, для других – *«плавной смены состояния»*. Наличие паттерна *«неопределенного состояния»* (особенно, если подобное состояние держится долго) может быть поводом для отправки ТС на более детальную диагностику и профилактику. В общем случае, первым шагом поиска дефектов через ЭнВР будет анализ документации по ТС и интерпретация указанных в них случаях нормального и нештатного функционирования ТС в паттернах поведения ЭнВР.
3. Эксплуатационные дефекты. К данным дефектам относят различные отклонения от заданного нормального поведения ТС. Как отмечалось в первой главе, эксплуатационные дефекты имеют ряд внутренних классификаций.
  - а. По сопоставлению с эталонным поведением. Для данного типа дефектов приводимый алгоритм диагностики не применялся, так как не рассматривались механизмы сравнения одного ВР с другим через их ЭнВР.
  - б. По длительности. Описанный алгоритм диагностики хорошо применим, в первую очередь, для выявления дефектов, характеризующихся краткосрочными периодами. Краткосрочные отклонения от штатных показателей будут хорошо различимы, в первую очередь, на графике *DETS*,

либо при наличии сразу нескольких паттернов смены состояний, расположенных друг за другом. Для выявления дефектов, характеризуемых длительным периодом, потребуется усложнение имеющего алгоритма, например, введением гранул, в которые будут включаться значения энтропий, тенденций энтропий, а также иных показателей, получаемых с ВР (нечеткая метка, элементарная тенденция). Для выявления постоянных дефектов потребуется документация по ТС для определения различных режимов работы и их границ, и наличие паттернов смены состояния в ЭнВР, при постоянной работе устройства.

- в. По изменению показателя на ВР. Для выявления подобных дефектов алгоритм будет идентичным, как и для выявления производственных дефектов. Потребуется на основе документации по ТС выделить паттерны поведения (либо последовательности паттернов поведения), указывающие на наличие аномального поведения показателя. При выявлении подобных паттернов в ЭнВР делать выводы о наличии дефектов в ТС.

Таким образом, 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.

Если рассматривать вариант выявления дефектов с применением экспертной системы, то в качестве такой системы часто используют системы поддержки принятия решений (СППР). При этом, для создания СППР, как отмечалось выше, используются подходы из области онтологического анализа и инженерии знаний с применением технологий Semantic Web: OWL и SWRL.

## **2.8 Выводы по главе**

В ходе выполнения диссертационного исследования были разработаны:

1. Модель и алгоритмы балансировки мощностей на основе прогнозирования временных рядов производственных показателей и онтологий в задачах автоматизированной технологической подготовки производства.
2. Архитектура подсистемы балансировки мощностей на основе прогнозирования временных рядов производственных показателей и онтологий в задачах автоматизированной технологической подготовки производства с интеграцией в общую информационную среду предприятия.
3. Алгоритм прогнозирования технического состояния оборудования на основе поиска аномалий в диагностических временных рядах в задачах автоматизированной технологической подготовки производства.

Для решения задачи прогнозирования технического состояния оборудования на основе поиска аномалий в диагностических временных рядах в задачах автоматизированной технологической подготовки производства были решены следующие подзадачи:

1. Разработан алгоритм прогнозирования технического состояния оборудования с корректировкой прогноза через применение ЭнВР.
2. Разработан подход к формированию ЭнВР на основе ВР и подход к формированию ВР динамики ЭнВР.
3. Разработана математическая модель энтропийного ВР.

4. Разработан алгоритм прогнозирования ВР с использованием ВР динамики ЭнВР.
5. Разработан алгоритм выявления аномалий ВР на основе анализа ВР энтропии и ВР динамики энтропии.
6. Разработана методика интерпретации аномалии энтропийного ВР в терминах дефектов ТС.

## **ГЛАВА 3. ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА БАЛАНСИРОВКИ МОЩНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

### **3.1 Архитектуры программной системы балансировки мощностей на основе прогнозирования производственных и программной системы диагностических временных рядов в автоматизированной технологической подготовки производства**

Как говорилось во второй главе, на предприятии уже существует ряд программных решений для автоматизации процессов проектирования и создания документации по ТПП. В таком случае возникает ряд вариантов получения данных для расчета при разработке системы балансировки мощностей:

1. Автоматизированное извлечение данных, необходимых для расчета мощностей предприятия из существующего информационного обеспечения. Данный механизм позволит ускорить процесс заполнения первичных данных для балансировки.
2. Заполнение в ручном режиме данных, которые отсутствуют в имеющемся информационном пространстве предприятия, но требующиеся для выполнения расчетов. В таком случае, ответственный за выполнение операции расчет должен вручную внести требуемые данные.

Для реализации этих вариантов получения данных в системе определено два архитектурных блока. Первый блок отвечает за согласования интерфейсных частей (интеграция с существующими САПР и АСУТПП предприятия) и блок дополнения полученной информации (ручной ввод данных) (рисунок 3.1). Первый блок логично вынести вне системы балансировки мощностей (например, как независимым блоком). Такой подход позволит легко менять настройки обмена данными между ИС предприятия без затрагивания работу прочих систем предприятия, в том числе разрабатываемую систему балансировки мощностей предприятия.

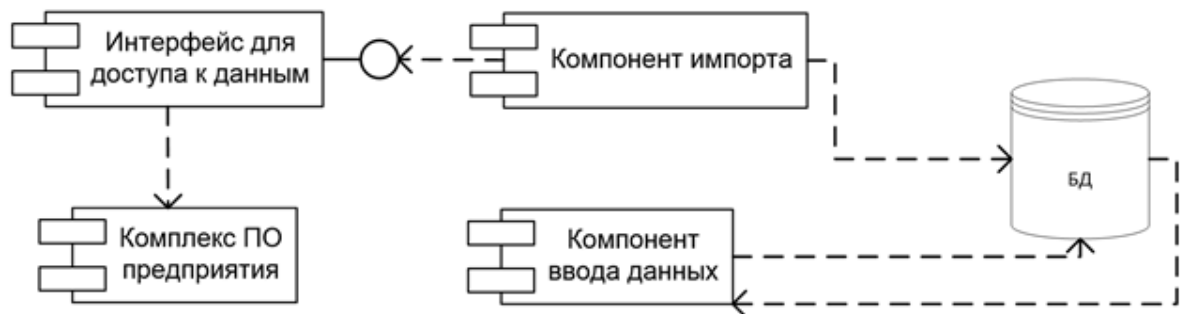


Рисунок 3.1 – Согласование интерфейсов

Так как не все данные, требуемые для расчетов, могут быть получены от ИС предприятия, то для стабильной и быстрой работы системы потребуется собственная база данных, в которой будут храниться все требуемые данные, как полученные от ИС предприятия, так и введенные вручную. Дополнительную сложность вносит частая необходимость перерасчета баланса мощностей. В таком случае, для ускорения выполнения расчетов в системе вводится версияность данных, позволяющая создавать несколько различных наборов вариантов расчета.

Версионность позволяет выполнять расчеты балансировки мощностей по имеющемуся набору мощностей предприятия, но для разных вариантов производственных программы с целью определения возможности или невозможности на имеющихся мощностях предприятия наладить дополнительный выпуск ряда новых изделий. Для этого на основе актуальной

версии расчета мощностей предприятия создается новая, в которую вводят дополнительные производственные программы, которые не прописаны в иных ИС предприятия (так как они не введены, а только решается вопрос об их включении в общий план) и выполняется расчет потребности в мощностях. Общая структура системы представлена на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Общий вид компонентов системы

На схеме показано как происходит управление версиями расчетов (рисунок 3.3).



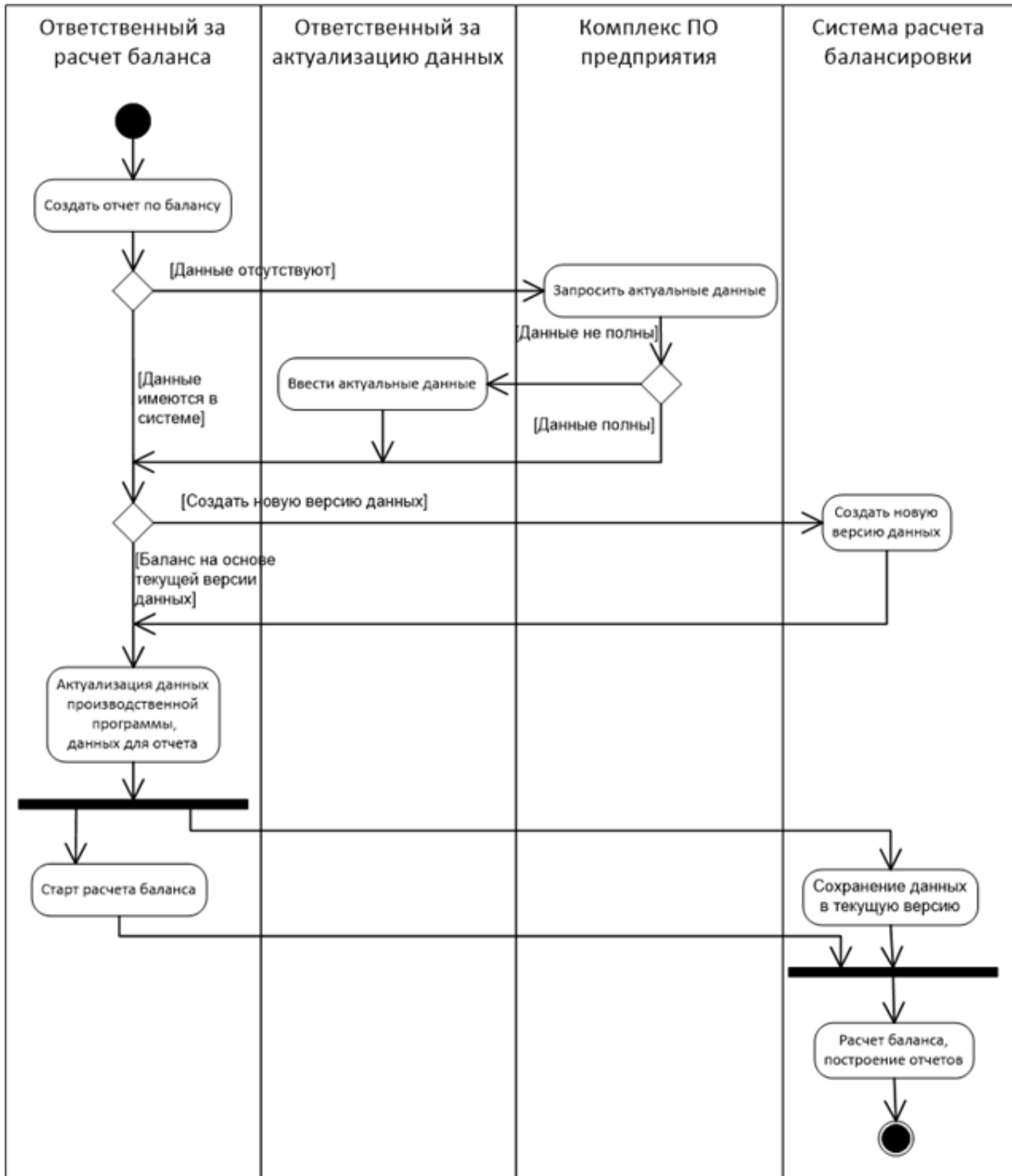


Рисунок 3.3 – Последовательность выполнения операций при расчете баланса

Были выделены следующие роли в системе:

1. Администратор системы. Отвечает за интеграцию с существующими ИС предприятия и извлечения данных из них.
2. Ответственный за составление отчета по балансировке. Выполняет ручной ввод данных, которых нет в ИС предприятия. Запускает

выполнение операции расчета баланса мощностей. Управляет версионностью.

### 3. Ответственный за актуализацию данных в системе предприятия.

На рисунке 3.4 представлена Use-case диаграмма взаимодействия пользователей с системой.



Рисунок 3.4 – Сценарии взаимодействия

## 3.2 Информационное обеспечение программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов

### 3.2.1 Информационное обеспечение программной системы балансировки мощностей

В ходе проектирования ИО системы оптимизации ресурсов были выделены следующие сущности:

- Оборудование.
- Подразделения.

- Сотрудники.

Выделенные сущности будут ключевыми таблицами. Через различные отношения они связаны с дополнительными таблицами базы данных.

Сущность «Сотрудник» связана с сущностью «Должность» (position) типом связи «многие-ко-многим». Данная связь определяет какую должность занимает сотрудник.

Сущность «Должность» содержит перечень должностей.

Сущность «Оборудование» связана с сущностью «Тип оборудования» (tool\_type) типом связи «многие-ко-многим». Также эта сущность связана с сущностью «Тип работы» (work\_type). Данная связь определяет тип работ, которые можно выполнять на оборудовании.

Сущность «Тип оборудования» содержит перечень типов.

Сущность «Тип работы» содержит перечень типов работ.

Также есть сущность «Версия данных». Эта сущность используется для представления информации в различных временных разрезах, что позволяет получить актуальные данные на требуемую дату.

Разработана OWL-онтология интеграции информационного обеспечения авиастроительного предприятия для задачи балансировки, которая имеет иерархическую структуру и включает в себя 32 класса, 31 объектное свойство, 47 типов данных. На рисунке 3.5 представлена диаграмма разработанной онтологии.

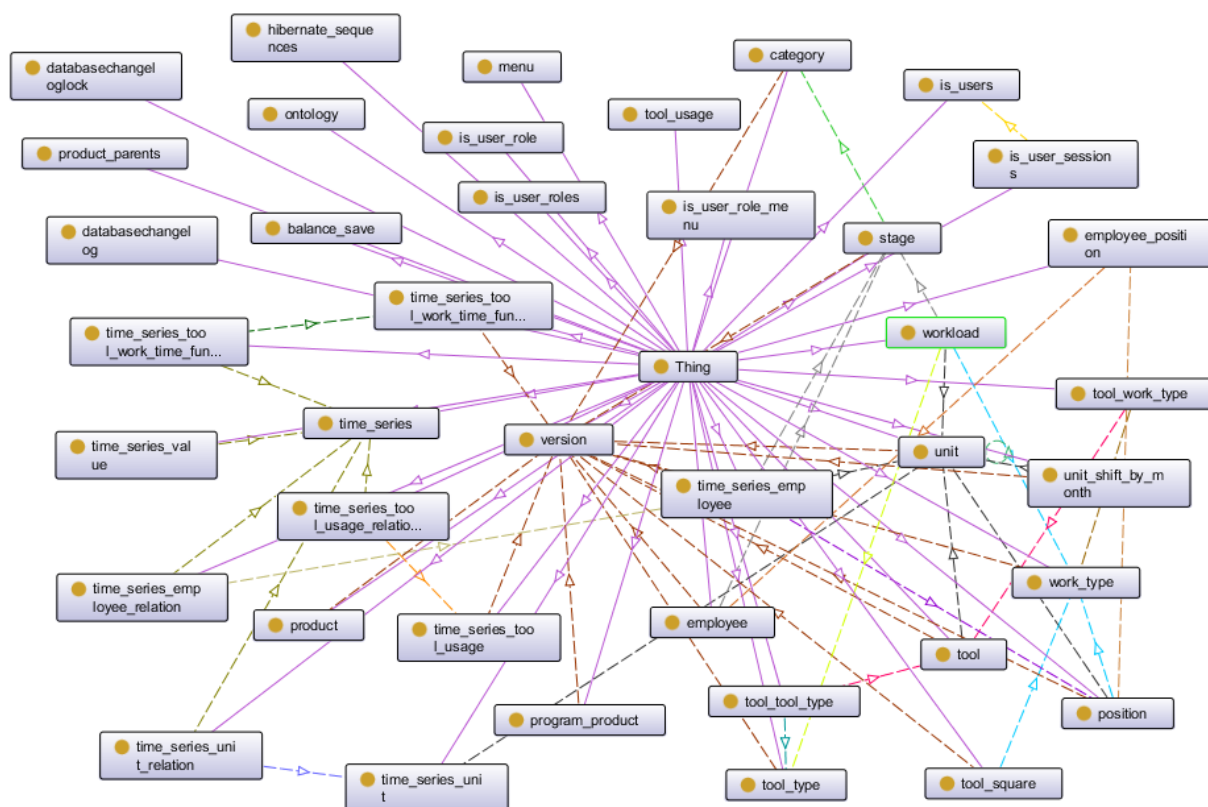


Рисунок 3.5 – Схема онтологической модели интеграции информационного обеспечения авиастроительного предприятия для задачи балансировки

В процессе проектирования ИО системы оптимизации ресурсов были получены следующие результаты:

1. Рассмотрены проблемы, подходы, методы и алгоритмы построения ИО ИС.
2. Представлены методы и алгоритмы решения технических проблем интеграции системы оптимизации ресурсов с существующими информационными системами предприятия.
3. Описаны методы и алгоритмы решения методологических проблем интеграции системы оптимизации ресурсов с существующими информационными системами предприятия.
4. Определены организационные проблемы интеграции системы оптимизации ресурсов с существующими информационными системами предприятия.

5. Рассмотрены разработанная модель данных ИБ системы оптимизации ресурсов.
6. Представлена диаграмма «Сущность-Связь» модели данных ИБ системы оптимизации ресурсов

### 3.2.2 Информационное обеспечение программной системы диагностических временных рядов. База данных

На рисунке 3.6 представлена развернутая структура БД.

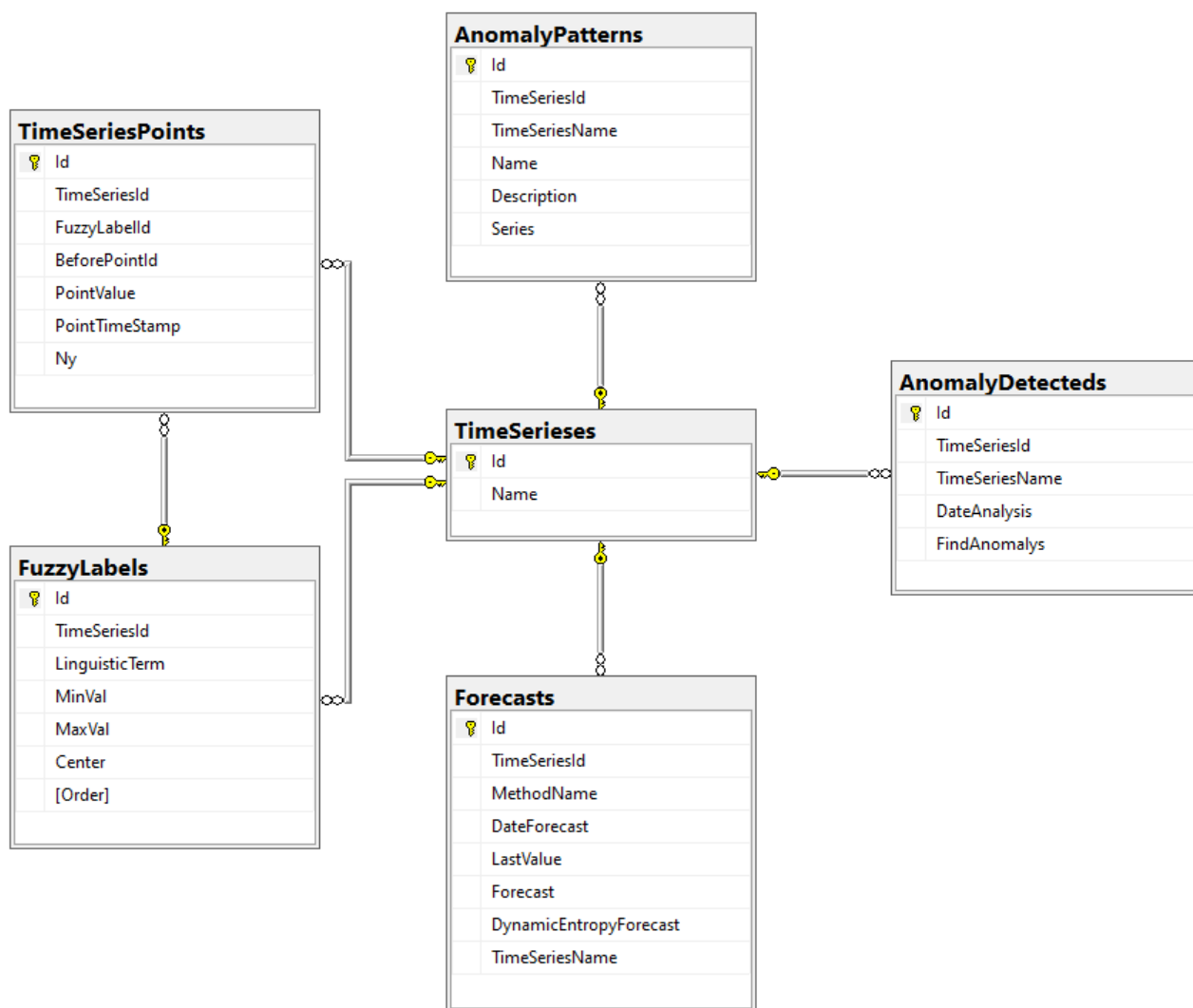


Рисунок 3.6 – Диаграмма БД

Описание таблиц, указанных на диаграмме:

- TimeSerieses

Главная таблица, в которой содержатся сведения о ВР. Хранятся следующие параметры: идентификатор, имя ряда.

- FuzzyLabels

Таблица для хранения данных о нечетких метках ВР. Хранятся следующие параметры: идентификатор, идентификатор ряда, к которому относится метка, лингвистическое значение для нечеткой метки, числовые значения границ и центра метки, порядковый номер метки.

- TimeSeriesPoints

Таблица для хранения данных о точках ВР. Хранятся следующие параметры: идентификатор, идентификатор ряда, к которому относится точка, идентификатор нечеткой метки, к которой относится точка, числовое значение, временная метка и значение  $\mu$ .

- Forecasts

Таблица для хранения результатов прогноза по ВР. Хранятся следующие параметры: идентификатор, идентификатор ряда, по которому строится прогноз, название метода, по которому совершается прогноз, дата прогноза, значение в последней точке ВР, прогноз через метод, прогноз для динамики энтропии ВР.

- AnomalyPatterns

Таблица хранения паттернов аномалий по ВР. Хранятся следующие параметры: идентификатор, идентификатор ряда, по которому задается паттерн, название паттерна, его описание, а также самой серии паттернов. Серия записывается в виде строки чисел, разделенных специальным разделителем. Каждое число соответствует набору паттернов поведения, один из которых может быть у нужной точки исследуемого ряда.

- AnomalyDetecteds

Таблица хранения найденных аномалий при анализе ВР. Хранятся следующие параметры: идентификатор, идентификатор ряда, по которому проводился анализ, дата проведения анализа, список

найденных аномалий в виде строки. В список через разделитель записываются данные: номер точки, с которой начинается паттерн аномалии и название паттерна аномалии.

### **3.3 Обоснование инструментов реализации программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов**

При проектировании разрабатываемого приложения был применен компонентно–ориентированный подход. Для хранения данных обработки ВР выбрана СУБД реляционного типа.

Современные системы должны быть гибкими и адаптируемыми. Для этого была применена концепция DAL (Data Access Layer), при которой методы работы с БД были вынесены в отдельный модуль, чтобы в случае появления более эффективных средств обработки и хранения информации было возможно без дополнительных издержек перейти на них. Так же в отдельный модуль вынесена бизнес-логика для возможности использования нескольких вариантов интерфейса взаимодействия с пользователем (например, десктопное приложение или web-клиент). К разрабатываемому ПО предъявляются требования кроссплатформенности и возможности работать на различных ОС.

Главное требование, предъявляемое к среде разработки – это возможность простой и удобной работы с СУБД, позволяющее писать запросы, работающие в различных СУБД без изменения текстов запросов (технология Entity Framework), а также удобный редактор кода.

Следуя этим критериям, выбор был сделан в пользу языка C# и среды разработки – Visual Studio 2019, позволяющий реализовать все требуемые условия. Данная среда позволяет легко реализовать разбиение разрабатываемой платформы на отдельные модули и иметь просто и удобный интерфейс для подключения различных дополнительных технологий, в

частности, Entity Framework. Наличие версии Core или .Net версии 5 и выше позволяет создавать кроссплатформенные приложения.

В качестве используемой СУБД выбор пал на Microsoft SQL Server. Выбор был сделан в том числе за счет наличия удобного интерфейса взаимодействия с БД, и простотой подключения к СУБД через технологию Entity Framework.

### **3.4 Структуры данных программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов**

#### **3.4.1 Структуры данных программной системы балансировки мощностей**

##### *3.4.1.1 Структура входных данных*

Для выполнения расчета балансировки мощностей требуются следующие входные данные:

- количество сотрудников по цехам;
- действительный годовой фонд времени рабочего;
- КПН;
- количество станков (универсальные, с ЧПУ, высокопроизводительные ОЦ);
- для каждого цеха и типа станков «Удельная производственная площадь на единицу оборудования»;
- таблица коэффициентов использования оборудования;
- площади, закреплённые за цехами по объектам недвижимости (производственные, вспомогательные, складские, административные);

Эти данные можно отнести к постоянным в том плане, что они неизменны как для фактической балансировки мощностей, так и для



моделирования загруженности производства при разных производственных программах.

Главный входной параметр, влияющий на загруженность ресурсов – производственная программа предприятия. В производственной программе описываются производимые предприятием изделия, а также, трудозатраты на их производство.

Разрабатываемая система должна работать в двух режимах:

1. Балансировка мощностей по фактической производственной программе.
2. Анализ возможности оперативного изменения фактической производственной программы для добавления новых изделий.

Второй режим – это моделирование загруженности ресурсов предприятия с учетом ввода в производство новых изделий. Проектирования данного функционала обусловлена включением предприятия в большую корпорацию. Периодически у предприятия возникает потребность дать оценку возможности производства на предприятии как компонентов изделий, так и полного изделия для других предприятий корпорации. Данный режим позволяет определить загруженность ресурсов предприятия с учетом изменения текущей производственной программы (добавление программ производства новых компонентов/изделий) и имеющимися ресурсами (персонал, станки, площади) и дать оценку возможности производства требуемых компонентов/изделий.

#### *3.4.1.2 Структура выходных данных*

Выходными данными являются показатели загруженности ресурсов и их профицит/дефицит для каждого вида ресурсов на каждый год (рисунок 3.7).

| Персонал                       |      |
|--------------------------------|------|
| Балансировка персонала         |      |
|                                | 2019 |
| Всего необходимо, тыс. ч/ч     | 0.11 |
| Всего необходимо, чел.         | 1    |
| Численность имеется, чел.      | 2    |
| Коэффициент загрузки по ОПР, % | 5.78 |
| Профицит/дефицит, чел.         | 1    |
| Набор численности ОПР, чел.    | 0    |

Площадки

Оборудование

Рисунок 3.7 – Пример результата балансировки мощностей

Коэффициент загрузки наравне со значением профицита/дефицита ресурса позволяет определять загруженность ресурсов как отдельных участков производства (например, цехов), так и всего участка в целом. Также на основе этих показателей можно делать вывод о потребности пополнения ресурсов.

### 3.4.2 Структуры данных программной системы диагностических временных рядов

#### 3.4.2.1 Структура входных данных

В качестве входных данных будут выступать файлы с ВР. Программа имеет интерфейс для указания порядка расположения данных в файле. Т.е., например, сперва идет числовое значение, потом дата/время. В качестве необходимых для расчетов данных требуются следующие данные: отметка даты/времени, числовое значение. На рисунке 3.8 представлен интерфейс настройки загружаемого файла и конфигурирования диагностического теста.

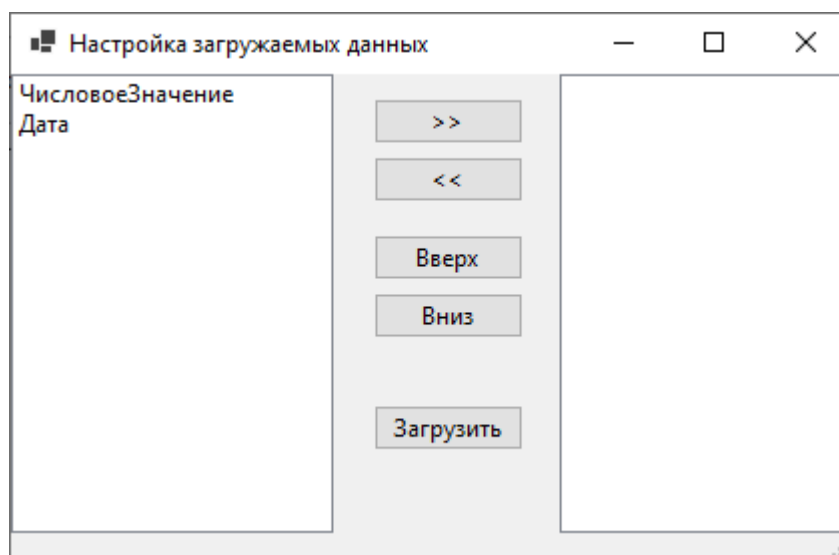


Рисунок 3.8 – Интерфейс программы для настройки загружаемого файла

С помощью кнопок «>>», «<<», «Вверх», «Вниз» указывается какие данные будут содержаться во входном файле и в каком порядке они там будут располагаться.

На основной форме предусмотрен выбор источника данных. Им может выступать текстовый файл или excel-файл, либо ВР подгружается из хранилища (рисунок 3.9). Если выбирается вариант загрузки с текстового или excel-файла, то дополнительно будет вызван интерфейс настройки загружаемого файла.

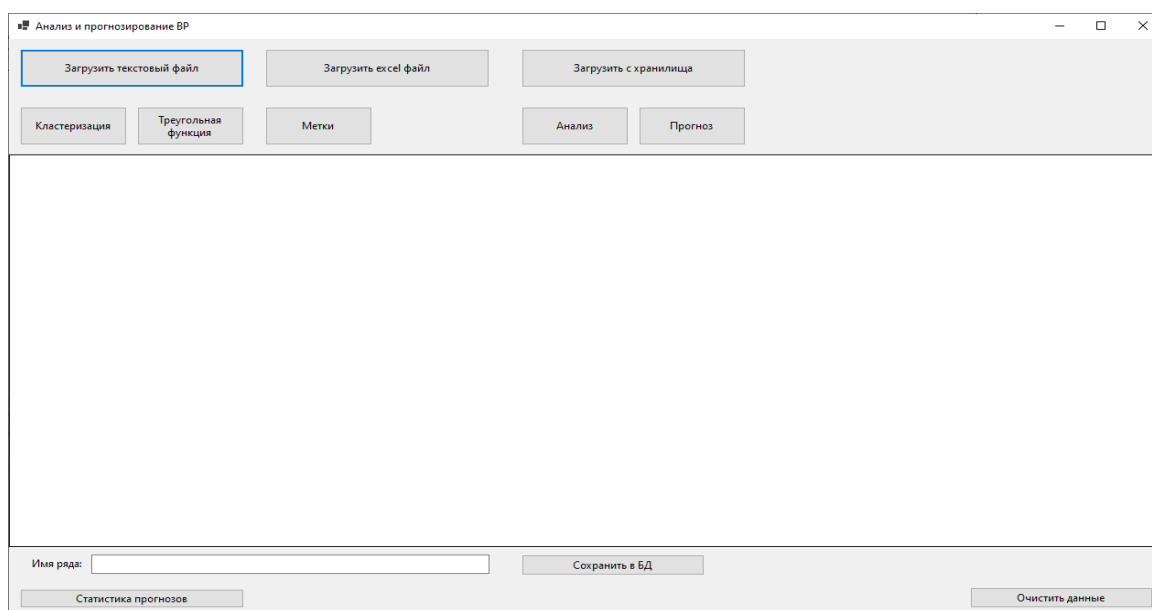


Рисунок 3.9 – Основной интерфейс программы для работы с ВР

### 3.4.2.2. Структура выходных данных

В качестве выходных данных выступают:

- записи, полученные в ходе выполнения диагностического теста (рисунок 3.10), в которых отмечается название встреченного паттерна и номер точки, с которой он начинается

| Название  | Начало |
|-----------|--------|
| паттерн 1 | 0      |
| паттерн 1 | 3      |
| паттерн 1 | 26     |
| паттерн 1 | 32     |
| паттерн 1 | 49     |
| паттерн 1 | 50     |
| паттерн 1 | 51     |
| паттерн 1 | 57     |
| паттерн 1 | 92     |
| паттерн 1 | 93     |

Рисунок 3.10 – Пример записей результатов диагностического теста

- результаты прогнозирования для ряда, представленные на рисунке 3.11, в котором отображается название метода, либо источника прогнозных значений, значение в последней точке ряда (которое прогнозируем), значение прогноза через метод либо источник, значение SMAPE для этого прогноза, значение прогноза через динамику энтропии, значение SMAPE для этого прогноза, усредненное прогнозное значение и значение SMAPE для усредненного прогнозного значения

|                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| Метод прогнозирования: | Сайт time-series.athene.tech |
| Значение:              | 1592,16733774914             |
| Оригинальный прогноз:  | 1650,343800163443            |
| Отклонение:            | 0,03588358524606638          |
| Прогноз по энтропии:   | 1499,1013238223925           |
| Отклонение:            | 0,060212180897557296         |
| Прогноз сред:          | 1574,7225619929177           |
| Отклонение:            | 0,011016976471233272         |

Рисунок 3.11 – Пример записей по прогнозу

### **3.5 Программные модули программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов**

#### **3.5.1 Программные модули программной системы балансировки мощностей**

Программа ДВР разбита на ряд модулей. Один из модулей отвечает за расчет балансировки мощностей. Модуль построен на архитектурном стиле REST.

В моделях описаны все классы, требуемые для расчета баланса. Классы, описывающие персонал, станки и площади предприятия. Классы, описывающие информацию по балансировки для персонала, станков и площадей. А также периоды расчета и значения расчета баланса на периоды (рисунок 3.12).



Бизнес-логика содержит реализацию алгоритмов расчёта баланса пределов предприятия. Так как формулы расчета загруженности для каждого ресурса отличаются, то было выделено 3 отдельных сервиса для расчетов каждого из них (станки, персонал, ресурсы). Также имеется главный сервис для обработки входных данных, требуемых при балансировке мощностей (рисунок 3.13).

Основные классы сервиса:

- Класс `BalanceAreaService` отвечает за расчет нагрузки по площадям производства.
- Класс `BalanceEmployeeService` отвечает за расчет нагрузки на персонал, а также определяет возможность перевода работников с различных участков для устранения дефицитов/профицитов на них.
- Класс `BalanceToolService` отвечает за расчет нагрузки на станки и прочее оборудование, используемое в производстве.
- Класс `BalanceService` отвечает за получение всех необходимых входных данных для расчетов.

Все классы привязаны к специальному сервису `VersionService`, который отвечает за версию расчетов. Это позволяет оперировать сразу несколькими расчетами нагрузок, исходя из разных производственных планах и имеющихся (или возможных) ресурсов.





Контроллеры предоставляют интерфейсы для запросов (rest-технология) пользователя для работы с модулем. Контроллер `BalanceChartController` отвечает за вывод диаграмм и графиков, связанных с балансировкой мощностей. Он связан с сервисом `BalanceChartService`, который предоставляет все необходимые данные для построения графиков. Контроллер `BalanceController` отвечает непосредственно за предоставление функционала для проведения балансировки и расчетов загруженности ресурсов. Он связан с ключевыми сервисами системы: `BalanceService`, `BalanceEmployeeService`, `BalanceToolService`, `BalanceAreaService` и `BalanceValidationService` (рисунок 3.14).

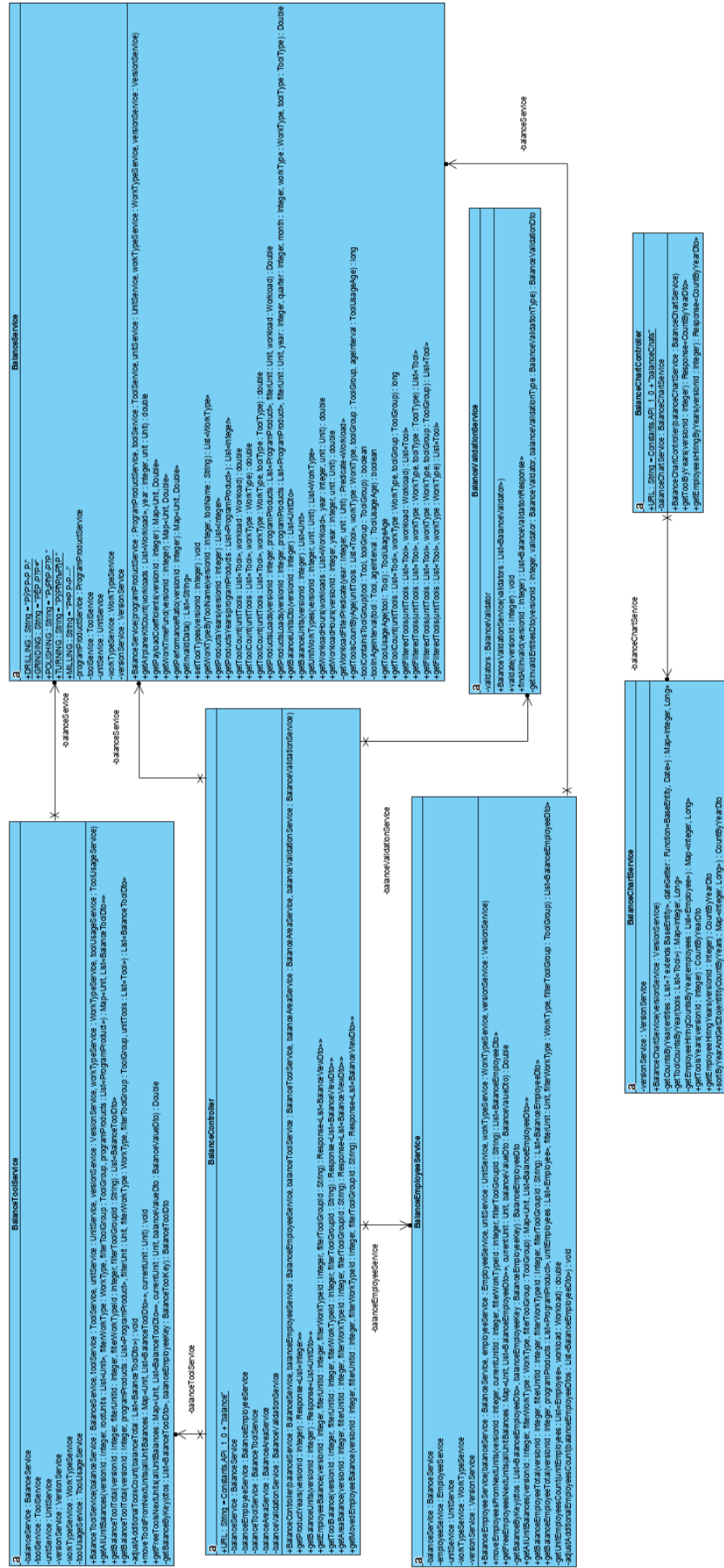


Рисунок 3.14 – Диаграмма классов контроллеров модуля ПСБМ

### 3.5.2 Программные модули программной системы диагностических временных рядов

Программа ДВР построена на основе концепции DAL и разбита на 3 модуля:

- модуль работы с БД,
- модуль, отвечающий за бизнес-логику,
- модуль интерфейса пользователя.

Модуль работы с БД отвечает за сохранение и получение данных из базы данных. В качестве СУБД используется MS SQL Server.

В модуле содержатся:

- Классы для создания БД (используется технология Entity Framework Code-First).
- Вспомогательные классы для конвертации данных из одних пользовательских типов в другие.
- Классы для работы с БД.

На рисунке 3.15 представлена диаграммы классов модуля работы с БД. Всего имеется 6 классов-моделей, которые наследуются от классов-моделей, объявленных в проекте с бизнес-логикой и расширяются связями между сущностями БД. Классы для работы с БД наследуются от интерфейсов, объявленных в проекте с бизнес-логикой и реализуют методы для считывания, добавления, редактирования и удаления записей из БД для каждой из классов-моделей. Отдельно имеется класс-наследник от DbContext, необходимый для работы с БД через технологию EntityFramework, а также статический класс для преобразования классов-моделей с проекта бизнес-логики в классы-модели проекта работы с БД и наоборот.

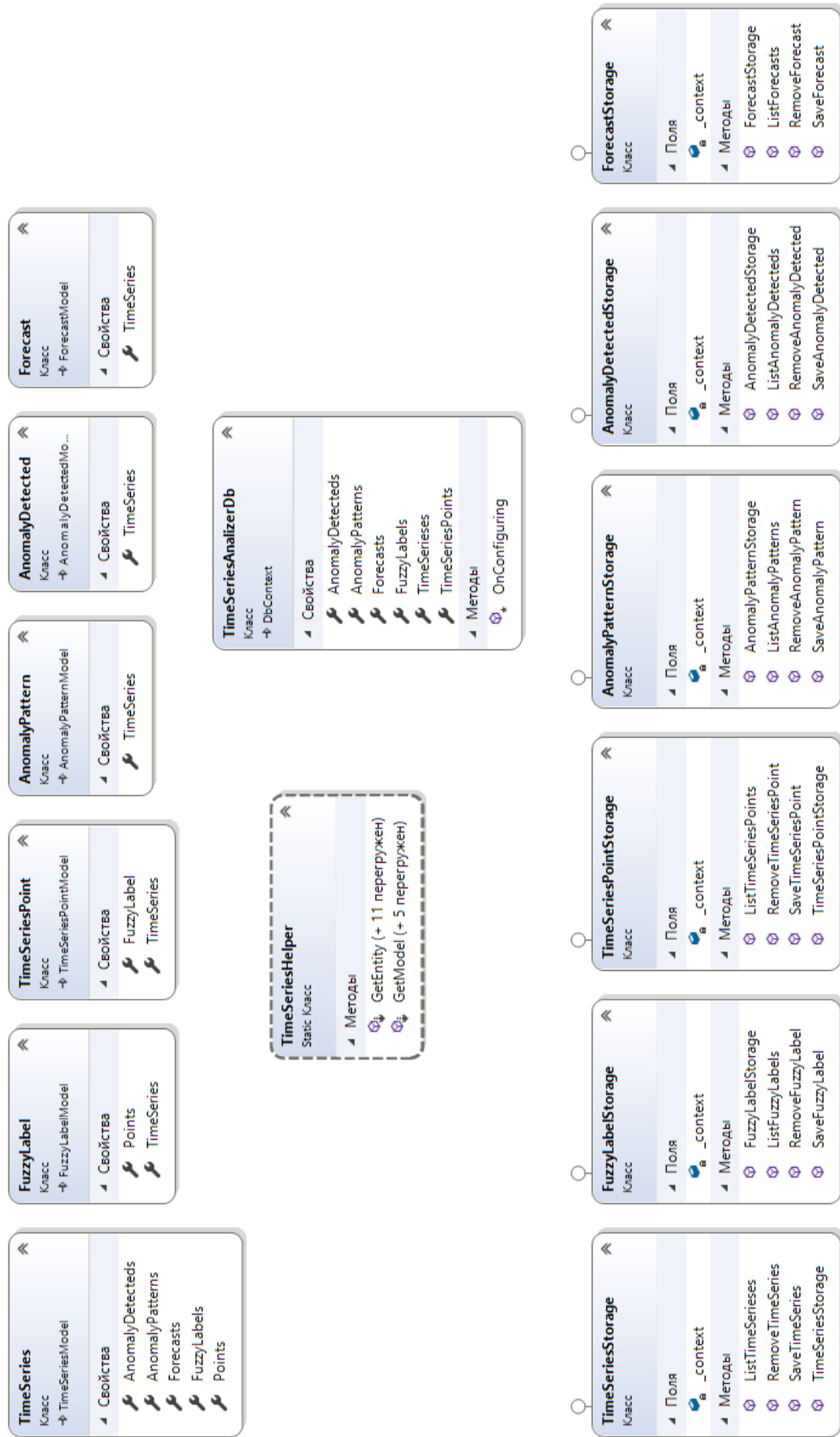


Рисунок 3.15 – Диаграмма классов модуля работы с БД, хранящих информацию по ВР

Модуль реализации бизнес-логики отвечает за реализацию методов, работы с ВР, а также реализацию методов, описанных во второй главе для диагностирования ТС и прогнозирования последующих значений.

Модуль содержит следующие классы:

- классы-модели основных сущностей (в конце имен классов содержится приставка «Model») с набором данных, которые следует хранить в хранилище;
- классы, расширяющие классы-модели для работы логики, но не требующие хранения (различные вычисляемые поля и т.п.);
- интерфейсы, описывающие методы для взаимодействия с хранилищем (в конце имен интерфейсов содержится приставка «Storage»);
- вспомогательные интерфейсы и их реализации для загрузки ВР из различных типов файлов, преобразования в НВР, прогнозирования;
- класс с основной логикой для работы с ВР, для поиска аномалий и для прогнозирования (в конце имен классов содержится приставка «Logic»);
- вспомогательные binding и view модели, используемые в классах логики.

На рисунках 3.16 – 3.18 представлены фрагменты диаграммы классов модуля реализации бизнес-логики. На рисунке 3.16 сгруппированы классы-модели, классы, расширяющие классы-модели и интерфейсы, описывающие методы для взаимодействия с хранилищем. На рисунке 3.17 сгруппированы различные вспомогательные интерфейсы и их реализации. На рисунке 3.18 – класс с основной логикой для работы и вспомогательные binding и view модели, используемые в классах логики.

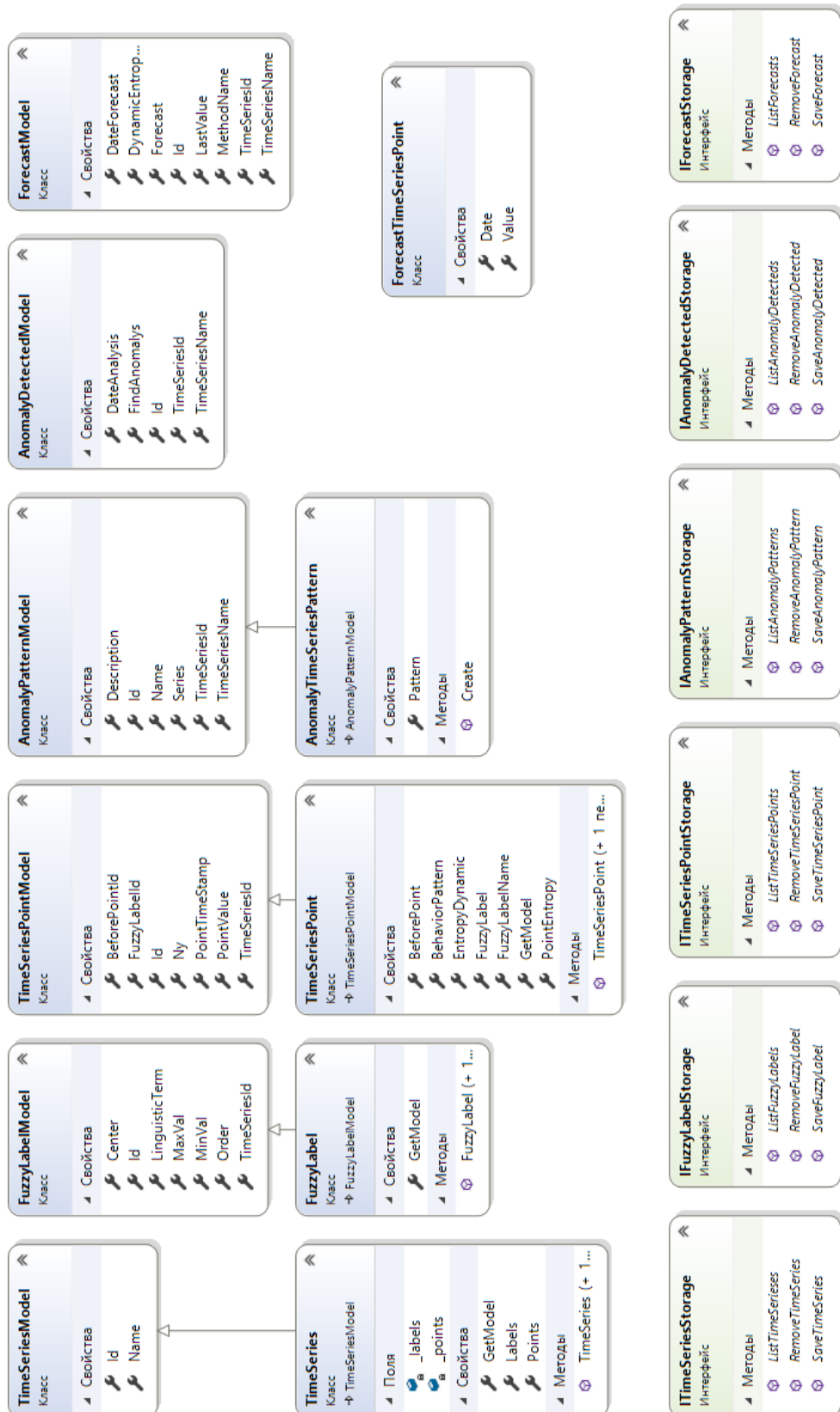


Рисунок 3.16 – Фрагмент диаграммы классов модуля реализации бизнес-логики с набором классов-моделей, классов, расширяющих классы-модели и интерфейсов, описывающих методы для взаимодействия с хранилищем

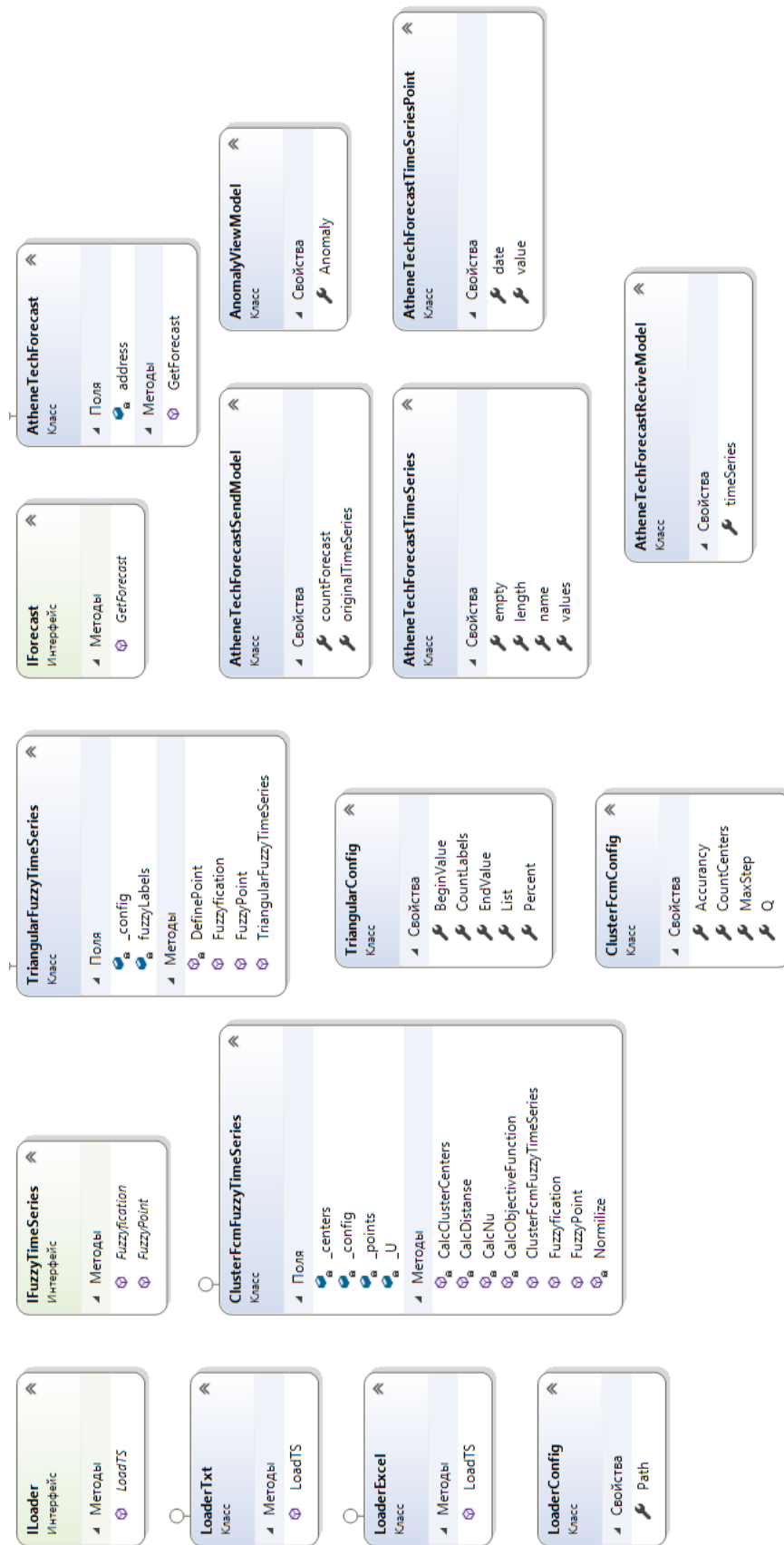


Рисунок 3.17 – Фрагмент диаграммы классов модуля реализации бизнес-логики с набором вспомогательных интерфейсы и их реализаций

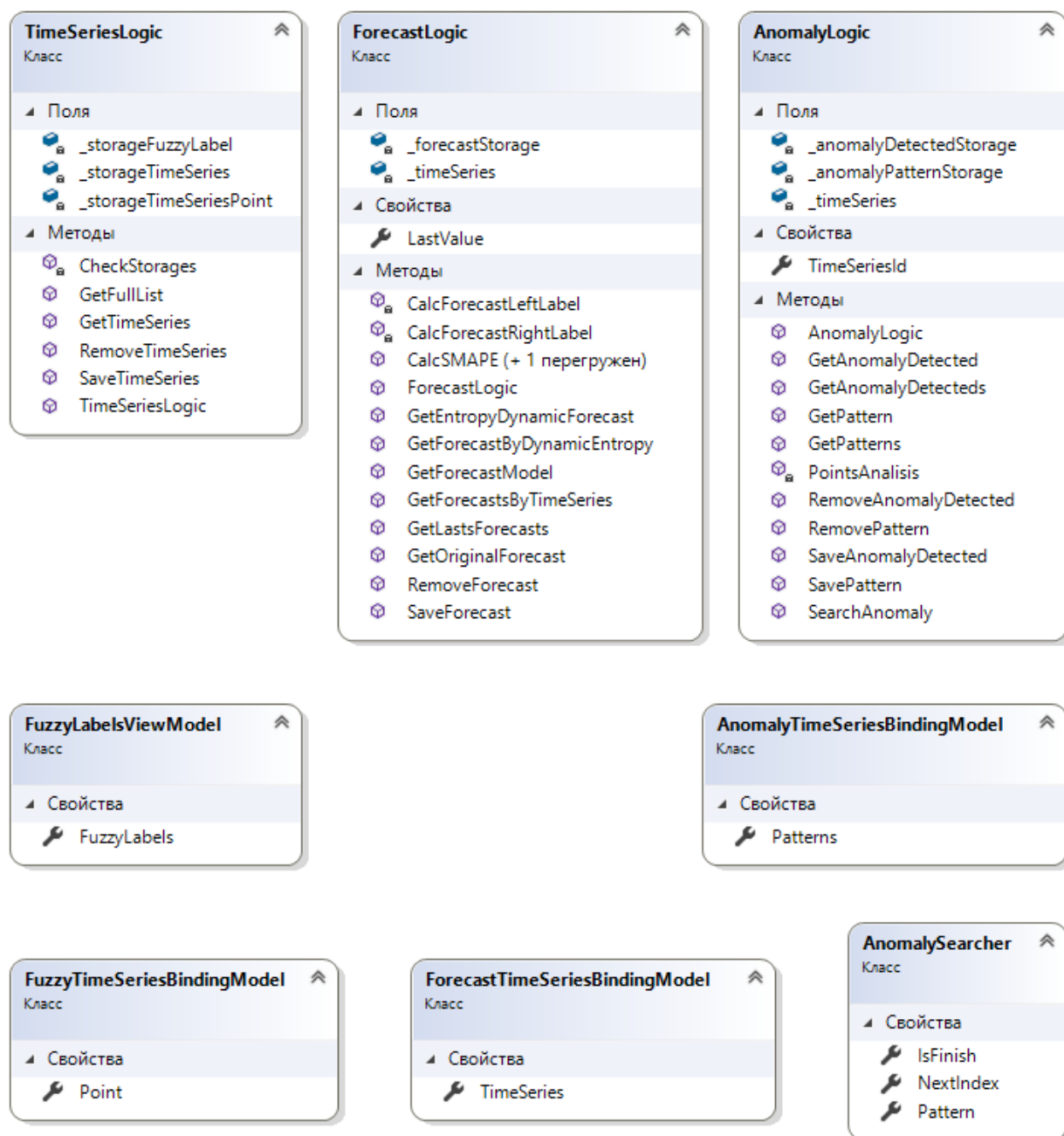


Рисунок 3.18 – Фрагмент диаграммы классов модуля реализации бизнес-логики с набором классов с основной логикой для работы и вспомогательных binding и view моделей, используемых в классах логики

Модуль интерфейса пользователя отвечает за визуализацию данных по диагностике ВР пользователю системы.

В состав модуля входят различные формы, для работы с ВР. На рисунках 3.19 и 3.20 представлены все формы с разбивкой на 2 группы:

- формы для работы с ВР, его загрузки, первичной обработки;



- формы для проведения анализа ВР и получения прогнозного значения.

Соответственно, на рисунке 3.19 представлена первая группа форм, а на рисунке 3.20 вторая.

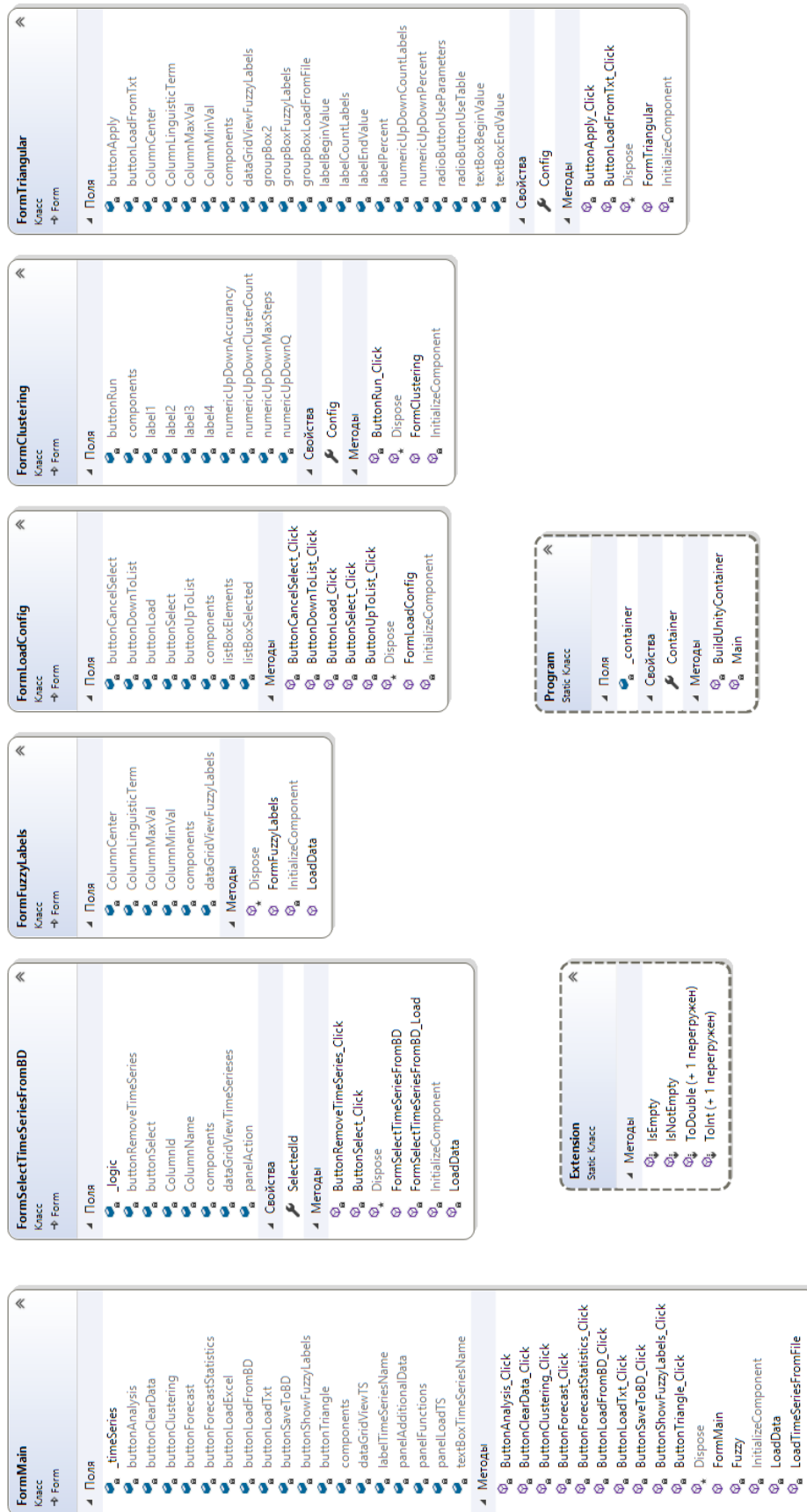


Рисунок 3.19 – Фрагмент диаграммы классов модуля интерфейса пользователя с формами для работы с ВР

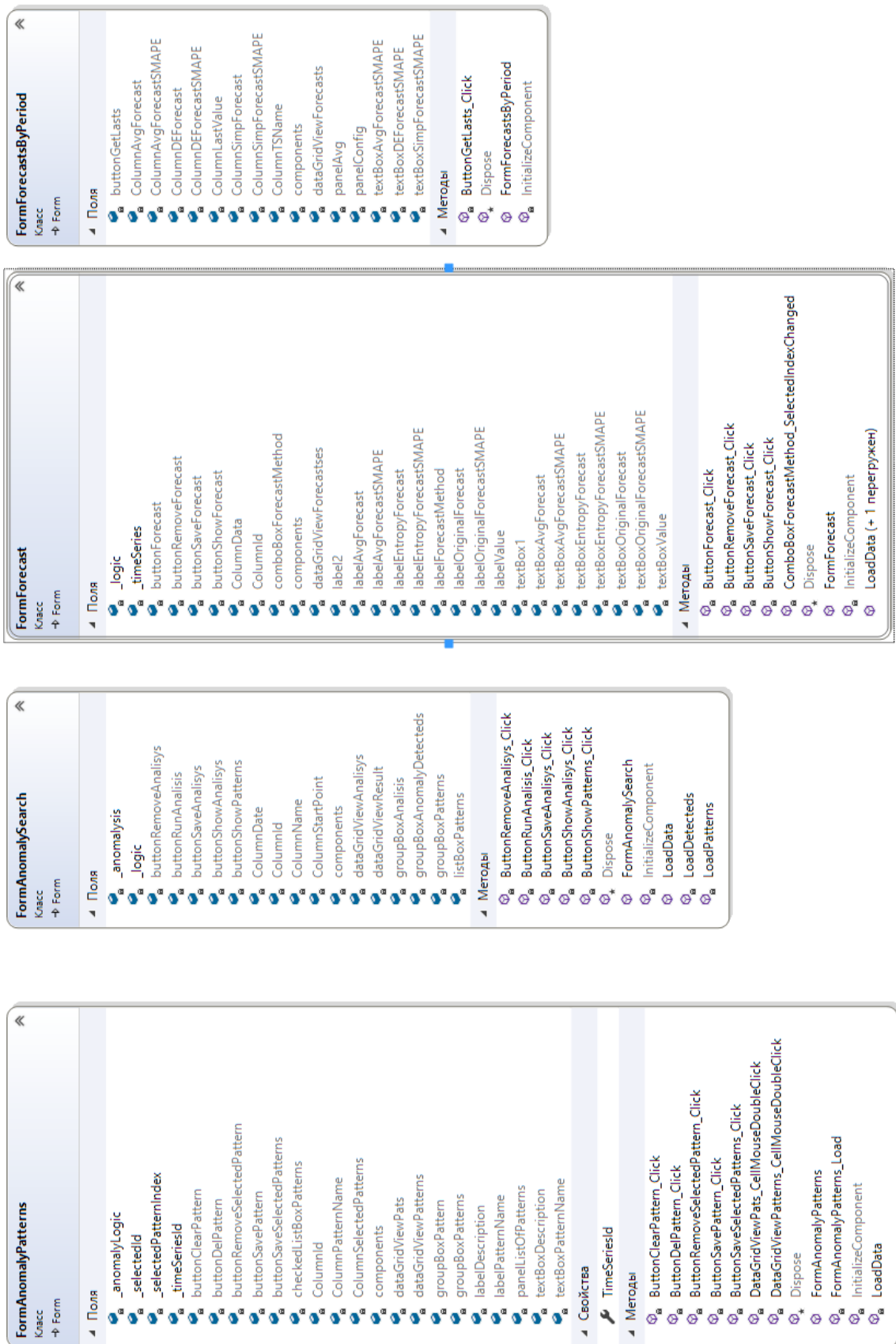


Рисунок 3.20 – Фрагмент диаграммы классов модуля интерфейса пользователя с формами для проведения анализа ВР и получения прогнозов

### **3.6 Диаграммы проекта программной системы программной системы балансировки мощностей и проекта программной системы диагностических временных рядов**

#### **3.6.1 Диаграммы программной системы балансировки мощностей**

Основные диаграммы ПС БМ были представлены на рисунках 3.1-3.4 и описаны в пункте 3.1 поэтому не будем здесь повторяться.

#### **3.6.2 Диаграммы программной системы балансировки мощностей и программной системы диагностических временных рядов**

##### *3.6.2.1 Диаграмма вариантов использования программной системы диагностики временных рядов*

Диаграмма вариантов использования (use-case) описывает функциональное назначение приложения. Use-case диаграмма является стартовым представлением или концептуальной моделью и разрабатывается на этапе проектирования приложения.

Пользователь имеет три основных варианта использования:

- ввод ВР и осуществление его первоначальной обработки;
- проведение анализа ВР (поиска аномалий);
- получение прогнозного значения;

При вводе данных пользователь должен заполнить ряд показателей по исследуемой характеристике, а также выполнить ряд обработок:

- загрузить ВР из файла;
- задать нечеткие метки и выполнить процедуру фаззификации ряда;
- выполнить кластеризацию ряда;
- просмотреть нечеткие метки ВР;
- загрузить ВР из хранилища;
- сохранить ВР в хранилище;

- удалить ВР из хранилища.

Для проведения поиска аномалий доступны следующие действия:

- сформировать наборы паттернов для выявления аномалий (добавление, редактирование, удаление, просмотр);
- выполнить анализ ряда;
- сохранить результаты анализа в хранилище;
- просмотреть ранее выполненные анализы по этому ряду;
- удаление ранее выполненного анализа по этому ряду.

Для получение прогнозного значения доступны следующие действия:

- получить прогнозное значение для ВР;
- сохранить результат прогноза в хранилище;
- просмотреть ранее полученные прогнозы по ряду;
- просмотреть прогнозы по всем рядам из хранилища.

Действия для проведения анализа ВР и прогнозирования не могут выполняться, пока не будет выполнен этап загрузки ВР из файла и его первоначальной обработки, либо загрузки уже заранее обработанного ВР из хранилища. Также, для выполнения поиска аномалий необходимо наличие паттернов (хотя бы одного), которые нужно будет искать в ряду.

На рисунке 3.21 представлена use-case диаграмма разрабатываемой системы.

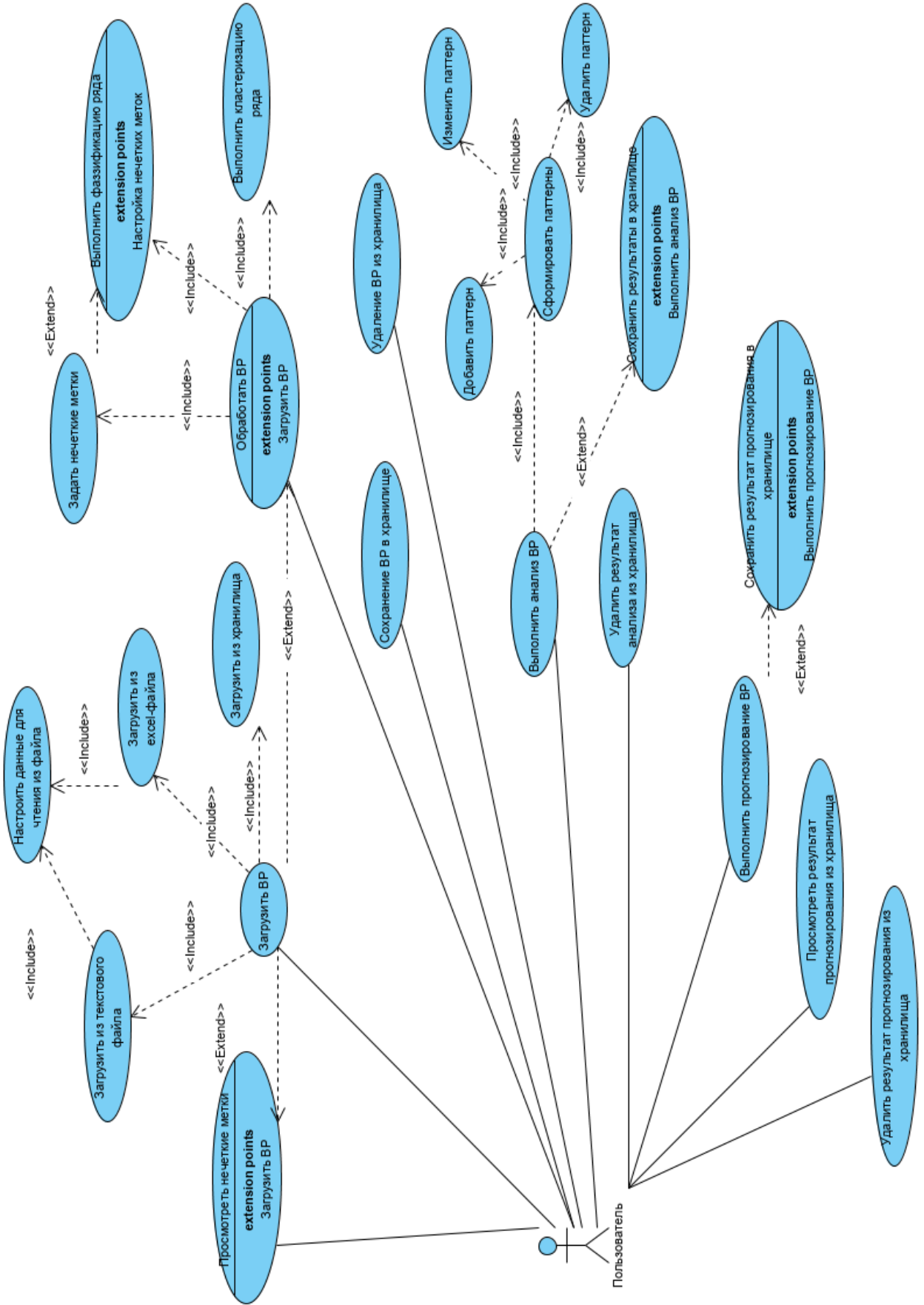


Рисунок 3.21 – Диаграмма вариантов использования

### *3.6.2.2 Диаграмма состояний программной системы диагностики временных рядов*

Диаграммы состояний используются для отображения работы сложных процессов или объектов. На диаграмме отображаются все допустимые состояния для экземпляра класса, а также возможные варианты изменения его состояния. На основе построенной диаграммы моделируются все возможные смены состояний объекта на внешние воздействия.

На рисунке 3.22 представлена диаграмма состояний описываемой системы.

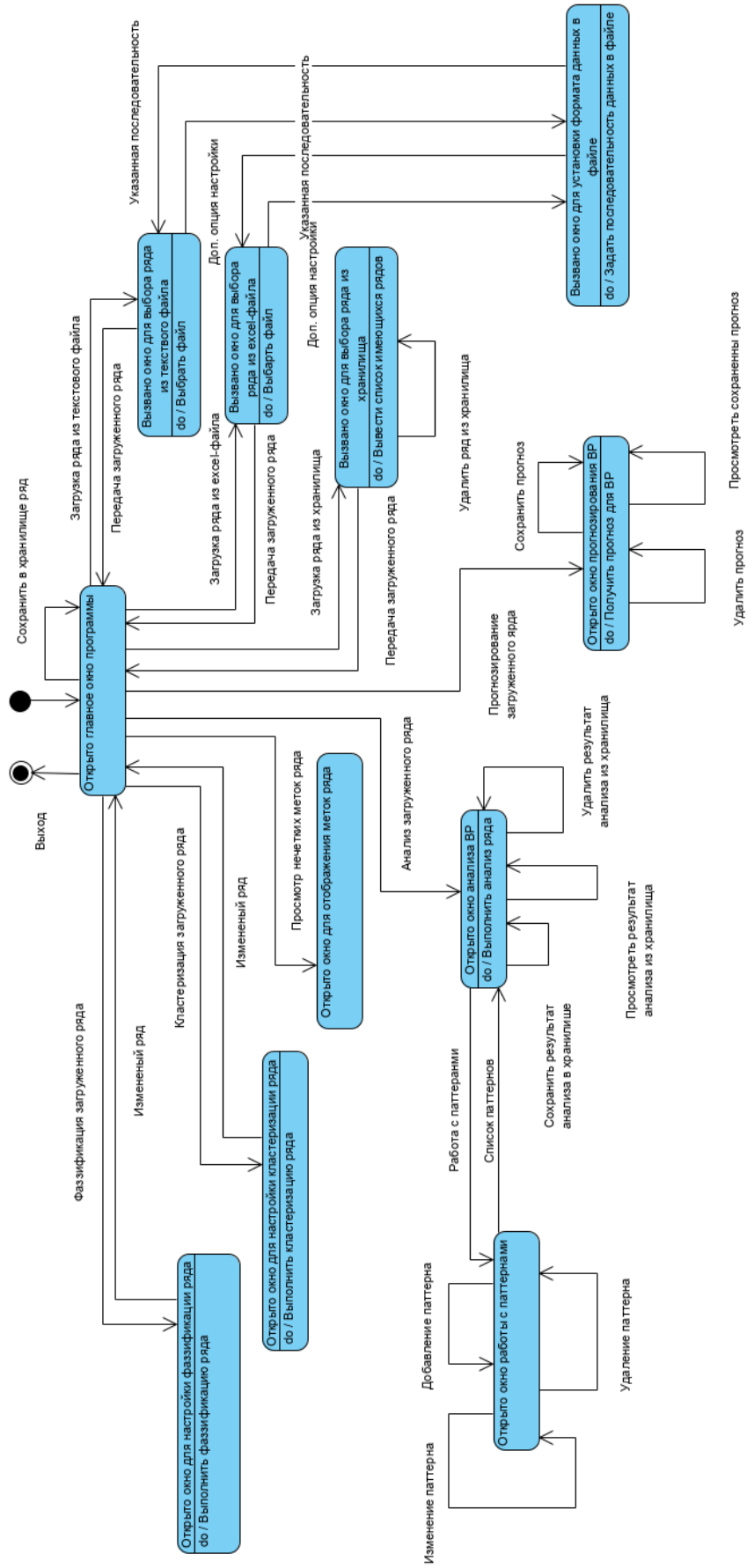


Рисунок 3.22 – Диаграмма состояний



### 3.6.2.3 *Диаграмма последовательности программной системы диагностики временных рядов*

Диаграмма последовательности (sequence diagram) применяется для отображения активности поведения системы. Стоит отметить, что явно время не отображается на диаграмме. Временной аспект поведения системы может иметь значимое влияние при моделировании синхронных процессов. Для моделирования взаимодействия объектов во времени в UML применяются диаграмма последовательности (sequence diagram). На данном типе диаграмм фигурируют объекты, участвующие во взаимодействии. Главным аспектом для sequence diagram является процесс взаимодействия объектов в течении времени.

При запуске системы пользователь открывает основную форму (на диаграмме называется «MainForm»). Основная форма является постоянно активным объектом на протяжении всей линии жизни. Это отображается через его фокус управления. На диаграмме фокус управления изображается в виде вытянутого вдоль линии жизни узкого прямоугольника. Верхняя сторона фокуса управления обозначает начало активности объекта. Нижняя сторона фокуса управления обозначает окончание активности. Если на всем протяжении линию жизни фокус управления является активным, то вместо пунктирной линии жизни изображается прямоугольник фокус управления.

На данной диаграмме рассматривается процесс проведения анализа ВР. После открытия основной формы необходимо открыть форму для анализа. Если ряд подгружался с хранилища, то на форму будут выведены списки паттернов под этот ряд, которые хранятся в хранилище и список ранее проведенных и сохраненных в хранилище анализов. В открывшейся форме можно вызвать форму для работы с паттернами и изменить их (обязательно, если ряд не из хранилища). Далее выполняется анализ ВР и вывод результатов. Результаты можно сохранить в хранилище, но не обязательно.

На рисунке 3.23 представлена диаграмма последовательности проведения анализа ВР.

#### *3.6.2.4 Диаграмма компонентов программной системы диагностики временных рядов*

Диаграмма компонентов (component diagram) отображает особенности физического представления системы. Диаграмма отображает архитектуру разрабатываемого приложения, позволяет устанавливать зависимости между программными модулями. В качестве программных модулей выступают отдельные проекты с исходным кодом (библиотеки классов) и проекты с исполняемым кодом. К главным элементам component diagram относятся интерфейсы, компоненты, а также зависимости между ними.

В процессе проектирования было выделено 3 модуля. Каждый модуль включает в себя пакеты с компонентами и отдельные важные компоненты. На диаграмме видна зависимость модулей и компонентов между собой через «отношение зависимости». Отношение зависимости предназначено для отображения связи между модулями или компонентами. Это означает, что изменения в одном элементе разрабатываемого приложения приводит к изменениям в другом элементе. На диаграмме компонентов связь-«отношение зависимости» изображается пунктирной линией со стрелкой. Стрелка задается по направлению от клиента (элемента, который будет зависимым в связи) к источнику (элементу, от которого будет зависеть другой элемент).

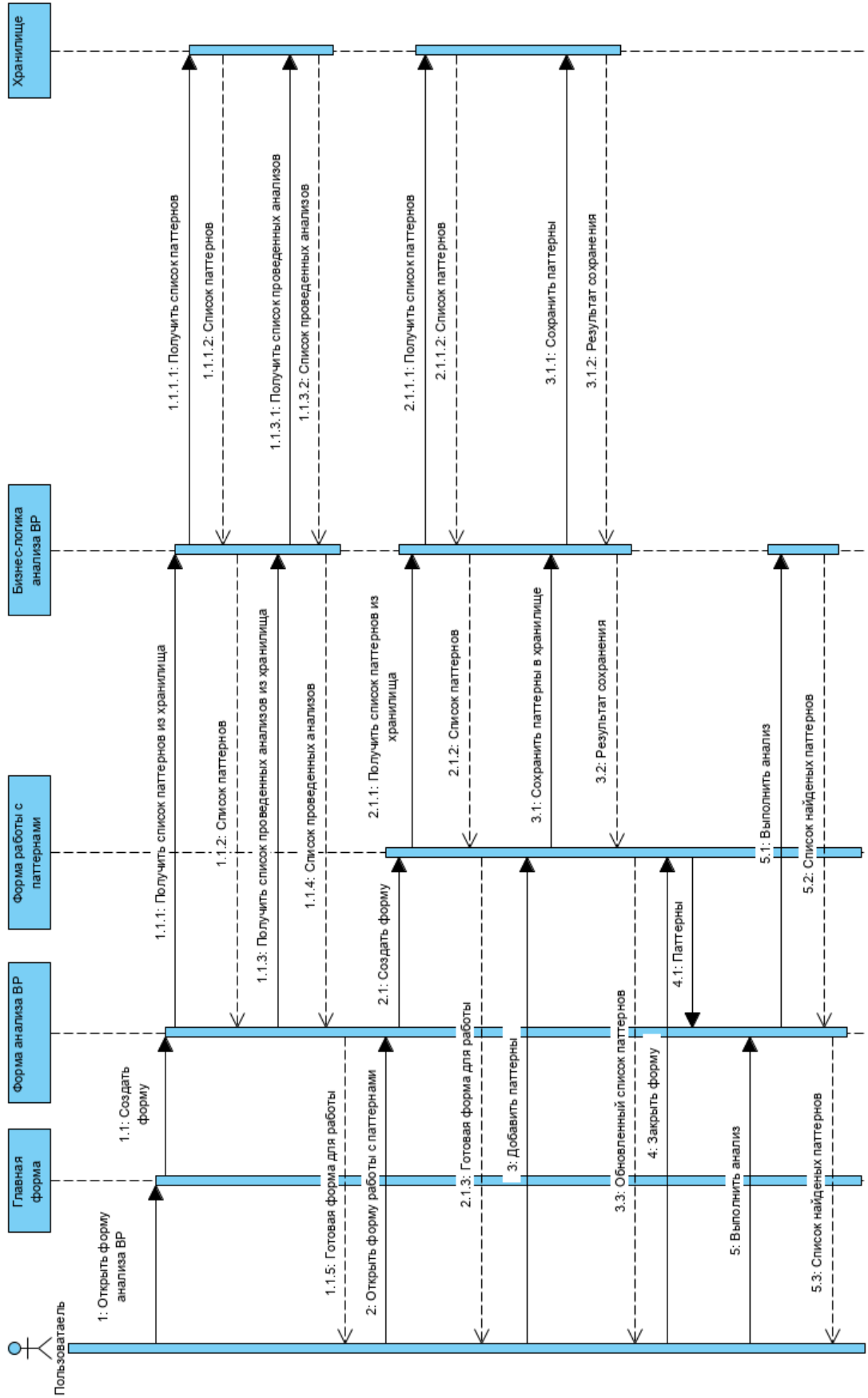


Рисунок 3.23 – Диаграмма последовательности

В проекте имеются два собственных компонента – библиотеки:

- «TimeSeriesImplements.dll» – для работы с таблицами базы данных;
- «TimeSeriesAnalyzer.dll» – компонент, в котором реализована бизнес-логика.

К компонентам развертывания относятся следующие компоненты – подключаемые библиотеки «Microsoft.EntityFrameworkCore.SqlServer.dll», «Microsoft.EntityFrameworkCore.Tools.dll» и «Microsoft.EntityFrameworkCore.dll». Они необходимы для работы с СУБД и используются в модуле TimeSeriesImplements. Подключаемые библиотеки «DocumentFormat.OpenXml.dll» и «Newtonsoft.Json.dll» используются в модуле TimeSeriesAnalyzer.

К компонентам исполнения относится компонент «WindowsFormsApp.exe». В нем также используются подключаемые библиотеки «Microsoft.EntityFrameworkCore.Design.dll» (требуется для корректной работы модуля TimeSeriesImplements) и «Unity.dll» (используется для внедрения DI и уменьшения связанности классов).

На рисунке 3.24 изображена диаграмма компонентов разрабатываемого приложения.

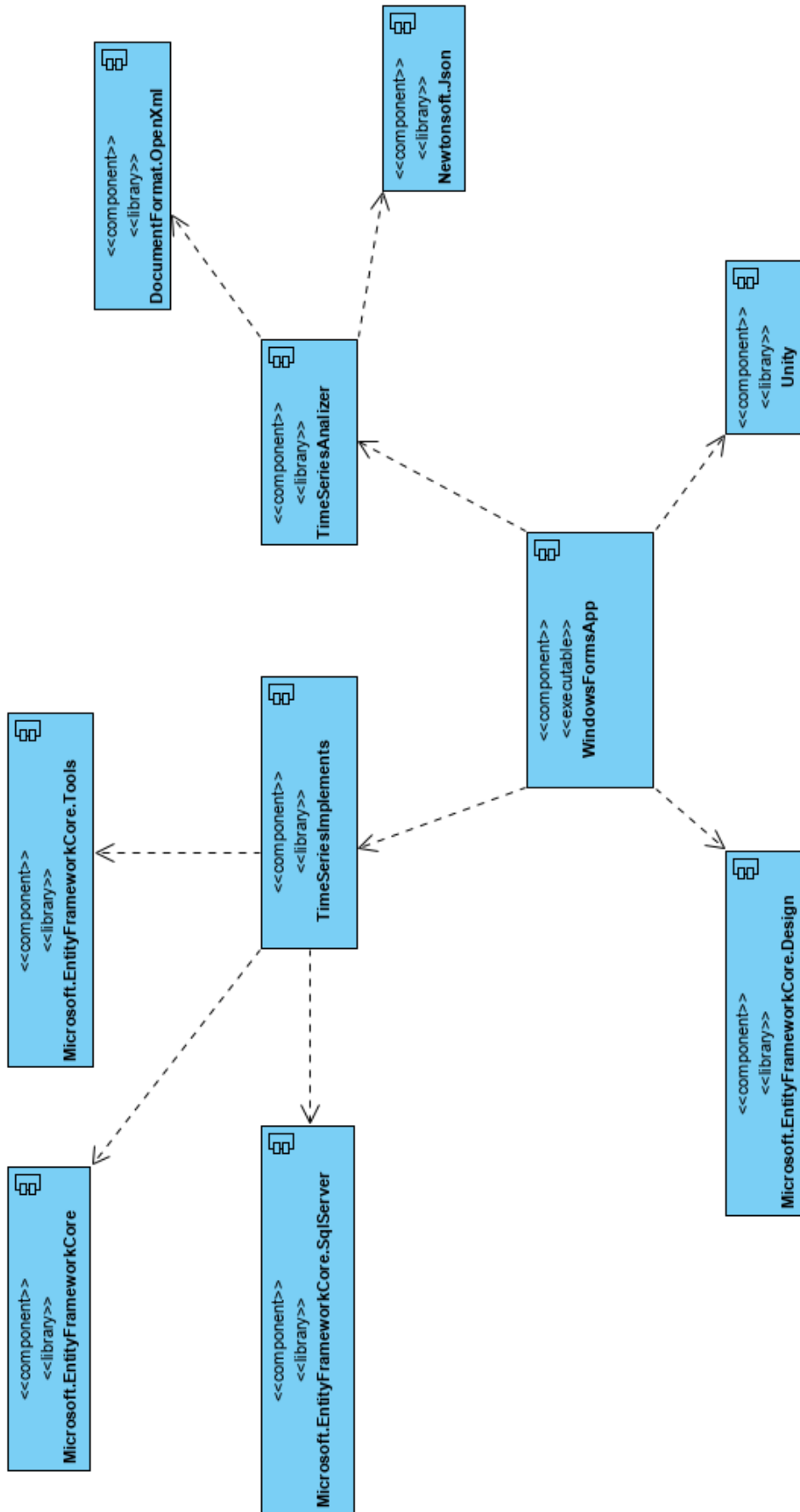


Рисунок 3.24 – Диаграмма компонентов

### 3.7 Выводы по главе

В третьей главе представлено описание структурно-функционального решения программной системы балансировки мощностей на основе прогнозирования временных рядов и онтологий в автоматизированной технологической подготовке производства.

Модуль программной системы балансировки мощностей позволяет:

- Выявлять перегруженные и недогруженные мощности производства.
- Моделировать загруженность производства при разных планах производства.

Модуль программной системы диагностирования ТС на основе наборов ситуаций позволяет:

- Выявлять аномалии во ВР и диагностировать неисправности ТС на основе выявленных аномалий.
- Прогнозировать значение ВР для определения будущего состояния ТС и принятия решения на основе этого состояния о потребности в профилактике или замены ТС.

Результаты работы зафиксированы в виде свидетельств регистрации программ ЭВМ (Приложение А) и акта о внедрении (Приложение Б).

## **ГЛАВА 4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНЫХ МЕР ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ. ВНЕДРЕНИЕ.**

### **4.1 План вычислительных экспериментов по анализу эффективности методов анализа диагностических временных рядов в задачах автоматизированной технологической подготовки производства.**

Для подтверждения эффективности разработанного подхода к балансировке мощностей и метода проведения диагностического теста с применением энтропийных ВР разработаны несколько планов экспериментов.

Первый план рассчитан на проверку точности прогнозирования последующего значения. Эксперимент будет разбит на две части. В рамках первой части будет проверена точность прогнозирования ВР через разработанный алгоритм по отношению к точности прогнозирования через существующие методы прогнозирования. Для этого предложен следующий порядок действий:

- Определяем нечеткие метки для ВР.
- Определяем энтропийный ВР и ВР динамики энтропии.
- Определяем метод прогнозирования, через который будет высчитываться прогнозное значение.
- Вычисляем три прогнозных значения, самым методом, через динамику энтропии и скорректированный прогноз.
- Вычисляем ошибки прогнозирования. С этой целью применяется критерии оценки точности нечеткого моделирования числовых

уровней ВР в виде симметричной средней абсолютной процентной ошибки (SMAPE):

$$SMAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|F_t - A_t|}{(|A_t| + |F_t|)/2},$$

где  $F_t$  – t-е прогнозное значение,

$A_t$  – реальное значение в точке t,

n – горизонт прогнозирования.

На основе имеющихся знаний и полученных данных прогноза делается заключение о точности предложенного метода. Во второй части эксперимента определяется зависимость точности прогноза через ЭнВР от точности прогноза метода прогнозирования, через который получается прогнозное значение динамики энтропии.

Второй план разработан для проверки корректности диагностического теста. На первом этапе эксперимента определяется 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. На третьем этапе выполняется сравнение разработанного алгоритма поиска аномалий с имеющимися методами и алгоритмами.

Третий план – это апробация созданных алгоритмов балансировки производственных мощностей на предприятии ПАО «Ил» – Авиастар. В рамках первого этапа проводится оценка сокращения времени выполнения расчета балансировки мощностей с использованием разработанной подсистемы по сравнению с существующим на данный момент на предприятии подходом к расчету балансировки мощностей. На втором этапе проверяется возможность прогнозирования состояния производственно-технологических процессов на основе временных рядов производственных показателей. На третьем этапе выполняется проверка контроля логической целостности правил с применением механизма логического вывода. На



четвертом этапе проверяется адекватность резумирования подсистемы балансировки мощностей по потребностям в мощностях в зависимости от потребностей в этих мощностях.

## **4.2 Вычислительные эксперименты эффективности анализа временных рядов на международных бенчмарках**

В описываемом эксперименте для проверки точности прогнозируемого значения были взяты данные с соревнований IRAFM 2015 [164]. Данные соревнования проводились для различных методов прогнозирования ВР.

IRAFM 2015 был рассчитан для методов вычислительного интеллекта, к которым относят: нечеткий метод, искусственные нейронные сети, эволюционные алгоритмы, решения и регрессионная структура, поддерживающие векторные машины, гибридные подходы и т. д., используемые во всех областях прогнозирования, прогнозирования и анализа временных рядов и т. д. Также допускаются комбинированные методы, использующие любой метод СИ. Для участников была разработана согласованная методология для всех ВР.

По причине того, что исследуемые ВР не имеют предметной области, формирования на их основе НВР будет производиться с применением fcm-кластеризации.

С целью определения зависимости качества итогового прогноза от качества прогноза выбранного метода прогнозирования было выбрано 3 разных метода прогнозирования.

Источником прогнозных значения первого метода прогнозирования для ВР выступала система анализа и прогнозирования ВР, разработанная на кафедре «Информационные системы» (<http://time-series.athene.tech/>). Разработанная система имеет API через который можно передавать ВР и получать прогнозные значения на требуемый период. Для данных рядов

система использовала метод экспоненциального сглаживания с трендом и сезонностью Хольта-Винтерса [165].

В качестве второго метода был выбран метод экспоненциального сглаживания [166]. Метод был выбран как простой в реализации, но имеющий низкое качество прогноза. Цель выбора данного метода, определить зависимость качества прогноза метода на качество прогноза через динамику энтропии.

Третьим методом был выбран метод прогнозирования на основе нейронной сети. Сеть обучается с помощью метода обратного распространения ошибки [167]. Данный метод имеет высокую точность, однако базируется на иных алгоритмах прогнозирования, нежели выше описанные.

Рассмотрим прогнозирование на примере первого ВР. На диаграмме ряд выглядит следующим образом (рисунок 4.1).

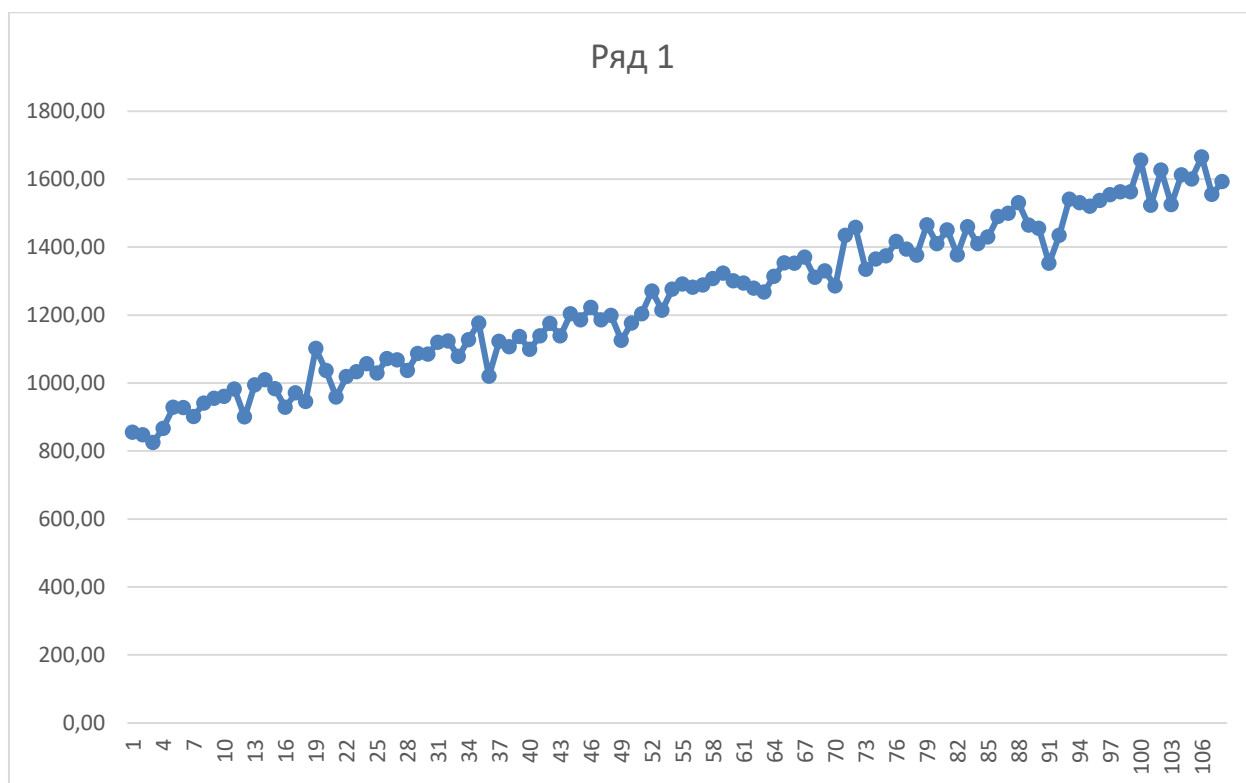


Рисунок. 4.1 – Пример ВР с соревнований IRAFM

Последнее значение ряда равно 1592,16733774914.

При прогнозировании методом Хольта-Винтерса получилось прогнозное значение, равное 1650,343800163443. Значение SMAPE равно 3,58%. При прогнозировании через энтропию динамики методом Хольта-Винтерса получилось прогнозное значение, равное 1665,00092848864. Значение SMAPE равно 4,47%. Скорректированное прогнозное значение равно 1657,6723643260416. Значение SMAPE равно 4,03%. В данном случае, скорректированное значение оказалось хуже исходного.

При прогнозировании методом экспоненциального сглаживания получилось прогнозное значение, равное 186,41632063578513. Значение SMAPE равно 158%. При прогнозировании через энтропию динамики методом экспоненциального сглаживания получилось прогнозное значение, равное 1665,00092848864. Значение SMAPE равно 4,47%. Скорректированное прогнозное значение равно 925,7086245622125. Значение SMAPE равно 52,93%. В данном случае, скорректированное значение оказалось лучше исходного, но хуже прогнозирования через энтропию динамики.

При прогнозировании нейронной сетью получилось прогнозное значение, равное 1430,048989234488. Значение SMAPE равно 10,72%. При прогнозировании через энтропию динамики нейронной сетью получилось прогнозное значение, равное 1665,00092848864. Значение SMAPE равно 4,47%. Скорректированное прогнозное значение равно 1547,524958861564. Значение SMAPE равно 2,84%. В данном случае, скорректированное значение оказалось самым точным.

Был проведен эксперимент, в рамках которого прогнозировалось  $n$  точек временного ряда, для лучшего определения качества прогнозирования. В качестве значения  $n$  было задано число 5. Были получены следующие результаты:

- Среднее значение ошибки SMAPE для последних из прогнозируемых значений ВР, взятых с IRAFM (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Значения SMAPE в последних точках прогноза ВР

| <b>Название метода</b>              | <b>Среднее значение SMAPE исходного метода</b> | <b>Среднее значение SMAPE динамики энтропии</b> | <b>Среднее значение SMAPE скорректированного прогноза</b> |
|-------------------------------------|--|---|---|
| Метод Хольта-Винтерса               | 32,11  | 32,00   | 21,96   |
| Метод экспоненциального сглаживания | 162,8  | 12,13   | 57,86   |
| Нейронная сеть                      | 26,82  | 12,49   | 18,15   |

- Среднее значение ошибки SMAPE для одноточечного прогноза ВР, взятых с IRAFM (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Значения SMAPE в первых точках прогноза ВР

| <b>Название метода</b>              | <b>Среднее значение SMAPE исходного метода</b> | <b>Среднее значение SMAPE динамики энтропии</b> | <b>Среднее значение SMAPE скорректированного прогноза</b> |
|-------------------------------------|--|---|---|
| Метод Хольта-Винтерса               | 17,37  | 18,56   | 15,33   |
| Метод экспоненциального сглаживания | 156,06   | 11,67   | 55,90   |
| Нейронная сеть                      | 23,57  | 11,56   | 16,32   |

- Среднее значение ошибки SMAPE по всем прогнозируемым значениям ВР, взятых с IRAFM (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Значения SMAPE во всех точках прогноза ВР

| <b>Название метода</b>              | <b>Среднее значение SMAPE исходного метода</b> | <b>Среднее значение SMAPE динамики энтропии</b> | <b>Среднее значение SMAPE скорректированного прогноза</b> |
|-------------------------------------|--|---|---|
| Метод Хольта-Винтерса               | 23,15  | 24,14   | 17,91   |
| Метод экспоненциального сглаживания | 171,83   | 11,84   | 63,51   |
| Нейронная сеть                      | 24,24  | 12,46   | 16,51   |

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что данный метод может успешно применяться для прогнозирования последующих значений для ВР при диагностировании ТС. Также, на основе прогноза можно определить, что для некоторых методов прогнозирования вычисление прогнозного значения через динамику энтропии будет точнее даже скорректированного прогнозного значения. Однако, это работает не для всех методов. А скорректированное значение в любом случае получается точнее прогнозного значения, вычисляемого из метода прогнозирования напрямую.

### **4.3 Применение энтропийных мер временных рядов для диагностики (на примере временных рядов вертолетных агрегатов)**

В современном мире наблюдается высокая интенсивность применения вертолетов для решения различных задач. Они широко используются в

поисково-спасательных операциях, транспортных задачах, в условиях отсутствия взлетно-посадочных полос и т.д. При этом успешность использования вертолетной техники напрямую зависит от обеспечения высокого уровня безопасности полетов.

На уровень безопасности влияют следующие факторы: эксплуатационный режим, надежность вертолета в целом и его подсистем, отвечающих за его функционирование, человеческий фактор и т.д. Некоторые из факторов можно спрогнозировать и либо избежать их, либо свести к минимуму их воздействие.

В данном пункте будет рассматриваться задача оценки технического состояния вертолета с целью снижения вероятности возникновения нештатных ситуаций.

Как отмечалось в первой главе, объекта находится в исправном состоянии, если он отвечает всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

В вертолете насчитывается множество различных механических узлов и агрегатов, имеющих ограниченный ресурс и подверженных отказу. Так как контролировать все из них невозможно, требуется выделить главные:

- главный редуктор;
- силовая установка двигателя.

Рассмотрим функционирование указанных элементов.

Главный редуктор необходим для передачи крутящего момента от двигателей к несущему винту вертолета и для привода агрегатов, стоящих на редукторе. Для снижения частоты вращения применяются три ступени редукции, расположенные в главном редукторе. Сам редуктор состоит из следующих компонентов:

- привод вала несущего винта,
- вал несущего винта,
- привод рулевого винта и

- приводы агрегатов,
- картер,
- две муфты свободного хода,
- три магнитные пробки,
- масломерные стекла.

Система смазки главного редуктора отвечает за подачу масла под давлением к подшипникам и зубчатым колесам, смазку механизмов, охлаждение и вынос продуктов изнашивания из редуктора.

К особенностям конструкции двигателей относят наличие свободной турбины, которая кинематически не связана с ротором турбокомпрессора двигателя. Двигатель состоит из следующих компонент:

- приводы вспомогательных устройств,
- топливная система,
- осевой компрессор,
- камера сгорания,
- выхлопное устройство,
- система отбора воздуха,
- система запуска.

Для выше описанных элементов выделяется список отказов и значения физических величин, которые их сопровождают. Для главного редуктора, основным показателем наличия неисправностей будет отклонение величин температуры и давления масла от нормальных значений.

Для силовой установки можно выделить следующие показатели:

- температура выхлопных газов,
- температура масла на входе,
- давление масла.

Значения выше перечисленных показателей можно измерить, используя датчики, расположенные в вертолете. Во время эксплуатации узлы вертолета подвергаются износу, который приводит к возникновению неисправностей.

Износ возникает, в том числе, при частой смене состояний узлов, которые можно зафиксировать через изменение его показателей. Признаком необходимости проведения ремонтных и профилактических работ будет наличие часто встречаемых смен состояний показателей узлов. Также слишком резкое увеличение или уменьшение показателя может говорить о возникновении большой перегрузки, либо о возникшей неисправности. В любом случае, наличие таких признаков – повод к проведению детальной диагностики узлов агрегата. В таблице 4.4 представлен список физических величин с нормативными показателями, фиксирующими допустимые пределы.

Таблица 4.4 – Ключевые физические величины

| <b>Физический параметр</b>                            | <b>Главный редуктор</b> | <b>Силовая установка</b> |
|---|-------------------------|--------------------------|
| Температура вых. газов двигателя, °С                  |                         | 0-1000                   |
| Температура масла в двигателе, °С                     |                         | -50-200                  |
| Давление масла в двигателе, кг/см <sup>2</sup>        |                         | 0-8                      |
| Температура масла главного редуктора, °С              | -50-150                 |                          |
| Давление масла главного редуктора, кг/см <sup>2</sup> | 0-8                     |                          |

Диагностика вертолета заключается в проверке его агрегатов с целью определения их исправности, допустимости эксплуатации, либо необходимости проведения ремонтных работ. Так как проведение диагностики – процедура дорогостоящая, то применение экспертной системы позволит определить, необходима ли диагностика узлов или на момент проверки узлы исправны и необходимости в проведении диагностики нет.

Результатом проведения анализа будет оценка значений ключевых физических величин и их тенденций. Основная цель – оценить опасность значений и тенденций показателей. Для решения этой задачи необходимо построить модели поведения выбранных узлов и с помощью моделей делать



заклучения об исправности узлов. Модели построены в виде экспертной базы суждений о поведении того или иного компонента на основе онтологии.

Для проведения анализа были определены рабочие диапазоны для показателей диагностируемых ТС (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Рабочие диапазоны показателей диагностируемых ТС

| <b>Физический параметр</b>                             | <b>Границы диапазона</b> | <b>Опасно мало</b>      | <b>Мало</b>               | <b>Норма</b>              | <b>Велико</b>             | <b>Опасно велико</b>     |
|--|--------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Температура вых. газов двигателя, °С                   | 0-1000                   |                         |                           | a,b<0<br>c=560<br>d=600,5 | a=600<br>b=700<br>c=720,5 | a=720<br>b=800<br>c>1000 |
| Температура масла в двигателе, °С                      | -50-200                  | a<-60<br>b=-50<br>c=-40 | a=-39,9<br>b=-30<br>c=-5  | a=-4,9<br>b=80<br>c=110,1 | a=110<br>b=115<br>c=120,1 | a=120<br>b=150<br>c>200  |
| Давление масла в двигателе, кгс/см <sup>2</sup>        | 0-8                      | a<0<br>b=1<br>c=2       | a=1,99<br>b=2,2<br>c=2,5  | a=2,45<br>b=3<br>c=4,05   | a=4<br>b=4,2<br>c=4,55    | a=4,5<br>b=5<br>c>8      |
| Температура масла главного редуктора, °С               | -50-150                  | a<-60<br>b=-50<br>c=-40 | a=-39,9<br>b=-30<br>c=-15 | a=-14,9<br>b=60<br>c=70,1 | a=70<br>b=80<br>c=90,1    | a=90<br>b=100<br>c>150   |
| Давление масла главного редуктора, кгс/см <sup>2</sup> | 0-8                      | a<0<br>b=1<br>c=2       | a=1,99<br>b=2,2<br>c=3,5  | a=3,45<br>b=4<br>c=4,55   | a=4,55<br>b=5<br>c=7,55   | a=7,5<br>b=7,8<br>c>8    |

Для эксперимента был рассмотрен ВР показателя температуры выходных газов для вертолетного двигателя (рисунок 4.2).

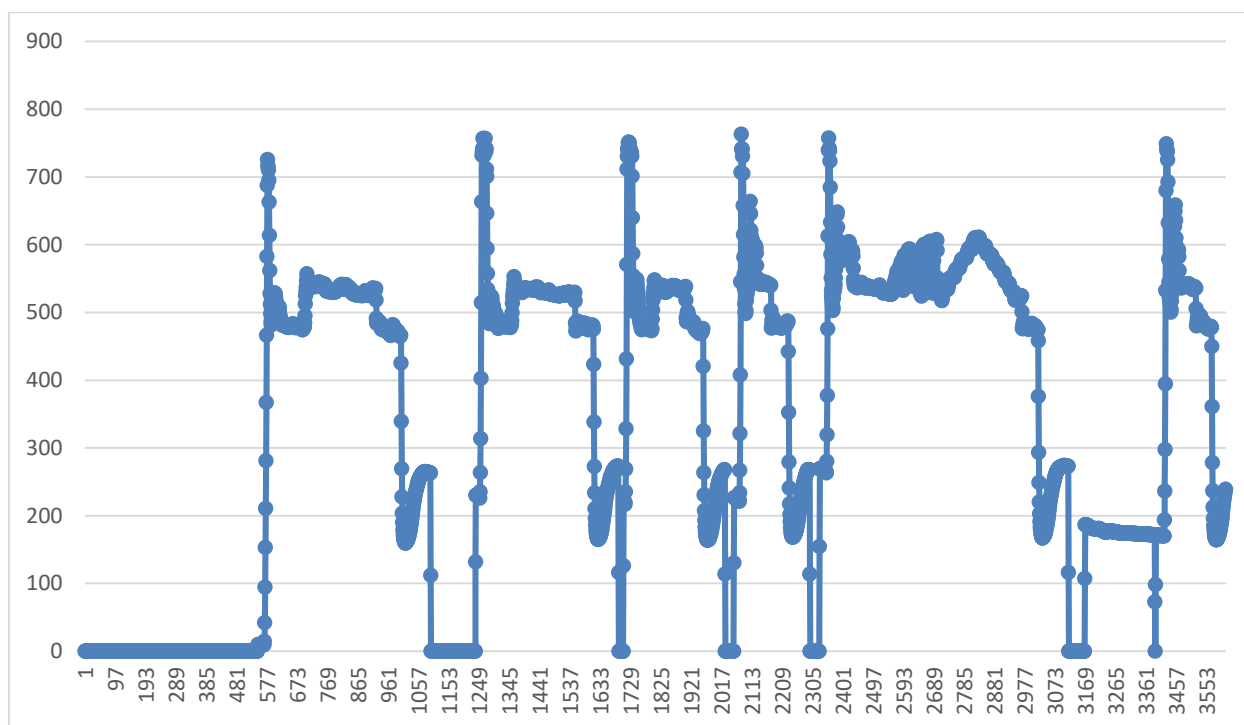


Рисунок 4.2 – ВР температуры выходных газов вертолетного двигателя

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).

Первый паттерн описывает ситуацию с несколькими подряд резкими сменами состояний (не менее 3-х) с возможным промежуточным состоянием, когда показатель находится в одном состоянии, но не более одной точки, после которой снова следует резкая смена состояния. Описание паттерна представлено в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Паттерн частых смен состояний

| Поз. | Элементарный паттерн поведения  | Количество точек |
|------|---|------------------|
| 1.   | стабильное состояние или неопределенное состояние или устойчивое состояние или стабилизация состояния или состояние нарастания неопределенности | 1                |

| <b>Поз.</b> | <b>Элементарный паттерн поведения</b>   | <b>Количество точек</b>        |
|-------------|---|--------------------------------|
| 2.          | смена состояния или резкая смена состояния  | Не менее 1 точки               |
| 3.          | стабильное состояние или неопределенное состояние или устойчивое состояние или стабилизация состояния или состояние нарастания неопределенности | Не более 1, но может и не быть |
| 4.          | смена состояния или резкая смена состояния  | Не менее 1 точки               |
| 5.          | стабильное состояние или неопределенное состояние или устойчивое состояние или стабилизация состояния или состояние нарастания неопределенности | Не более 1, но может и не быть |
| 6.          | смена состояния или резкая смена состояния  | Не менее 1 точки               |
| 7.          | стабильное состояние или неопределенное состояние или устойчивое состояние или стабилизация состояния или состояние нарастания неопределенности | Более 2-х точек                |

Второй паттерн описывает ситуацию наличия перехода состояния минимум через один диапазон показателя. В данном случае такому переходу могут предшествовать, либо возникать после, ситуации смены состояний. Описание паттерна представлено в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Паттерн скачка смены состояний

| <b>Поз</b> | <b>Элементарный паттерн поведения</b>   | <b>Количество точек</b> |
|------------|---|-------------------------|
| 1.         | стабильное состояние или неопределенное состояние, или устойчивое состояние или стабилизация состояния, или состояние нарастания неопределенности | 1                       |

| Поз | Элементарный паттерн поведения  | Количество точек               |
|-----|---|--------------------------------|
| 2.  | смена состояния или резкая смена состояния  | Не более 3, но может и не быть |
| 3.  | состояние скачка  | Не менее 1 точки               |
| 4.  | смена состояния или резкая смена состояния  | Не более 3, но может и не быть |
| 5.  | стабильное состояние или неопределенное состояние или устойчивое состояние или стабилизация состояния или состояние нарастания неопределенности | Более 2-х точек                |

Разработана Fuzzy OWL-онтология, которая имеет иерархическую структуру и включает в себя 55 классов, 8 объектных свойств, 40 типов данных. Для построения онтологии использовалась программа Protégé [168] – локальная, свободно распространяемая Java-программа.

Protégé основан на фреймовой модели представления знания и снабжен рядом плагинов [169], что позволяет его адаптировать для редактирования моделей, хранимых в разных форматах. Для построения нечеткой онтологии указанный редактор был расширен свободно распространяемым плагином FuzzyOWL Plugin, который предоставляет возможность создания и представления нечетких элементов онтологии в нотации Fuzzy OWL.

На рисунке 4.3 представлено графическое изображение разработанной онтологии.

Сформированы SWRL-правила (листинг 4.1)

```

PATTERN_CHANGE_STATE_COUNT(?ind) ^ hasValue(?ind, ?val) ^
^ swrlb:lessThanOrEqualTo(?val, 5) -> Norm(?ind)
PATTERN_CHANGE_STATE_COUNT(?ind) ^ hasValue(?ind, ?val) ^
^ swrlb:greaterThan(?val, 5) ^ swrlb:lessThanOrEqualTo(?val, 10) ->
AddToPPT(?ind)

```

*PATTERN\_CHANGE\_STATE\_COUNT(?ind) ^hasValue(?ind, ?val) ^  
^ swrlb:greaterThan(?val, 10) -> NeedDiag(?ind)*

Листинг 4.1 – Пример SWRL-правила

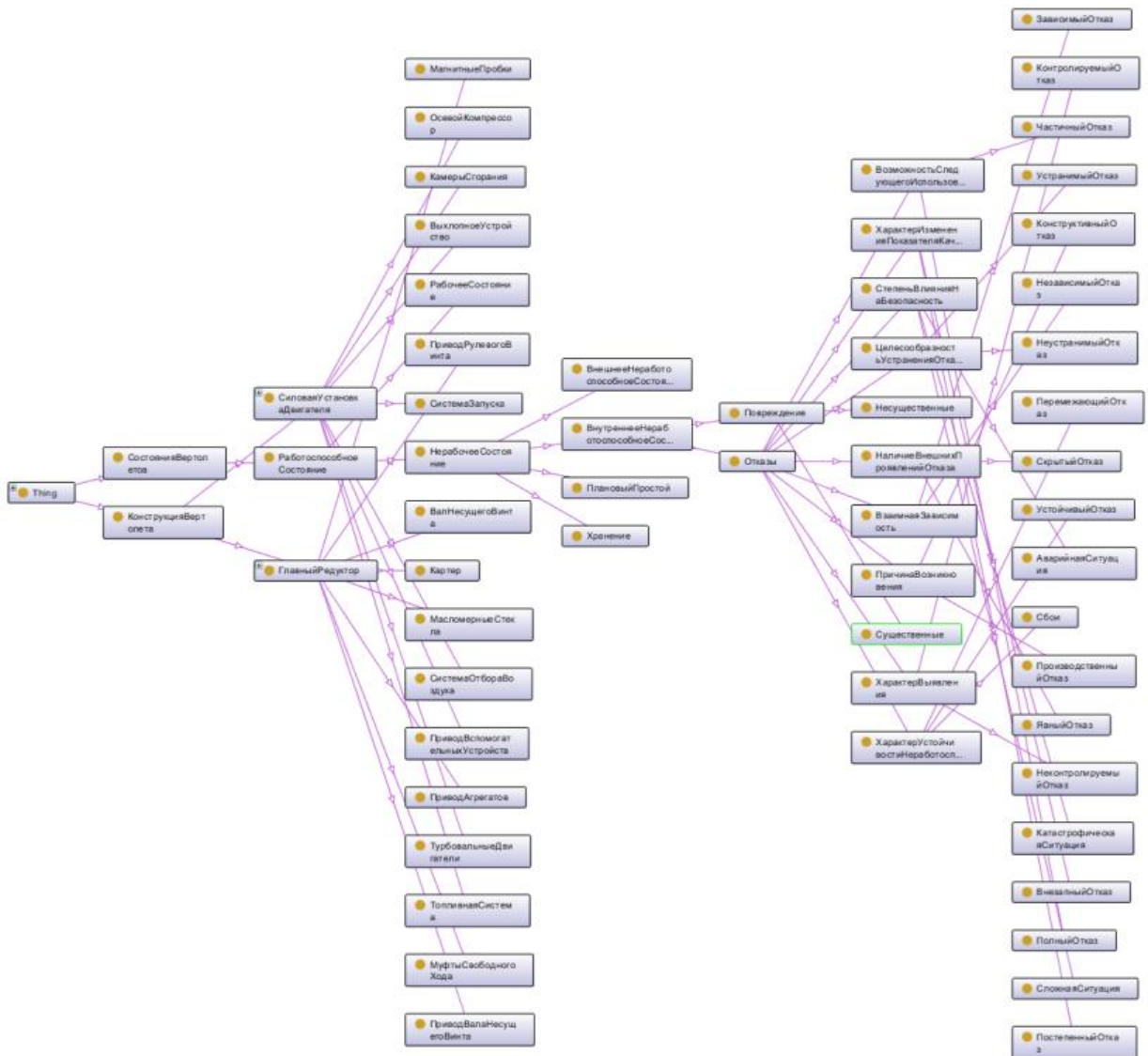


Рисунок 4.3 – Графическое представление онтологии

Проведенный анализ показателя температуры выходных газов вертолетного двигателя на предмет наличия выше описанных паттернов выявил следующие вхождения (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Выявленные паттерны во ВР показателя температуры выходных газов вертолетного двигателя

| <b>Поз.</b> | <b>Паттерн</b>           | <b>Начальная точка паттерна в ряду</b> |
|-------------|--------------------------|--|
| 1.          | Несколько смен состояния | 574                                    |
| 2.          | Несколько смен состояния | 576                                    |
| 3.          | Несколько смен состояния | 1253                                   |
| 4.          | Несколько смен состояния | 1261                                   |
| 5.          | Прыжок с переходами      | 1706                                   |
| 6.          | Несколько смен состояния | 1712                                   |
| 7.          | Прыжок с переходами      | 2057                                   |
| 8.          | Несколько смен состояния | 2084                                   |
| 9.          | Несколько смен состояния | 2095                                   |
| 10.         | Несколько смен состояния | 2331                                   |
| 11.         | Несколько смен состояния | 2339                                   |
| 12.         | Несколько смен состояния | 3402                                   |
| 13.         | Несколько смен состояния | 3409                                   |

Как видно из полученных результатов, в данном показателе часто встречается паттерн частых смен состояния, а также дважды встречается паттерн «прыжка».

Рассмотрим пару выявленных ситуаций, например, в точках 574 и 576 (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Отрезок графика показателя температуры выходных газов вертолетного двигателя

Первую ситуацию можно предсказать визуально, по быстрому росту температуры в точках [1, 11]. Показатель последовательно сменил несколько своих диапазонов от «Норма 1» до «Опасно высоко 1». Вторая ситуация оказалась вложенной в первую и описывает поведение, когда параметр сперва находится в одном диапазоне, затем резко переходит в соседний и возвращается в исходный. Таким образом, получается колебательный процесс с резкими сменами состояний. В таблице 4.9 представлен расчет энтропии, ее динамики и определение элементарных паттернов состояния для анализируемого отрезка.

Таблица 4.9 – Расчет энтропии точки, динамики энтропии и определение элементарных паттернов состояния для анализируемого отрезка

| Поз. | Значение | Диапазон | Энтропия | Динамика | Элементарный паттерн     |
|------|----------|----------|----------|----------|--------------------------|
| 1.   | 14,59    | Норма 1  | -0,84564 | 0,045446 | неопределенное состояние |
| 2.   | 42,12    | Норма 1  | -0,57307 | 0,272574 | стабилизация состояния   |

| <b>Поз.</b> | <b>Значение</b> | <b>Диапазон</b>    | <b>Энтропия</b> | <b>Динамика</b> | <b>Элементарный паттерн</b>                 |
|-------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|---|
| 3.          | 94,45           | Норма 1            | -0,05495        | 0,518119        | стабилизация<br>состояния                   |
| 4.          | 153,3           | Норма 1            | 0,530348        | 0,585299        | состояние<br>нарастания<br>неопределенности |
| 5.          | 210,73          | Норма 2            | -0,8927         | 0,576952        | смена состояния                             |
| 6.          | 280,94          | Норма 2            | -0,1906         | 0,7021          | стабилизация<br>состояния                   |
| 7.          | 367,25          | Норма 2            | 0,669154        | 0,859754        | состояние<br>нарастания<br>неопределенности |
| 8.          | 466,29          | Норма 3            | -0,3371         | 0,993746        | смена состояния                             |
| 9.          | 582,78          | Норма 3            | 0,823682        | 1,160782        | состояние<br>нарастания<br>неопределенности |
| 10.         | 687,68          | Высоко 2           | -0,07733        | 3,098985        | резкая смена<br>состояния                   |
| 11.         | 726             | Опасно<br>высоко 1 | -0,91429        | 1,163048        | резкая смена<br>состояния                   |
| 12.         | 716,81          | Высоко 2           | 0,879016        | -0,2067         | плавная смена<br>состояния                  |
| 13.         | 713,45          | Высоко 2           | 0,768852        | -0,11016        | стабилизация<br>состояния                   |
| 14.         | 710,26          | Высоко 2           | 0,664262        | -0,10459        | стабилизация<br>состояния                   |



Хотя, рост показателя начался в точке 1 и постоянно увеличивался, первая ситуация начинается только в точке 7, так как до нее показатель несколько точек подряд находился в диапазоне «Норма 2», что не удовлетворяет условию паттерна. Вторая ситуация начинается в точке 9. Само по себе присутствие обеих ситуаций для показателя не является решающим фактором для проведения детальной диагностики двигателя, однако, наличие 11 подобных ситуаций, усугубленных наличием ситуаций «скачков», дает повод к рекомендации проведения диагностических работ для анализируемого двигателя. Данный вывод идентичен выводу, полученному через экспертную систему. На основе заданного правила, что, если частота встреч паттернов смен состояния более 8, то рекомендуется проведение диагностических работ.

Был рассмотрен ВР показателя давления масла вертолетного двигателя (рисунок 4.5).

Паттерны поведения для давления масла будут идентичны паттернам поведения для температуры выходных газов.

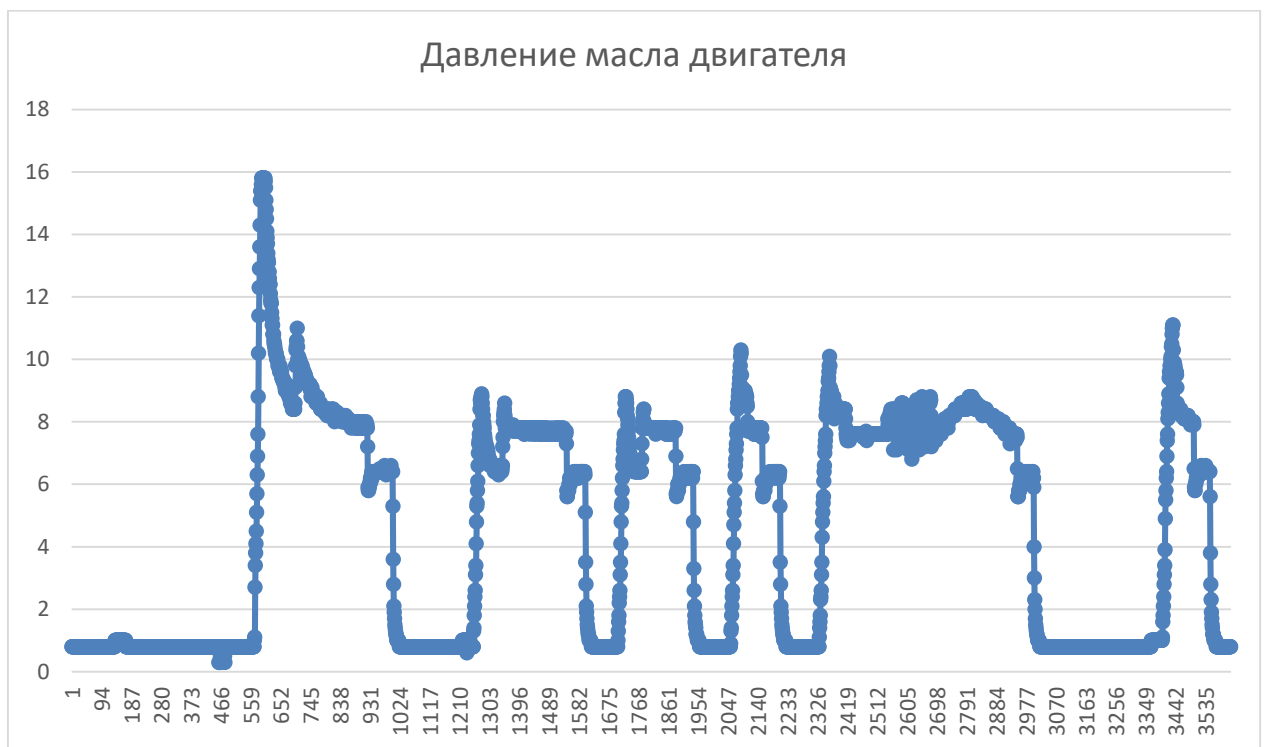


Рисунок 4.5 – ВР давления масла вертолетного двигателя

Проведенный анализ выявил присутствие во ВР ситуаций, описанных в первом паттерне. Найдено 2 таких случая (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Выявленные паттерны во ВР показателя давления масла вертолетного двигателя

| Поз. | Паттерн                  | Начальная точка паттерна в ряду |
|------|--------------------------|---------------------------------|
| 1.   | Несколько смен состояния | 457                             |
| 2.   | Несколько смен состояния | 475                             |

Рассмотрим выявленные ситуации (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Отрезок графика показателя давления масла вертолетного двигателя

Даже визуально видно, что имеет место быть колебательный процесс. И первая ситуация имеет более сложную картину.

Сперва рассмотрим эту ситуацию на ВР. Визуально по графику ВР выявить эту ситуацию практически невозможно, так как она теряется на фоне большого числа точек наблюдения (рисунок 4.7). Однако, если рассмотреть график ВР динамики энтропии по ВР показателя давления масла вертолетного двигателя, то этот участок будет сильно выделяться по сравнению с остальным рядом (рисунок 4.8).

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что, во-первых, выявлять точки смены состояния возможно через экстремумы графиков энтропии и динамики энтропии, а во-вторых, алгоритм позволяет корректно находить цепочки ЭПП во ВР по шаблонам цепочек, обозначающих аномальное поведение ВР.

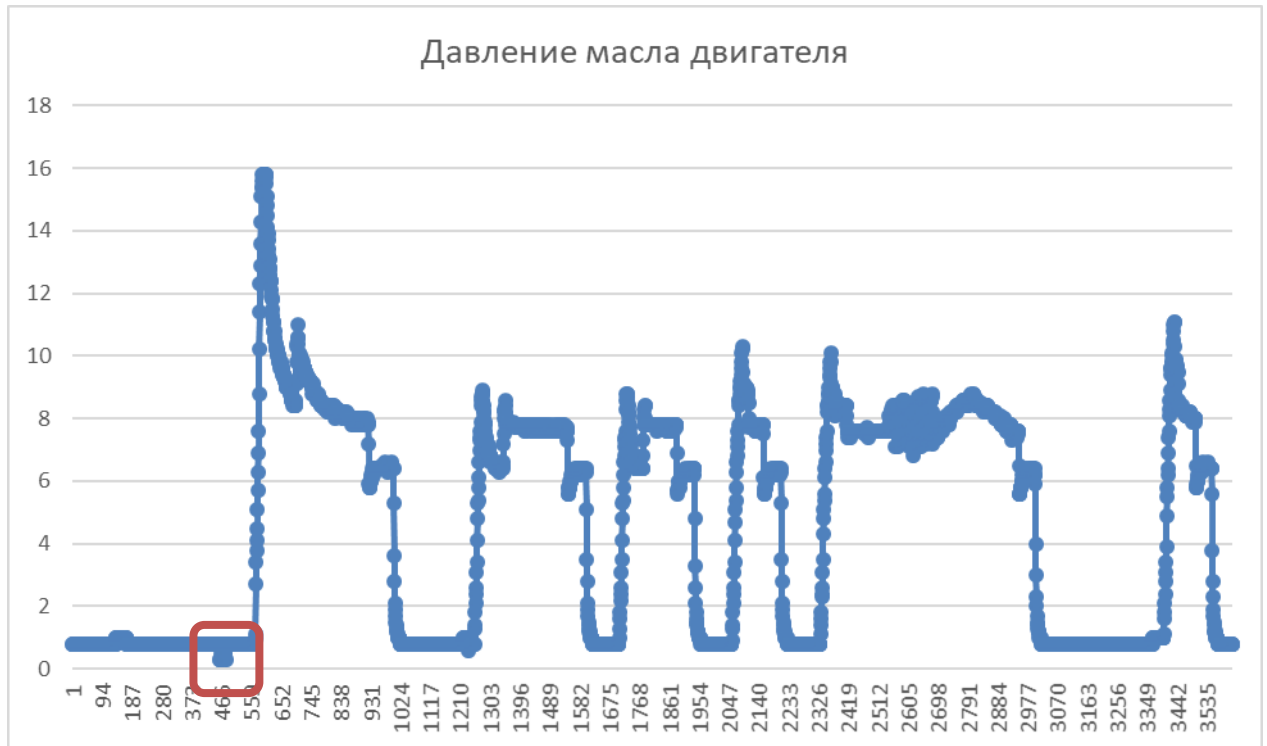


Рисунок 4.7 – ВР давления масла вертолетного двигателя с отметкой местоположения найденных ситуаций

Для большого эксперимента были получены данные о прогоне трех машин. Для всех показателей были составлены паттерны поведения и заданы swrl-правила. Так как для разных показателей условия наличия нестандартных ситуаций во ВР были идентичны, то и полученные паттерны идентичны, описанным в таблицах 4.6 и 4.7. Описание результатов приведено в таблице 4.11. Колонка «Необходимость диагностики» заполнена на основании вывода экспертной системы.

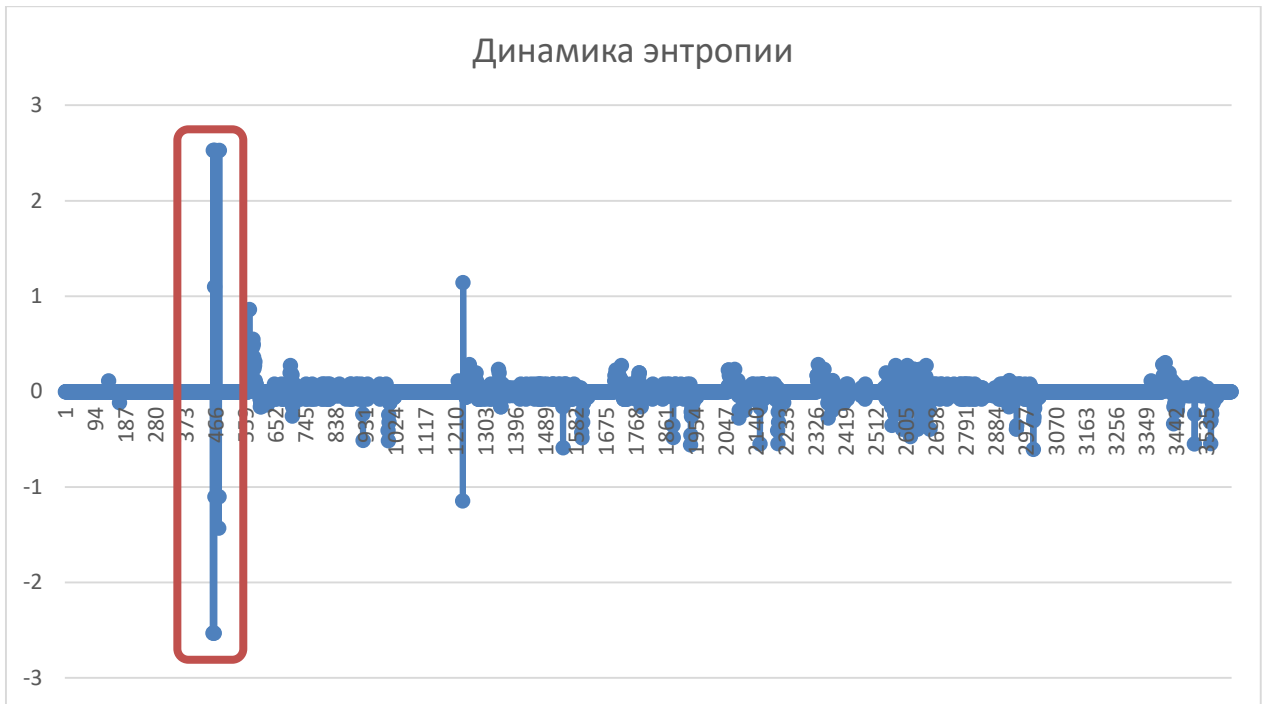


Рисунок 4.8 – ВР динамики энтропии по ВР показателя давления масла вертолетного двигателя

Таблица 4.11 – Результаты анализа ВР показателей вертолетных агрегатов

| Номер ряда                   | Показатель        | Наличие паттернов                                 | Необходимость диагностики |
|------------------------------|-------------------|---|---------------------------|
| <b>Бортовой номер 210111</b> |                   |   |                           |
| <b>Главный редуктор</b>      |                   |   |                           |
| 1.                           | Давление масла    | 1 ситуация паттерна<br>«Несколько смен состояния» | Не требуется              |
| 2.                           | Температура масла | 1 ситуация паттерна<br>«Несколько смен состояния» | Не требуется              |
| <b>Левый двигатель</b>       |                   |   |                           |
| 3.                           | Давление масла    | 2 ситуации паттерна<br>«Несколько смен состояния» | Не требуется              |

| <b>Номер ряда</b>            | <b>Показатель</b>          | <b>Наличие паттернов</b>  | <b>Необходимость диагностики</b>                     |
|------------------------------|----------------------------|---|--|
| 4.                           | Температура масла          | 14 ситуаций паттерна «Несколько смен состояния»   | Рекомендуется провести диагностику                   |
| 5.                           | Температура выходных газов | 11 ситуаций паттерна «Несколько смен состояния» и 2 ситуации паттерна «Прыжок с переходами» | Рекомендуется провести диагностику                   |
| <b>Правый двигатель</b>      |                            |   |  |
| 6.                           | Давление масла             | 2 ситуации паттерна «Несколько смен состояния»  | Не требуется   |
| 7.                           | Температура масла          | 6 ситуаций паттерна «Несколько смен состояния»  | Рекомендуется включить в план профилактических работ |
| 8.                           | Температура выходных газов | 5 ситуаций паттерна «Несколько смен состояния» и 5 ситуации паттерна «Прыжок с переходами»  | Рекомендуется провести диагностику                   |
| <b>Бортовой номер 240111</b> |                            |   |  |
| <b>Главный редуктор</b>      |                            |   |  |
| 9.                           | Давление масла             | 1 ситуация паттерна «Прыжок с переходами»   | Необходимо наблюдение                                |
| 10.                          | Температура масла          | Не найдено  | Не требуется   |
| <b>Левый двигатель</b>       |                            |   |  |

| <b>Номер ряда</b>            | <b>Показатель</b>          | <b>Наличие паттернов</b>   | <b>Необходимость диагностики</b>                     |
|------------------------------|----------------------------|--|--|
| 11.                          | Давление масла             | 1 ситуация паттерна «Несколько смен состояния»   | Не требуется   |
| 12.                          | Температура масла          | 9 ситуаций паттерна «Несколько смен состояния»   | Рекомендуется включить в план профилактических работ |
| 13.                          | Температура выходных газов | 5 ситуаций паттерна «Несколько смен состояния» и 1 ситуация паттерна «Прыжок с переходами» | Рекомендуется включить в план профилактических работ |
| <b>Правый двигатель</b>      |                            |  |  |
| 14.                          | Давление масла             | Не найдено   | Не требуется   |
| 15.                          | Температура масла          | 15 ситуаций паттерна «Несколько смен состояния»  | Рекомендуется провести диагностику                   |
| 16.                          | Температура выходных газов | 5 ситуаций паттерна «Несколько смен состояния» и 3 ситуации паттерна «Прыжок с переходами» | Рекомендуется провести диагностику                   |
| <b>Бортовой номер 250111</b> |                            |  |  |
| <b>Главный редуктор</b>      |                            |  |  |
| 17.                          | Давление масла             | Не найдено   | Не требуется   |

| Номер<br>ряда           | Показатель                       | Наличие паттернов   | Необходимость<br>диагностики                                  |
|-------------------------|----------------------------------|---|---|
| 18.                     | Температура<br>масла             | 7 ситуаций паттерна<br>«Несколько смен состояния»   | Рекомендуется<br>включить в план<br>профилактических<br>работ |
| <b>Левый двигатель</b>  |                                  |   |   |
| 19.                     | Давление<br>масла                | Не найдено  | Не требуется  |
| 20.                     | Температура<br>масла             | 6 ситуаций паттерна<br>«Несколько смен состояния»   | Рекомендуется<br>включить в план<br>профилактических<br>работ |
| 21.                     | Температура<br>выходных<br>газов | Не найдено  | Не требуется  |
| <b>Правый двигатель</b> |                                  |   |   |
| 22.                     | Давление<br>масла                | Не найдено  | Не требуется  |
| 23.                     | Температура<br>масла             | 1 ситуация паттерна<br>«Несколько смен состояния»   | Не требуется  |
| 24.                     | Температура<br>выходных<br>газов | 3 ситуаций паттерна<br>«Несколько смен состояния» и<br>7 ситуации паттерна «Прыжок<br>с переходами» | Рекомендуется<br>провести<br>диагностику                      |

Оценка эксперта по анализируемым ВР совпадает с рекомендациями системы за исключением ВР под номером 20. Выявленные в рамках анализа ситуации имеют сгруппированный характер, и эксперт рекомендовал провести детальную диагностику этого узла.

Также был проведен сравнительный анализ методов и алгоритмов поиска аномалий по сравнению с существующими.

Для сравнения были выбраны следующие методы:

- Алгоритм «TS-ADEEP» [170]. Данный метод обнаружения аномалий в наборах ВР является модификацией метода, основанного на точном описании исключения из класса нормальных объектов.
- Поиск аномалий через ГрВР. Данный метод строит на основе ВР ГрВР и ищет в нем гранулы больше определенной длины и с определенным набором параметров. Если такие гранулы встречаются в ряду, то они считаются аномальными.

Результаты работы методов представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Сравнение методов определения дефектных ТС через поиск аномалий во ВР их показателей

| Метод     | ГР1 | ЛД1 | ПД1 | ГР2 | ЛД2 | ПД2 | ГР3 | ЛД3 | ПД3 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| TS-ADEEP  | -   | +   | +   | -   | -   | -   | -   | +   | +   |
| ГрВР      | -   | -   | -   | -   | -   | -   | +   | -   | -   |
| ЭнВР+СППР | -   | +   | +   | -   | +   | +   | +   | +   | +   |

Обозначения:

ГР – главный редуктор,

ЛД – левый двигатель,

ПД – правый двигатель

По проведенному сравнению можно сделать выводы, что предложенный метод позволяет выявлять аномалии не хуже других методов поиска аномалий.



По результатам эксперимента можно сделать вывод, что данный подход может использоваться в рекомендательных системах оценки состояния ТС.

#### **4.4 Анализ результативности внедрения разработанной программной системы балансировки мощностей в процесс расчета баланса предприятия ПАО «Ил» – Авиастар.**

##### **4.4.1 Анализ сокращения временных затрат на выполнение операции балансировки мощностей предприятия**

Первым экспериментом выполняется проверка сокращения времени выполнения операции расчета мощностей предприятия и их балансировки. Для этого эксперт выполнил с замером времени операцию расчета мощностей предприятия имеющимися на данный момент инструментами на предприятии (MS Excel) и с помощью разработанной подсистемы балансировки. Полученные данные сведены в таблицу 4.13.

Таблица 4.13 – Результаты замеров времени выполнения операции балансировки мощностей предприятия

| <b>Задача</b>                  | <b>Excel</b>    | <b>ПБМП</b>     |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| 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      |
| <b>Итого (по предприятию)</b>  | <b>2-4 дня</b>  | <b>1-2 часа</b> |

Рассмотрим каждый пункт:

- Ввод производственных программ. Существующими инструментами ввод производственной программы по каждому изделию занимает несколько часов. В новой подсистеме это занимает несколько минут за счет получения производственной программы из существующих ИС предприятия. Исключением будет ситуация, когда требуется смоделировать производственный процесс с включением новых изделий. Так как производственная программа для них не внесена в САПР предприятия, то извлекать данные не откуда и потребуются ручной ввод, который будет занимать столько же времени, сколько и для текущего подхода.
- Ввод мощностей цеха. Существующими инструментами ввод мощностей по каждому цеху предприятия занимает от одного до нескольких часов. В новой подсистеме это занимает несколько минут за счет получения данных из существующих ИС предприятия.
- Ввод коэффициентов. Так как большинство коэффициентов используются исключительно для расчета балансировки мощностей, то тут разница по времени существующими инструментами и подсистемой будет не такой большой, так, как и там и там будет преимущественно ручной ввод. Исключение будет только в коэффициентах, значения которых в подсистеме вычисляются через прогнозирование ВР.
- Балансировка мощностей. Существующие инструменты не имеют возможности автоматизированного выполнения операции балансировки мощностей, данную операцию приходится делать в ручном режиме, и она занимает больше время, так как данную задачу следует выполнять в разрезе всего предприятия. В новой подсистеме операция выполняется в автоматизированном режиме, что кратно сокращает время выполнения.

- **Формирование рекомендаций.** Существующие инструменты не имеют возможности выдавать рекомендации по устранению нехваток мощностей предприятия, эксперту необходимо самостоятельно, на основе полученных цифр формировать рекомендации. В новой подсистеме за счет рекомендательного модуля с онтологией операция выполняется автоматически.

В целом по предприятию процесс расчета мощностей предприятия и формирования рекомендаций по устранению нехваток мощностей занимает несколько дней. Внедрение новой подсистемы позволит сократить данный процесс до нескольких часов.

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

#### **4.4.2 Прогнозирование состояния производственно-технологических процессов на основе временных рядов производственных показателей**

Как говорилось в первой главе, при планировании производственного цикла или составления производственной программы важно учитывать состояние оборудования, используемого на производстве. При производстве высокотехнологических изделий, оборудование является ключевым элементом, так как потребность в новых площадях, персонале будет определяться из потребности в дополнительном оборудовании. При расчете баланса мощностей предприятия необходимо, в частности, учитывать график планово-профилактических работ оборудования, а также потребность в ремонте, либо замене неисправного оборудования.

Для составления графика ППР, либо для выявления дефектов в оборудовании можно применять экспертные системы, с использованием ЭНВР, как это было продемонстрировано во втором эксперименте. Данный

подход, при внедрении в производство, позволит автоматизировано составлять график ППР и учитывать его при расчете баланса мощностей.

В случае, если невозможно применять диагностическое оборудование для составления графика ППР, либо имеющееся диагностическое оборудование невозможно интегрировать в общую систему анализа загруженности оборудования, то можно косвенно оценить состояние оборудования по использованию его в предыдущие периоды. В таком случае, при диагностике узлов ТС, одним из важных параметров будет являться загруженность станка в течении года (коэффициент использования). Главным фактором загруженности будет рабочая программа, на основе которой определяется, что и какими средствами будет производиться. На предприятии ведется учет времени нахождения каждого станка в различных состояниях:

- станок выключен;
- станок остановлен;
- станок работает без нагрузки;
- станок на ремонте;
- простой.

Зная сколько времени станок находится в каждом из состояний, можно определить его эффективность при включении в технологический процесс, загруженность и потребность в профилактике или ремонте. Также можно предположить аналогичное поведение для станков того же типа.

В первую очередь при анализе будут интересовать показатель времени нахождения станка на ремонте. Показатель аварийного ремонта можно использовать, если по каким-то причинам невозможно провести диагностику самого станка и определить его потребность в ремонте. На основе показателя аварийности можно пытаться предсказать надежность оборудования, возможные аварийные ситуации и принимать решение о использовании оборудования, либо о его списании.

Рассмотрим на примере ряда станков. В таблице 4.14 представлена эффективность использования станка 1 в течение 3 кварталов одного года. Данный станок находился в рабочем состоянии практически все время и прогноз необходимости аварийного ремонта находится ниже 1% (рисунок 4.9).

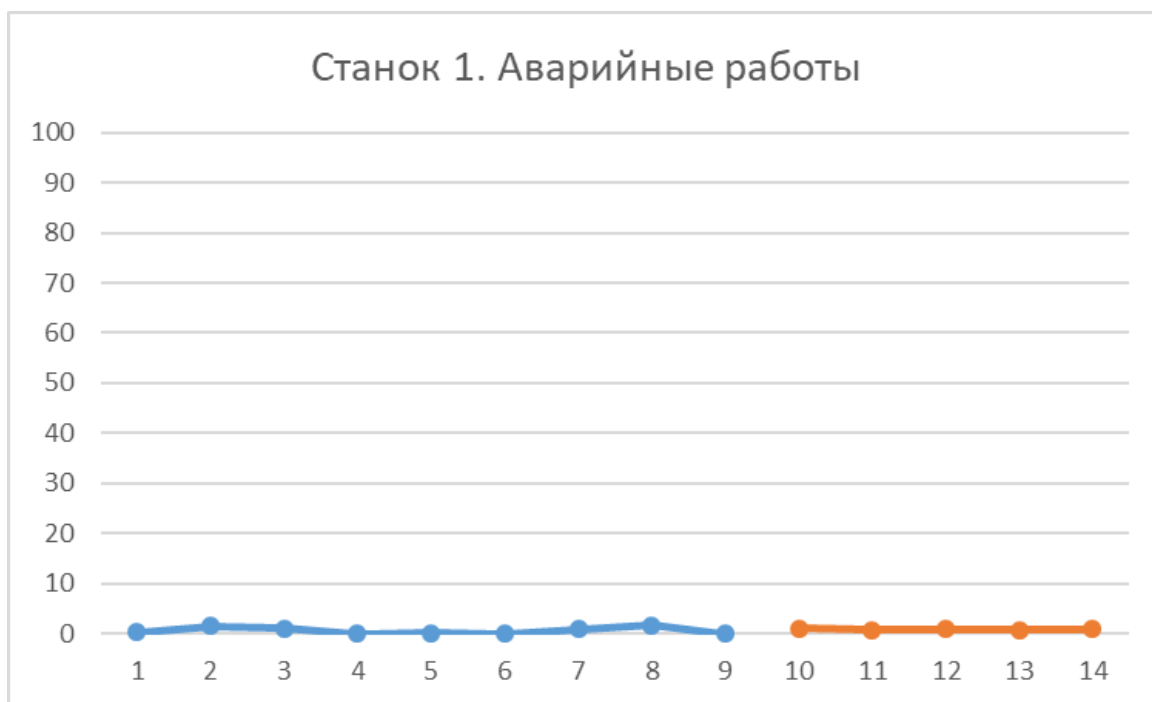


Рисунок 4.9 – Прогноз процента аварийных работ для станка 1

Таблица 4.14 – Эффективность использования нового, модернизированного и старого оборудования с ЧПУ, подключенного к системе мониторинга для Станка 1

| Месяц    | Период с 01.04.2018 по 30.04.2018 |                          |                       |                         |                           |                     |               |                 |
|----------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|---------------|-----------------|
|          | Работа по программе,<br>%         | Работа в ручном режиме,% | Показатели потерь     |                         |                           |                     |               |                 |
|          |                                   |                          | Станок выключен,<br>% | Станок остановлен,<br>% | Работа без нагрузки,<br>% | Аварийный ремонт, % | Простои,<br>% | Всего потерь, % |
| Апрель   | 37,1262                           | 0                        | 17,6418               | 10,7662                 | 0                         | 0,2969              | 34,1687       | 62,8738         |
| Май      | 39,8859                           | 0                        | 9,77031               | 7,2479                  | 0                         | 1,5624              | 41,5333       | 60,1140         |
| Июнь     | 41,5976                           | 0                        | 15,5857               | 9,3409                  | 0                         | 1,0497              | 32,4259       | 58,4023         |
| Июль     | 35,3912                           | 0                        | 17,9848               | 7,5832                  | 0                         | 0,0002              | 39,0403       | 64,6087         |
| Август   | 33,4599                           | 0                        | 26,0672               | 10,9485                 | 0                         | 0,1309              | 29,3931       | 66,5400         |
| Сентябрь | 45,4186                           | 0                        | 14,0590               | 12,5266                 | 0                         | 0                   | 27,9956       | 54,5813         |
| Октябрь  | 41,9892                           | 0                        | 8,07750               | 13,0858                 | 0                         | 0,9494              | 35,8979       | 58,0107         |
| Ноябрь   | 40,9332                           | 0                        | 14,1573               | 12,1050                 | 0                         | 1,6658              | 31,1385       | 59,0667         |
| Декабрь  | 36,0707                           | 0                        | 25,3443               | 12,3985                 | 3,31869                   | 0                   | 22,8676       | 63,929          |

В таблице 4.15 представлена эффективность использования станка 2 в течение 3 кварталов одного года.

Данный станок продолжительное время находился в аварийном состоянии, но прогноз необходимости аварийного ремонта близок к 1%, за счет того, что в последние месяцы аварийные работы по станку 2 были завершены (рисунок 4.10).



Рисунок 4.10 – Прогноз процента аварийных работ для станка 2

На основе полученных результатов можно сделать вывод о возможности включения обоих станков в доступные производственные мощности предприятия.

Таблица 4.15 – Эффективность использования нового, модернизированного и старого оборудования с ЧПУ, подключенного к системе мониторинга для Станка 2

| Месяц    | Период с 01.04.2018 по 30.04.2018 |                              |                       |                         |                           |                     |               |                 |
|----------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|---------------|-----------------|
|          | Работа по программе,<br>%         | Работа в ручном режиме,<br>% | Показатели потерь     |                         |                           |                     |               |                 |
|          |                                   |                              | Станок выключен,<br>% | Станок остановлен,<br>% | Работа без нагрузки,<br>% | Аварийный ремонт, % | Простои,<br>% | Всего потерь, % |
| Апрель   | 0                                 | 0                            | 0                     | 0                       | 0                         | 99,9988             | 0             | 100             |
| Май      | 0                                 | 0                            | 0                     | 0                       | 0                         | 99,9988             | 0             | 100             |
| Июнь     | 0,6091                            | 0                            | 0                     | 0,0837                  | 0                         | 98,6437             | 0,6622        | 99,3908         |
| Июль     | 29,6199                           | 0                            | 21,9992               | 2,9554                  | 0                         | 42,3702             | 3,0546        | 70,3800         |
| Август   | 29,7918                           | 0                            | 15,1317               | 4,2414                  | 0                         | 43,9383             | 6,8960        | 70,2081         |
| Сентябрь | 49,9540                           | 0                            | 24,2586               | 8,3470                  | 0                         | 3,8668              | 13,5732       | 50,0459         |
| Октябрь  | 66,5205                           | 0                            | 1,3854                | 11,7465                 | 0                         | 5,0134              | 15,3340       | 33,4794         |
| Ноябрь   | 65,4587                           | 0                            | 2,6586                | 10,4745                 | 0                         | 8,5473              | 12,8607       | 34,5412         |
| Декабрь  | 64,0656                           | 0                            | 0,0522                | 13,5445                 | 4,7885                    | 2,4099              | 15,1390       | 35,9343         |



#### **4.4.3 Анализ корректности формирования рекомендаций по балансировке мощностей предприятия**

Рассмотрим работу модуля поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей предприятия на примере набора SWRL-правил, представленных во второй главе и следующих индикаторов производственных мощностей:

1. Мощность в станко-часах в расчете на 1 месяц.
2. Мощность в человеко-часах в расчете на 1 месяц.
3. Занимаемая площадь.
4. Количество оборудования.

Допустим, индикаторы имеют следующие значения:

1. Мощность в станко-часах в расчете на 1 месяц: 2700.
2. Мощность в человеко-часах в расчете на 1 месяц: 3610.4.
3. Занимаемая площадь: 144.
4. Количество оборудования: 18.

Тогда, результат лингвистического представления результатов индикаторов производственных мощностей предприятия будет следующим:

1. Мощность в станко-часах в расчете на 1 месяц: Значение показателя является средним.
2. Мощность в человеко-часах в расчете на 1 месяц: Значение показателя является средним.
3. Занимаемая площадь: Значение показателя является высоким.
4. Количество оборудования: Значение показателя является низким.

В итоге, в качестве рекомендаций по балансировке производственных мощностей будут выведены следующие сведения:

*Мощности в человеко-часах и мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц недостаточно для выполнения производственной программы. Необходимо выполнить следующие действия:*

*перераспределить на период \_\_\_\_\_ станок \_\_\_\_\_ типа \_\_\_\_\_ на программу изготовления изделия \_\_\_\_\_.*

*организовать на период \_\_\_\_\_ работу участка \_\_\_\_\_ цеха \_\_\_\_\_ в две полных смены.*

Пример работы модуля поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей представлен на рисунке 4.11.

#### Результаты моделирования

Вывести значения показателей
Сформировать рекомендации

|   |
|---|
| 1. Мощность в станко-часах в расчете на 1 месяц: 2700<br>Значение показателя является средним                 |
| 2. Мощность в человеко-часах в расчете на 1 месяц: 3610.4166666666665<br>Значение показателя является средним |
| 3. Занимаемая площадь: 144<br>Значение показателя является высоким  |
| 4. Количество оборудования: 18<br>Значение показателя является низким   |

Мощности в человеко-часах и мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц недостаточно для выполнения производственной программы. Необходимо выполнить следующие действия:

Рисунок 4.11 – Пример работы модуля поддержки принятия решений

При увеличении значения индикатора «Мощность в человеко-часах в расчете на 1 месяц» до 36104.1 (рисунок 4.12) текстовое представление лингвистической метки для данного индикатора будет иметь вид «Значение показателя является высоким», а рекомендации будут содержать следующие сведения:

*Мощности в человеко-часах в расчете на 1 месяц достаточно для выполнения производственной программы.*

*Мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц недостаточно для выполнения производственной программы. Необходимо купить оборудование.*

## Результаты моделирования

Вывести значения показателей

Сформировать рекомендации

1. Мощность в станко-часах в расчете на 1 месяц: 2700  
Значение показателя является средним

2. Мощность в человеко-часах в расчете на 1 месяц: 36104.166666666664  
Значение показателя является высоким

3. Занимаемая площадь: 144  
Значение показателя является высоким

4. Количество оборудования: 18  
Значение показателя является низким

Мощности в человеко-часах в расчете на 1 месяц достаточно для выполнения производственной программы.

Мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц недостаточно для выполнения производственной программы. Необходимо купить оборудование.

Рисунок 4.12 – Пример работы модуля поддержки принятия решений при увеличенном значении индикатора «Мощность в человеко-часах в расчете на 1 месяц»

При увеличении значения индикатора «Мощность в станко-часах в расчете на 1 месяц» до 27000 (рисунок 4.13) текстовое представление лингвистической метки для данного индикатора будет иметь вид «Значение показателя является высоким», а рекомендации будут содержать следующие сведения:

*Мощности в человеко-часах и мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц достаточно для выполнения производственной программы.*

Таким образом, можно сделать вывод, что модуль поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей работает адекватно при изменении значений индикаторов производственных мощностей предприятия.

## Результаты моделирования

Вывести значения показателей

Сформировать рекомендации

1. Мощность в станко-часах в расчете на 1 месяц: 27000  
Значение показателя является высоким

2. Мощность в человеко-часах в расчете на 1 месяц: 36104.166666666664  
Значение показателя является высоким

3. Занимаемая площадь: 1440  
Значение показателя является высоким

4. Количество оборудования: 180  
Значение показателя является низким

Мощности в человеко-часах и мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц достаточно для выполнения производственной программы.

Рисунок 4.13 – Пример работы модуля поддержки принятия решений при увеличенном значении индикатора «Мощность в станко-часах в расчете на 1 месяц»

### 4.4.4 Анализ зависимости рекомендательного модуля подсистемы балансировки мощностей от качества SWRL-правил

Работа модуля поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей сильно зависит от качества SWRL-правил. Качество SWRL-правил с точки зрения особенностей Про полностью зависит от компетенций эксперта. Качество SWRL-правил с точки зрения логической непротиворечивости контролируется машиной логического вывода на этапе формирования SWRL-правил.

Рассмотрим пример контроля логической целостности правил с применением механизма логического вывода. Допустим, эксперт допустил ошибку при составлении SWRL-правил, создав следующие противоречивые правила (листинг 4.2).

```
EMPLOYEE_POWER(?ind) ^ hasValue(?ind, ?val) ^
  swrlb:greaterThan(?val, 2000) ^ swrlb:lessThanOrEqual(?val, 40000) ->
```

```
-> Middle(?ind)
EMPLOYEE_POWER(?ind) ^ hasValue(?ind, ?val) ^
  ^ swrlb:greaterThan(?val, 4000) -> High(?ind)
```

#### Листинг 4.2 – Противоречивые SWRL-правила

После выполнения данных SWRL-правил индикатор *EMPLOYEE\_POWER* будет объявлен индивидуалом классов *Middle* и *High* одновременно. Так как данные классы объявлены в онтологии непересекающимися (*disjoint*), машина логического вывода выдаст следующую ошибку:

*An error occurred during reasoning:*

*Cannot do reasoning with inconsistent ontologies!*

*Reason for inconsistency: Individual #EMPLOYEE\_POWER is forced to belong to class s#Middle and its complement.*

Таким образом, машина логического вывода позволяет предотвратить возникновение ситуации наличия противоречивых SWRL-правил в составе онтологии модуля поддержки принятия решений в задаче балансировки производственных мощностей.

## 4.5 Выводы по главе

В четвертой главе представлены результаты экспериментов, проводимых на ВР данных о коэффициентах, используемых при расчете баланса мощностей механокаркасного производства, ВР показателей ключевых элементов систем вертолетных двигателей, представлены результаты прогнозирования новых значений на основе международных бейчмарков с соревнований IRAFM 2015.

Разработанные модели, алгоритмы и методика внедрены в процесс расчета баланса предприятия ПАО «Ил» – Авиастар в форме программной системы. В ходе проведения внедрения получены значительное сокращение сроков балансировки мощностей в АТПП с нескольких дней до нескольких часов.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что предложенный метод диагностики ТС показывает отличные показатели прогнозирования и выявления аномалий и может применяться в различных типах задач, где применяются ВР. Метод может быть полезен при составлении графиков планово-предупредительных работ по оборудованию предприятия. Также может применяться в анализе крупных производственных объектов в задачах балансировки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы получены следующие практические и научные результаты:

В ходе диссертационного исследования получены следующие результаты:

1. проведен сравнительный анализ методов и средств автоматизированной технологической подготовки производства, 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 автоматизированной технологической подготовки производства; 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 автоматизированной технологической подготовки производства;
4. разработана математическая модель энтропийного временного ряда, адаптированная для решения задач автоматизированной технологической подготовки производства;
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-технологических

процессов авиастроительного производства, разработан метод выявления аномалий ВР на основе наборов ЭПП;

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 автоматизированной технологической подготовке производства;
9. разработана программная система балансировки мощностей на основе онтологического подхода и прогнозирования временных рядов в автоматизированной технологической подготовке производства;
10. проведены вычислительные эксперименты, основными результатами которых являются следующие выводы:
  - а. разработанные модель и алгоритм прогнозирования позволяют получать прогнозные значения с степенью точности, достаточной для решения задач автоматизированной технологической подготовки производства;
  - б. разработанный 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 предприятия 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.



Проведенные исследования ставят новые исследовательские задачи, которые могут быть положены в развитие настоящей работы, в частности целесообразно продолжить исследование и разработку методов и средств компьютерного моделирования и автоматизированного проектирования технологических процессов.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

|        |  |
|--------|--|
| АРМ    | автоматизированное рабочее место                         |
| АСУ    | автоматизированная система управления                    |
| БД     | База данных  |
| БД ЭОИ | база данных электронного определения изделия             |
| БТК    | бюро технического контроля                               |
| КД     | конструкторская документация                             |
| КК     | комплектовочная карта                                    |
| СТК    | сборочно-технологический комплект                        |
| ТеМП   | технологическое моделирование процессов                  |
| ТП     | технологический процесс                                  |
| ЦГ     | циклового график   |
| ЭОИ    | электронное определение изделия                          |
| ЭТД    | электронная техническая документация                     |
| ВР     | временной ряд  |
| ИКТ    | инфокоммуникационные технологии                          |
| НВР    | нечеткий временной ряд                                   |
| НТ     | нечеткая тенденция                                       |
| НЭТ    | нечеткая элементарная тенденция                          |
| ЕИП    | Единое информационное пространство организации           |
| ДЗО    | дочерние и зависимые общества корпорации                 |
| ОКР    | опытно-конструкторские работы                            |
| ОПР    | основные производственные рабочие основного производства |
| СТО    | сборочно-технологическое оборудование                    |
| ИО     | информационное обеспечение                               |
| ИС     | информационная система                                   |
| ИБ     | информационная база                                      |
| ПрО    | предметная область                                       |

|      |   |
|------|---|
| УСД  | унифицированная система документации        |
| ЭД   | электронная форма документа                 |
| БД   | база данных                                 |
| СУБД | система управления базами данных            |
| ETL  | извлечение, трансформация и загрузка данных |
| ТПП  | технологическая подготовка производства     |
| ПТМ  | производственно-технологическая модель      |
| АБС  | алгебраическая байесовская сеть             |
| ЛА   | летательный аппарат                         |

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 14.004-83 Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2009
2. Автоматизированная система технологической подготовки производства. Энциклопедия техники. [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
[https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_tech/1534/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F](https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_tech/1534/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F)
3. Вашуков, Ю. А. Технология и оборудование сборочных процессов [Электронный ресурс]: мультимед. пособие /Ю. А. Вашуков, О. В. Ломовской, А. А. Шаров; М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Самара, 2011.
4. Лекция 4: Автоматизированные системы технологической подготовки производства. [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.intuit.ru/studies/courses/651/507/lecture/11535>.
5. Вольсков Д.Г. Современные подходы к проектированию технологических процессов: Практикум / Д.Г. Вольсков. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 69 с.
6. Вялов, А. В. Автоматизация технологического проектирования в авиастроении :учеб. пособие / А. В. Вялов. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2014 – 171 с.
7. ГОСТ 14.102-73 Единая система технологической подготовки производства. Стадии разработки документации по организации и совершенствованию технологической подготовки производства [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
[https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_14.102-73](https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_14.102-73)

8. ГОСТ 14.314-74 Единая система технологической подготовки производства. Требования к организации автоматизированного решения задач обеспечения производства оборудованием [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_14.314-74](https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_14.314-74)
9. Дмитриев, А. Я. Робастное проектирование и технологическая подготовка производства изделий авиационной техники: учеб. пособие / А.Я. Дмитриев, Ю.А. Вашуков, Т.А. Митрошкина. – Самара: Изд-во СГАУ, 2016. – 76 с.
10. Бернд Хиллер. Индустрия 4.0 – умное производство будущего. Опыт «цифровизации» Германии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://3d-conf.ru/pdf-2017/hiller.pdf>
11. Р 50-54-5-87 Разработка графической информационной модели системы технологической подготовки производства [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293850/4293850551.pdf>
12. ГОСТ 14.104-74 Единая система технологической подготовки производства. Правила разработки графической информационной модели системы технологической подготовки производства [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_14.104-74](https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_14.104-74)
13. Р 50-54-87-88 Организация автоматизированного технологического проектирования – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 1988
14. Р 50-54-93-88 Классификация, разработка и применение технологических процессов – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 1988
15. Минпромторг России и ряд высокотехнологичных компаний представили цифровой проект в сфере авиастроения - "Индустрия 4.0" - АЕХ.RU [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.aex.ru/news/2017/7/24/172835/>

16. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утверждена распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р
17. Плаkitкин Ю.А., Плаkitкина Л.С.. Мировой инновационный проект «Индустрия-4.0» – возможности применения в угольной отрасли России. 1. Программа «Индустрия-4.0» – новые подходы и решения [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.eriras.ru/files/plakitkin\\_-8-.pdf](https://www.eriras.ru/files/plakitkin_-8-.pdf)
18. Революционный темп: Индустрия 4.0 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://siemens.rbc.ru/article2.html>
19. Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы»
20. Филатов А. Н. Разработка методов и моделей параллельного нисходящего проектирования ракетно-космической техники в едином информационном пространстве предприятия : дис. ... канд. тех. наук. : 05.07.02 / Филатов, Александр Николаевич, – Самара, 2014 – 163 с.
21. Шабалкин, Д.Ю. Интегрированная автоматизированная система конструкторско-технологической подготовки производства как основа цифровой производственной системы / Д.Ю. Шабалкин, В.В. Назаров, А.М. Топорков, Ю.В. Полянсков // Известия Самарского научного центра РАН, том 16. – 2014. - № 1(5) - с. 1647-1654.
22. Главная. Teamcenter [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://plmclub.ru/products/teamcenter>.
23. Аскон. ВЕРТИКАЛЬ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ascon.ru/products/420/review/>.
24. Ахатов, Р.Х. А.С. Говорков, А.С. Жилиев. Разработка и внедрение программного комплекса «Система анализа технологичности конструкции изделий» при запуске в производство изделий / Р.Х.

- Ахатов, А.С. Говорков, А.С. Жилыев // Известия Самарского научного центра РАН, том 16. – 2014. - № 1(5) - с. 1279-1283
25. Вялов, А.В. Основы технологии производства самолетов : учеб. пособие / А. В. Вялов. – 2-е изд., доп. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2013. – 145 с.
26. Грундсленькис Я.А., Тенгерис Я.К. Автоматизация построения топологической модели сложной системы для решения задач диагностики // Гибридные вычислительные машины и комплексы. – Вып. 3. Киев: Наукова думка, 1980. – С. 88–93.
27. Кузьменко Н.В. Учебное пособие для студентов заочной формы обучения по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств» в двух частях. Часть I. Конспект лекций / Учебное пособие. – Ангарск. – 2005.
28. Лебедев, А.В. Классификатор технологической оснастки как средство повышения эффективности процесса проектирования / А.В. Лебедев, В.И. Кочергин, П.Ю. Павлов // Известия Самарского научного центра РАН, том 17. – 2015. - № 2(4) - с. 811-816
29. Маликова Д.М. Прикладной технологический инструментарий «Бережливого производства» на промышленном предприятии Сборник материалов IV ВНТКАММУ. Молодые ученые - ускорению научно-технического прогресса В XXI ВЕКЕ : ИННОВА. – 2016. – с.479-483
30. Соснин О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.М. Соснин. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 240с.
31. Павлов, П.Ю. Онтологическая структуризация в параллельном инжиниринге проектирования сборочных приспособлений для летательных аппаратов / П.Ю. Павлов, П.И. Соснин, А.В. Лебедев //

- Известия Самарского научного центра РАН, том 18. – 2016. - № 1(2) - с. 373-377.
- 32.ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-20911-89>
- 33.Ефимов А.В., Галкин А.Г. Основы технической диагностики: Курс лекций. – Екатеринбург: УрГУПС, – 2006.
- 34.Техническое состояние машин и агрегатов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://autocarta.ru/tex-sostojanie-machin-agregatov/tex-sostojanie-machin-agregatov.html>
- 35.Техническая диагностика (конспект лекций), часть I. / Малышенко Ю.В. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://abc.vvsu.ru/Books/Teh\\_diag/page0001.asp](http://abc.vvsu.ru/Books/Teh_diag/page0001.asp)
- 36.Диагностика технических систем военного и гражданского назначения : учеб, пособие / О.Г. Агошков [и др.]; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб., 2008,- 148 с.
- 37.ISO 2372:1974. Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s -- Basis for specifying evaluation standards / [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/ru/iso\\_catalogue/catalogue\\_ics/catalogue\\_detail\\_ics.htm?csnumber=7212](http://www.iso.org/iso/ru/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=7212)
- 38.Алексеев А.А., Кораблев Ю. А., Шестопапов М.Ю. Идентификация и диагностика систем // – М.: Изд-во «Академия», 2009. – 352 с.
- 39.Методы диагностирования технического состояния. Образовательный портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://konspekta.net/lek-1159.html>
- 40.Технические средства и системы диагностирования. Энциклопедия техники [Электронный ресурс] – Режим доступа:



tehniki.ru/nadezhnost-i-diagnostika/tehnicheskie-sredstva-i-sistemy-diagnostirovaniya.html

41. Автоматический поиск неисправностей / Мозгалевский А.В., Гаскаров Д.В., Глазунов Л.П. и др. – М.: Машиностроение, 1967.
42. Диагностика нарушений и аварийных ситуаций в технических системах [Электронный ресурс] / Электронное учебное пособие – Режим доступа: <http://www.obzh.ru/nad/index.html>
43. Мозгалевский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1975. – 207 с.
44. Калявин В.П. Постановка задачи проектирования технических средств диагностирования // Методы и системы технической диагностики. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1981. – Вып. 2. – С. 20–25.
45. Дялов В.А., Кабанов А.Н., Милов Л.Т. Контроль динамических систем. – Л.: Энергия, 1978. – 88 с.
46. Портнягин Н. Н., Пюкке Г. А. Применение метода исключения варьируемого параметра при решении задач диагностирования // Академия Естествознания. – 2009.
47. Angeli. Diagnostic Expert Systems: From Expert's Knowledge to Real-Time Systems // Advanced Knowledge Based Systems (Model, Applications & Search), Vol. 1, 2010, pp. 50-73.
48. Automated Fault Detection and Diagnostics for the Mechanical Services in Commercial Buildings Project [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.nist.gov/el/building\\_environment/mechsys/afddmscb.cfm](http://www.nist.gov/el/building_environment/mechsys/afddmscb.cfm)
49. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Петров В.П., Резников Д.О. Диагностика систем по данным временных рядов и оценка рисков // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2008. № 3. С. 38–49.
50. Глущенко П.В. Техническая диагностика: Моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов. – М.: Вузовская книга, 2004. – 248 с.

51. Zadeh, L.A. Fuzzy sets / L.A. Zadeh // Information and control. – 1965. – Vol. 8, №. 3. – pp. 338-353.
52. Аддитивная и мультипликативная модели временного ряда // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://lektsii.net/3-52448.html>
53. Аддитивная модель временного ряда [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://eko-otv.narod.ru/index/0-24>
54. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И.. Анализ временных рядов в диагностике технических систем//Машиностроение и инженерное образование, 2003. – №2. – С. 11 – 20.
55. Экономическое Моделирование и Прогнозирование на компьютере. 3. Другие компоненты временного ряда [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://kek.ksu.ru/EOS/Model/uchebnik/3\\_1.htm](http://kek.ksu.ru/EOS/Model/uchebnik/3_1.htm)
56. Большаков А.А., Каримов Р.Н. Методы обработки многомерных данных и временных рядов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 522 с.
57. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 648 с.
58. Заварзин Д.В. К вопросу поиска аномалий во временных рядах // Инновации в науке: сб. ст. по матер. XXIX междунар. науч.-практ. конф. № 1(26). – Новосибирск: СибАК, 2014.
59. Arindam Banerjee, Varun Chandola and Vipin Kumar. Anomaly detection : A survey. To Appear in ACM Computing Surveys, 2009.
60. Malik Agyemang, Ken Barker, and Rada Alhajj. A comprehensive survey of numeric and symbolic outlier mining techniques. *Intell. Data Anal.*, 10(6):521–538, 2006.
61. Victoria Hodge and Jim Austin. A survey of outlier detection methodologies. *Artif. Intell. Rev.*, 22(2):85–126, 2004.
62. Arindam Banerjee, Varun Chandola and Vipin Kumar. Anomaly detection for discrete sequences : A survey. Unpublished Work.

- 63.Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов : Монография / В.Г. Букреев, С.И. Колесникова, А.Е. Янковская. Томск: Томский политехнический университет, 2011, – 254с.
- 64.Суханов А. В. Интеллектуальные методы обнаружения и прогнозирования аномальных событий в темпоральных данных : дис. ... канд. тех. наук. : 05.13.01 / Суханов, Андрей Валерьевич, – Ростов-на-дону, 2015 – 159 с.
- 65.J. Ma and S. Perkins. Time-series novelty detection using one-class support vector machines. volume 3, pages 1741–1745 vol.3, 2003.
- 66.N. A. Snooke, C. J. Price. Integrating reliability analysis and diagnostics for complex technical systems // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability June 1, 2009 223: 167-179
- 67.J.Korbicz, M. Kowal. Intelligent systems in technical and medical diagnostics // Dordrecht : Springer, 2013. - 530 p.
- 68.Siddique, N. Evolutionary Neural Networks / N. Siddique, H. Adeli // Computational Intelligence: Synergies of Fuzzy Logic, Neural Networks and Evolutionary Computing 2013. – pp. 307-355.
- 69.A. J. Fox. Outliers in time series. Journal of the Royal Statistical Society. Series B(Methodological), 34(3):350–363, 1972.
- 70.Junshui Ma and Simon Perkins. Online novelty detection on temporal sequences. In KDD '03: Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, pages 613–618, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- 71.Qingtao Wu and Zhiqing Shao. Network anomaly detection using time series analysis. In Proceedings of the Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services, page 42, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.

72. Eamonn Keogh, Jessica Lin, and Ada Fu. Hot sax: Efficiently finding the most unusual time series subsequence. In Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining, pages 226–233, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.
73. Eamonn Keogh, Jessica Lin, Sang-Hee Lee, and Helga Van Herle. Finding the most unusual time series subsequence: algorithms and applications. Knowledge and Information Systems, 11(1):1–27, 2006.
74. NASA DashLink. In [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dashlink.arc.nasa.gov>.
75. Patcha, A. An overview of anomaly detection techniques: Existing solutions and latest technological trends / A. Patcha, J. M. Park // Computer Networks. – 2007. – Vol. 51, №. 12. – pp. 3448-3470.
76. C. Michael and A. Ghosh. Two state-based approaches to program-based anomaly detection. In ACSAC '00: Proceedings of the 16th Annual Computer Security Applications Conference, page 21, Washington, DC, USA, 2000. IEEE Computer Society.
77. David L. Iverson. Inductive system health monitoring. International Conference on Artificial Intelligence, 2004.
78. Deepthi Cheboli Varun Chandola and Vipin Kumar. Detecting anomalies in a time series database. Technical Report, 09-004.
79. Keogh and T. Folias. In The ucr time series data mining archive.
80. L. Goldberger et al. Physiobank physiotoolkit and physionet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. 2000.
81. Li Wei, Nitin Kumar, Venkata Lolla, Eamonn J. Keogh, Stefano Lonardi, and Chotirat Ratanamahatana. Assumption-free anomaly detection in time series. In Proceedings of the 17th international conference on Scientific and statistical database management, pages 237–240, Berkeley, CA, US, 2005. Lawrence Berkeley Laboratory.

82. Manuele Bicego and Vittorio Murino. Investigating hidden markov models' capabilities in 2d shape classification. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 26(2):281–286, 2004.
83. Philip K. Chan and Matthew V. Mahoney. Modeling multiple time series for anomaly detection. In *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining*, pages 90–97, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.
84. Stan Salvador and Philip Chan. Learning states and rules for detecting anomalies in time series. *Applied Intelligence*, 23(3):241–255, 2005.
85. Thomas Lotze, Galit Shmueli, Sean Murphy, and Howard Burkom. A wavelet-based anomaly detector for early detection of disease outbreaks. 2008.
86. U. Rebbapragada, P. Protopapas, C. E. Brodley, and C. Alcock. Finding anomalous periodic time series. Submitted to the *Machine Learning Journal*, 2008.
87. Xiaoqiang Zhang, Pingzhi Fan, and Zhongliang Zhu. A new anomaly detection method based on hierarchical hmm. In *Proceedings of the 4th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies*, pages 249–252, 2003.
88. Zhang J, Tsui FC, Wagner MM, and Hogan WR. Detection of outbreaks from time series data using wavelet transform. *AMIA Annu Symp Proc*, 2003.
89. Крутько П.Д. Решение задачи идентификации методом теории чувствительности // *Изв. АН СССР. Техническая диагностика*. – 1969. – № 6. – С. 146–153.
90. Методы теории чувствительности в автоматическом управлении / Под ред. Е.Н. Розенванссера, Р.М. Юсупова. – Л.: Энергия, 1971. – 334 с.
91. Прямые и обратные задачи теории чувствительности / В.И. Городецкий, Ф.Н. Захарин, В.И. Пономарев и др. // *Изв. АН СССР. Техническая кибернетика*. – 1971. – № 5. – С. 177.
92. Bishop, C. M. *Neural networks for pattern recognition*. / C. M. Bishop et al. – 1995.

93. Cunningham, P. Supervised Learning / P. Cunningham, M. Cord, S. J. Delany // Machine Learning Techniques for Multimedia. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – pp. 21-49.
94. Haibin Cheng, Pang-Ning Tan, Christopher Potter, and Steven Klooster. Detection and characterization of anomalies in multivariate time series. In Proceedings of the ninth SIAM International Conference on Data Mining, 2009.
95. Bilge, L. Before we knew it: an empirical study of zero-day attacks in the real world // L. Bilge, T. Dumitras // Proceedings of the 2012 ACM conference on Computer and communications security. – 2012. – pp. 833-844.
96. Christopher Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer Science Business Media LLC, 2006.
97. Freisleben B. Aleskerov, E. and Rao. Cardwatch: A neural network based database mining system for credit card fraud detection. In In Proceedings of IEEE Computational Intelligence for Financial Engineering. 220-226, 1997.
98. Hai-Tao He and Xiao-Nan Luo. A novel hmm-based approach to anomaly detection. 2004.
99. L. Rabiner and B. Juang. An introduction to hidden markov models. ASSP Magazine, IEEE, 3(1):4–16, Jan 1986.
100. Shrijit S. Joshi and Vir V. Phoha. Investigating hidden markov models capabilities in anomaly detection. In ACM-SE 43: Proceedings of the 43rd annual Southeast regional conference, pages 98–103, New York, NY, USA, 2005. ACM.
101. Veselina Jecheva. About some applications of hidden markov model in intrusion detection systems. In International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech, 2006.
102. 1С:ERP УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ 2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://v8.1c.ru/erp/>.
103. Заяц О.А. Обзор инструментальных средств прогнозирования экономических временных рядов / X Международная научно-

методическая конференция «Новые образовательные технологии в вузе», Уральский федеральный университет, 2013

104. Asap Consulting. SAP R/3 (R3) - IT технологии будущего, работающие уже сегодня [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://asapcg.com/press-center/articles/sap-r3/>.
105. Кацко, И.А. Практикум по анализу данных на компьютере / И.А. Кацко, Н.Б. Паклин; под ред. Г.В. Гореловой. – М.: КолосС, – 2009. – 278 с.
106. Чучуева И. Сравнение программных продуктов для анализа данных: R, MATLAB, SciPy, MS Excel, SAS, SPSS, Stata. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mbureau.ru/blog/sravnenie-programmnyh-produktov-dlya-analiza-dannyh-r-matlab-scipy-ms-excel-sas-spss-stata>
107. R (язык программирования) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/R\\_\(%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/R_(%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F))
108. MATLAB - высокоуровневый язык технических расчетов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://matlab.ru/products/matlab>
109. SciPy.org // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.scipy.org/>
110. Microsoft Excel — Википедия [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Excel](https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel)
111. Iteranet. It журнал. Обзор ERP системы: Oracle E-Business Suite [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://iteranet.ru/it-novosti/2013/12/23/obzor-erp-sistemy-oracle-e-business-suite/>.

112. Образовательный математический сайт Exponenta.ru. Раздел Другие пакеты. Статистический пакет Stata [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://old.exponenta.ru/soft/others/stata/stata.asp>
113. IBM SPSS Statistics [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.predictivesolutions.ru/software/statistics.htm>
114. Afanasieva T., Time Series Forecasting Using Combination of Exponential Models and Fuzzy Techniques. // Afanasieva T., Yarushkina N., Zavarzin D., Guskov G., Romanov A. – In: Abraham A., Kovalev S., Tarassov V., Snášel V. (eds) Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ИТИ’16). Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 450. – Springer, Cham. – 2016 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-33609-1\\_4#copyrightInformation](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-33609-1_4#copyrightInformation)
115. Comparison of data analysis packages: R, Matlab, SciPy, Excel, SAS, SPSS, Stata. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://brenocon.com/blog/2009/02/comparison-of-data-analysis-packages-r-matlab-scipy-excel-sas-spss-stata/>
116. ОСТ 1 00350-88 Самолёты и вертолётыв. Порядок передачи конструкторской документации серийному предприятию для изготовления опытных образцов, подготовки и освоения производства [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vniiki.ru/document/3557713.aspx>
117. ОСТ 1 41708-89 Технологическое обеспечение разработки и постановки на производство Летательных аппаратов. Порядок отработки конструкции изделия на производственную технологичность [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.standards.ru/document/3570683.aspx>



118. ОСТ 1 42390-2003 Порядок разработки и содержание директивных технологических материалов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/471814764>
119. ГОСТ 2.511-2011 Единая система конструкторской документации. Правила передачи электронных конструкторских документов – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2011
120. ГОСТ 2.512-2011 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения пакета данных для передачи электронных конструкторских документов – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2011
121. ГОСТ 3.1102-2011 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов. Общие положения – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2011
122. ГОСТ 3.1103-2011 Единая система технологической документации Основные надписи. Общие положения
123. ГОСТ 3.1109-82 Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2012
124. ГОСТ 3.1119-83 Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2012
125. ГОСТ 3.1407-86 Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции), специализированные по методам сборки – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2003
126. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения: ГОСТ 2.051-2006. – Введ.2006 - 06 - 22. - 119 с.
127. НИЦ Институт имени Н.Е. Жуковского разработал методологию выявления центров компетенций авиационной науки [Электронный

ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.aviaport.ru/digest/2017/12/21/509797.html>

128. Попов, М.Е. Методы автоматизированного совершенствования технологичности конструкций изделий в интегрированных САПР /М.Е. Попов, А.М. Попов // Вестник машиностроения. – 2003. – № 10 – с. 48-53.
129. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник для машиностроения вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, 1985 – 496с.
130. Маданов, А.В. Анализ технологической подготовки производства авиационных деталей сложной геометрии на станках с числовым программным управлением / А.В. Маданов. – Известия самарского научного центра российской академии наук. – Самара : Самарский научный центр РАН. – Т. 16. – Номер 1-5. – 2014. – 1467-1472 с.
131. Решетникова, Е.П. Классификация деталей со сложнопрофильными поверхностями в технологической подготовке механообрабатывающих производств / Е.П. Решетникова, П.Ю. Бочкарев // Вестник машиностроения. – 2017. – № 16 – с. 173-177.
132. Вагин В. Н., Михайлов И. С. Разработка метода интеграции информационных систем на основе метамоделирования и онтологии предметной области // Программные продукты и системы. – 2008. – №. 1.
133. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – 2000.
134. Гаврилова Т. А., Кудрявцев Д. В., Кузнецова А. В. Выбор инструментов управления знаниями с учетом специфики предметной области // Инновации. – 2019. – №. 8. – С. 44-52.
135. Грибова В. В., Окунь Д. Б. Онтологическая модель знаний восстановительного лечения как ресурс медицинских

- интеллектуальных систем // Интеллектуальные системы. – 2019. – №. 2. – С. 60.
136. Загорулько Ю. А., Боровикова О. И. Проблемы построения онтологий научных предметных областей на основе паттернов онтологического проектирования // Информационные технологии и системы. – 2019. – С. 157-161.
137. Клещев А. С., Смагин С. В. Проблемно-ориентированный способ объективного формирования баз знаний для интеллектуальных систем // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. – 2016. – С. 41-49.
138. Самойлов Д. Е., Семенова В. А., Смирнов С. В. Паттерны структурной организации системы измеряемых свойств в онтологическом анализе данных // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. – 2018. – С. 358-366.
139. Bianchini D. et al. Using a Smart City Ontology to support Personalised Exploration of Urban Data (Discussion Paper). – 2019.
140. Huitzil I., Alegre F., Bobillo F. GimmeHop: A recommender system for mobile devices using ontology reasoners and fuzzy logic // Fuzzy Sets and Systems. – 2019.
141. Di Noia T. et al. A fuzzy ontology-based approach for tool-supported decision making in architectural design // Knowledge and Information Systems. – 2019. – V. 58. – No. 1. – Pp. 83-112.
142. Almeida J. P. A., Falbo R. A., Guizzardi G. Events as entities in ontology-driven conceptual modeling // International Conference on Conceptual Modeling. – Springer, Cham, 2019. – Pp. 469-483.
143. Ye Y. et al. Constructive Justification Extraction for OWL Ontologies // International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management. – Springer, Cham, 2018. – Pp. 144-155.

144. Shaaban A. M., Gruber T., Schmittner C. Ontology-based security tool for critical cyber-physical systems //Proceedings of the 23rd International Systems and Software Product Line Conference-Volume B. – 2019. – Pp. 207-210.
145. Almeida J. P. A., Guarino N. Relations in Ontology-Driven Conceptual Modeling //Conceptual Modeling: 38th International Conference, ER 2019, Salvador, Brazil, November 4–7, 2019, Proceedings. – Springer Nature, 2019. – V. 11788. – Pp. 28
146. Griffo C. et al. Service contract modeling in Enterprise Architecture: An ontology-based approach //Information Systems. – 2019. – Pp. 401-454.
147. Hanika T., Marx M., Stumme G. Discovering implicational knowledge in Wikidata //International Conference on Formal Concept Analysis. – Springer, Cham, 2019. – Pp. 315-323.
148. Feine J., Morana S., Maedche A. Leveraging Machine-Executable Descriptive Knowledge in Design Science Research–The Case of Designing Socially-Adaptive Chatbots //International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology. – Springer, Cham, 2019. – Pp. 76-91.
149. Baader F., Horrocks I., Sattler U. Description logics as ontology languages for the semantic web //Mechanizing mathematical reasoning. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. – С. 228-248.
150. Protégé - A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://protege.stanford.edu>
151. Pellet: An Open Source OWL DL reasoner for Java [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://github.com/stardog-union/pellet>
152. FaCT++ reasoner [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://owl.cs.manchester.ac.uk/tools/fact/>

153. Hermit OWL Reasoner [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://www.hermit-reasoner.com/>
154. OWL API [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://owlcs.github.io/owlapi/>
155. SWRLAPI [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/>
156. OWL 2 Web Ontology Language [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>
157. SWRL: A Semantic Web Rule Language [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://www.w3.org/Submission/SWRL/>
158. Воронина В. В. Математическое моделирование диагностических параметров агрегатов летательных аппаратов на основе гранулированных временных рядов : дис. ... канд. тех. наук. : 05.13.18 / Воронина, Валерия Вадимовна, – Ульяновск, 2011 – 171 с.
159. Афанасьева Т.В. Модель ACL-шкалы для генерации лингвистических оценок в принятии решений / Т.В. Афанасьева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Т2 Серия «Технические науки». – 2008. - №4(14).- С. 91-97.
160. 1S. Al-Sharhan, F. Karray, W. Gueaieb, O. Basir, Fuzzy entropy: a brief survey// The 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2001. Vol. 3(S.I., 2001), 1135-1139
161. Bart Kosko, Fuzzy Entropy and Conditioning, Information Sciences 40 (1986) 165-174
162. De Luca, S. Termini, A definition of non-probabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory, Information and Control 20(1972)301-312
163. Рыжов А.П. Оценка степени нечеткости и ее применение в системах искусственного интеллекта. Интеллектуальные системы. Т.1, Вып. 1-4, Москва, МНЦ КИТ, 1996, с. 95 - 102.
164. Computational Intelligence in Forecasting (CIF) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://irafm.osu.cz/cif/main.php>

165. Метод Хольта-Винтерса [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://fnow.ru/algorithm-comparison/metod-holta-wintersa>
166. Прогнозирование методом экспоненциального сглаживания (ES, exponential smoothing) [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://fnow.ru/algorithm-comparison/jeksponencial-noe-sglazhivanie>
167. Алгоритм обучения многослойной нейронной сети методом обратного распространения ошибки (Backpropagation) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/198268/>
168. `protegeproject/swrlapi` [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://github.com/protegeproject/swrlapi>
169. Обзор инструментов инженерии онтологии [Электронный ресурс] –  
Режим доступа:  
<http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part4/op>
170. Антипов Сергей Геннадьевич, Вагин Вадим Николаевич, Фомина Марина Владимировна Методы диагностики динамических объектов на основе анализа временных рядов // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017. №2 (2).

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## СВИДЕТЕЛЬСТВА О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2022610252**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):  
2022610252

Дата регистрации: 10.01.2022

Номер и дата поступления заявки:  
2021681141 17.12.2021

Дата публикации и номер бюллетеня:  
10.01.2022 Бюл. № 1

Контактные реквизиты:  
ois@ulstu.ru

Автор(ы):

Ярушкина Надежда Глебовна (RU),

Эгов Евгений Николаевич (RU)

Правообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Ульяновский государственный  
технический университет» (RU)

Название программы для ЭВМ:

Сервис прогнозирования состояния технических систем с применением энтропийных временных рядов

Реферат:

Программа предназначена для прогнозирования состояния технических систем на основе прогнозирования значений временных рядов показателей, полученных с этих систем. Данная программа может использоваться как для диагностирования отдельных станков либо иное оборудование предприятия, так и для анализа временных рядов более сложных систем, в том числе не механических (например, цеха предприятия). Программа реализована в виде библиотеки, подключаемой к любому решению для получения прогнозных значений временных рядов. Программа была разработана в рамках регионального гранта №18-47-730025.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 928 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2020610690**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):  
2020610690

Дата регистрации: 17.01.2020

Номер и дата поступления заявки:  
2019667785 31.12.2019

Дата публикации и номер бюллетеня:  
17.01.2020 Бюл. № 1

Контактные реквизиты:  
ois@ulstu.ru

Автор(ы):

**Ярушкина Надежда Глебовна (RU),**

**Эгов Евгений Николаевич (RU)**

Правообладатель(и):

**федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Ульяновский государственный  
технический университет» (RU)**

Название программы для ЭВМ:

**Сервис диагностирования и прогнозирования технических систем**

**Реферат:**

Программа предназначена для выявления дефектов в технических системах (выявление аномалий во временных рядах), а также прогнозирования их состояния (прогнозирование значения для временного ряда). Данный сервис может использоваться как для диагностирования отдельных станков, либо иное оборудование предприятия, так и для анализа временных рядов более сложных систем, в том числе не механических (например, цеха предприятия). Программа реализована на основе REST-технологии и имеет отдельный функционал (контроллер) для диагностирования на основе временного ряда и функционал (контроллер) для прогнозирования будущего состояния на основе временного ряда. Программа создана в рамках выполнения контракта 2.1182.2017/пч от 31.05.2017.

**Язык программирования:** С#

**Объем программы для ЭВМ:** 12 Мб



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2019664886**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):  
2019664886

Дата регистрации: 15.11.2019

Номер и дата поступления заявки:  
2019663773 01.11.2019

Дата публикации и номер бюллетеня:  
15.11.2019 Бюл. № 11

Контактные реквизиты:  
ois@ulstu.ru

Автор(ы):

Ярушкина Надежда Глебовна (RU),

Гуськов Глеб Юрьевич (RU),

Романов Антон Алексеевич (RU),

Эгов Евгений Николаевич (RU)

Правообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего

образования «Ульяновский государственный

технический университет» (RU)

Название программы для ЭВМ:

Подсистема моделирования сценариев развития производственных мощностей

Реферат:

Программа выполняет оперативный расчет показателей и проводит анализ и балансировку мощностей в зависимости от изменения исходных данных: производственной программы; вывод технологических переделов и участков на аутсорсинг; объединение технологических переделов и участков; изменение режима работы.

Язык программирования: Java, JavaScript

Объем программы для ЭВМ: 14 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2019664659**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):  
2019664659

Дата регистрации: 12.11.2019

Номер и дата поступления заявки:  
2019663597 01.11.2019

Дата публикации и номер бюллетеня:  
12.11.2019 Бюл. № 11

Контактные реквизиты:  
ois@ulstu.ru

Автор(ы):

Ярушкина Надежда Глебовна (RU),

Гуськов Глеб Юрьевич (RU),

Романов Антон Алексеевич (RU),

Эгов Евгений Николаевич (RU)

Правообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего

образования «Ульяновский государственный

технический университет» (RU)

Название программы для ЭВМ:

**Подсистема интеграции информационной системы формирования баланса производственных мощностей**

Реферат:

Программа предназначена для ввода и сохранения информации о наличии и изменении состояния производственных мощностей серийного завода в целом, каждого производства, каждого производственного цеха, отдельных участков и единиц оборудования (при необходимости) по направлениям: технологическое и сборочно-технологическое оборудование в цехах основного производства и ПТО; численность основных производственных рабочих в цехах основного производства и ПТО; производственные площади в цехах основного производства и ПТО. Программа создана в рамках соглашения о предоставлении субсидии по договору "Разработка методов и средств автоматизации производственно-технологической подготовки агрегатно-сборочного самолетостроительного производства в условиях мультипродуктовой производственной программы" №2.1182.2017/пч от 31.05.2017 с Министерством образования и науки Российской Федерации.

Язык программирования:

Java, JavaScript

Объем программы для ЭВМ:

22 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2018663984

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

|  |   |
|--|---|
| Номер регистрации (свидетельства):<br>2018663984<br><br>Дата регистрации: 08.11.2018<br><br>Номер и дата поступления заявки:<br>2018661799 26.10.2018<br><br>Дата публикации и номер бюллетеня:<br>08.11.2018 Бюл. № 11<br><br>Контактные реквизиты:<br>ois@ulstu.ru | Автор(ы):<br><b>Ярушкина Надежда Глебовна (RU),<br/>         Гуськов Глеб Юрьевич (RU),<br/>         Романов Антон Алексеевич (RU),<br/>         Эгов Евгений Николаевич (RU)</b><br><br>Правообладатель(и):<br><b>федеральное государственное бюджетное<br/>         образовательное учреждение высшего<br/>         образования «Ульяновский государственный<br/>         технический университет» (RU)</b> |
|--|---|

Название программы для ЭВМ:

**Информационная система формирования баланса производственных мощностей****Реферат:**

Программа предназначена для: оперативного формирования объективной информации об имеющихся мощностях предприятия и необходимых для выполнения работ; выявления дефицита мощностей по производствам и формирования потребности в перераспределении объемов производства между производствами и цехами по схожим видам работ и обоснования внутривзаводской и внешней кооперации для обеспечения балансировки мощностей; выявления дефицита мощностей по производствам, цехам и видам работ и формирования потребности в вводе в эксплуатацию дополнительных мощностей в разрезе оборудования, площадей и персонала.

**Язык программирования:** Java, JavaScript**Объем программы для ЭВМ:** 925 Кб

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## АКТ О ВНЕДРЕНИИ

Код организации: 232

УлГТУ

**АКТ**  
сдачи-приемки результатов по заданию 2.1182.2017/ПЧ  
на выполнение работы по теме «Разработка методов и средств автоматизации производственно-технологической подготовки агрегатно-сборочного самолетостроительного производства в условиях мультипродуктовой производственной программы»  
выполняемой в рамках государственного задания на 2017 год

«26» марта 2017 г.

г. Москва

Министерство образования и науки Российской Федерации в лице и.о. директора Департамента науки и технологий Минцаева Магомеда Шаваловича, действующего на основании доверенности от «26» марта 2017 г. № 000000, именуемое в дальнейшем «Минобрнауки России», с одной стороны и федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет», именуемое в дальнейшем «Исполнитель», в лице И. о. ректора Пинкова Александра Петровича, действующего на основании \_\_\_\_\_, с другой стороны, именуемые в дальнейшем «Стороны», составили и подписали настоящий Акт о нижеследующем:

1. Исполнитель сдал, а Минобрнауки России принял результаты по заданию № 2.1182.2017/ПЧ на выполнение работы по теме «Разработка методов и средств автоматизации производственно-технологической подготовки агрегатно-сборочного самолетостроительного производства в условиях мультипродуктовой производственной программы».
2. Работа выполнена Исполнителем в соответствии с утвержденным заданием. Отчетные документы оформлены надлежащим образом.
3. Настоящий Акт составлен в двух экземплярах, имеющих одинаковую юридическую силу – по одному для каждой из Сторон.

**Исполнитель**  
Ульяновский государственный технический университет  
И. о. ректора

(А.П. Пинков)

М.П.



**Минобрнауки России**  
Департамент науки и технологий  
и.о. директора

(М.Ш. Минцаев)

М.П.



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

### ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Таблица В.1 – Прогнозирование ВР методом Хольта-Винтерса

| Ряд       | Поз. | Факт. знач. | Прогноз. знач. методом | SMAPЕ  | Прогноз. знач. энтропией | SMAPЕ  | Прогноз. знач. усред. | SMAPЕ  |
|-----------|------|-------------|------------------------|--------|--------------------------|--------|-----------------------|--------|
| irafmts01 | 0    | 1611,9430   | 1580,7663              | 0,0195 | 1845,9264                | 0,1353 | 1713,3464             | 0,0610 |
| irafmts01 | 1    | 1600,2299   | 1653,4621              | 0,0327 | 1644,2046                | 0,0271 | 1648,8334             | 0,0299 |
| irafmts01 | 2    | 1665,0009   | 1613,9790              | 0,0311 | 1401,7726                | 0,1717 | 1507,8758             | 0,0990 |
| irafmts01 | 3    | 1554,9669   | 1679,7494              | 0,0772 | 1327,9239                | 0,1575 | 1503,8367             | 0,0334 |
| irafmts01 | 4    | 1592,1673   | 1647,6927              | 0,0343 | 602,8433                 | 0,9014 | 1125,2680             | 0,3436 |
| irafmts02 | 0    | 700,4858    | 707,5769               | 0,0101 | 671,5701                 | 0,0421 | 689,5735              | 0,0157 |
| irafmts02 | 1    | 733,5106    | 696,0267               | 0,0524 | 464,5535                 | 0,4490 | 580,2901              | 0,2332 |
| irafmts02 | 2    | 724,6577    | 712,2157               | 0,0173 | 449,2667                 | 0,4692 | 580,7412              | 0,2205 |
| irafmts02 | 3    | 729,6662    | 722,3929               | 0,0100 | 771,3259                 | 0,0555 | 746,8594              | 0,0233 |
| irafmts02 | 4    | 738,6399    | 734,0058               | 0,0063 | 746,0553                 | 0,0100 | 740,0305              | 0,0019 |
| irafmts03 | 0    | 776,2585    | 817,5297               | 0,0518 | 737,5494                 | 0,0511 | 777,5395              | 0,0016 |
| irafmts03 | 1    | 800,7731    | 813,0079               | 0,0152 | 715,1755                 | 0,1129 | 764,0917              | 0,0469 |
| irafmts03 | 2    | 793,9910    | 807,7447               | 0,0172 | 595,8723                 | 0,2851 | 701,8085              | 0,1233 |
| irafmts03 | 3    | 737,5494    | 802,8145               | 0,0847 | 840,8741                 | 0,1309 | 821,8443              | 0,1081 |
| irafmts03 | 4    | 758,5038    | 798,6031               | 0,0515 | 798,4898                 | 0,0514 | 798,5465              | 0,0514 |
| irafmts04 | 0    | 859,7410    | 904,2764               | 0,0505 | 906,8323                 | 0,0533 | 905,5544              | 0,0519 |
| irafmts04 | 1    | 894,1693    | 915,3651               | 0,0234 | 908,8539                 | 0,0163 | 912,1095              | 0,0199 |
| irafmts04 | 2    | 931,1489    | 925,7679               | 0,0058 | 920,6818                 | 0,0113 | 923,2249              | 0,0085 |
| irafmts04 | 3    | 901,8027    | 936,2360               | 0,0375 | 854,8475                 | 0,0535 | 895,5418              | 0,0070 |
| irafmts04 | 4    | 982,9558    | 946,7082               | 0,0376 | 957,5963                 | 0,0261 | 952,1523              | 0,0318 |
| irafmts05 | 0    | 529,7807    | 523,4994               | 0,0119 | 474,2037                 | 0,1107 | 498,8515              | 0,0601 |
| irafmts05 | 1    | 529,2861    | 532,2413               | 0,0056 | 540,0588                 | 0,0201 | 536,1500              | 0,0129 |
| irafmts05 | 2    | 532,8159    | 531,7096               | 0,0021 | 481,6796                 | 0,1008 | 506,6946              | 0,0503 |
| irafmts05 | 3    | 527,5356    | 532,5708               | 0,0095 | 476,8864                 | 0,1009 | 504,7286              | 0,0442 |
| irafmts05 | 4    | 522,8133    | 533,4352               | 0,0201 | 468,5362                 | 0,1095 | 500,9857              | 0,0426 |
| irafmts06 | 0    | 937,8954    | 960,8461               | 0,0242 | 942,1984                 | 0,0046 | 951,5222              | 0,0144 |
| irafmts06 | 1    | 952,2965    | 943,0421               | 0,0098 | 875,6237                 | 0,0839 | 909,3329              | 0,0462 |
| irafmts06 | 2    | 952,3498    | 926,8561               | 0,0271 | 867,4750                 | 0,0933 | 897,1655              | 0,0597 |
| irafmts06 | 3    | 875,6237    | 910,4722               | 0,0390 | 791,2870                 | 0,1012 | 850,8796              | 0,0287 |
| irafmts06 | 4    | 902,9423    | 893,9936               | 0,0100 | 737,6093                 | 0,2016 | 815,8015              | 0,1014 |

|           |   |           |           |        |           |        |           |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| irafmts07 | 0 | 517,9209  | 528,6966  | 0,0206 | 521,1958  | 0,0063 | 524,9462  | 0,0135 |
| irafmts07 | 1 | 522,2113  | 530,0494  | 0,0149 | 526,4151  | 0,0080 | 528,2323  | 0,0115 |
| irafmts07 | 2 | 526,9157  | 531,4654  | 0,0086 | 534,2293  | 0,0138 | 532,8473  | 0,0112 |
| irafmts07 | 3 | 528,6013  | 533,0465  | 0,0084 | 541,1981  | 0,0235 | 537,1223  | 0,0160 |
| irafmts07 | 4 | 540,9352  | 534,6520  | 0,0117 | 541,1981  | 0,0005 | 537,9250  | 0,0056 |
| irafmts08 | 0 | 498,7571  | 488,6033  | 0,0206 | 489,8021  | 0,0181 | 489,2027  | 0,0193 |
| irafmts08 | 1 | 488,4240  | 491,6953  | 0,0067 | 501,8435  | 0,0271 | 496,7694  | 0,0169 |
| irafmts08 | 2 | 485,1312  | 491,6651  | 0,0134 | 496,0376  | 0,0222 | 493,8513  | 0,0178 |
| irafmts08 | 3 | 478,5853  | 491,7698  | 0,0272 | 503,4784  | 0,0507 | 497,6241  | 0,0390 |
| irafmts08 | 4 | 494,2438  | 491,9763  | 0,0046 | 525,0503  | 0,0604 | 508,5133  | 0,0285 |
| irafmts09 | 0 | 488,7110  | 540,5320  | 0,1007 | 602,0647  | 0,2078 | 571,2983  | 0,1558 |
| irafmts09 | 1 | 467,6615  | 562,9873  | 0,1850 | 438,0305  | 0,0654 | 500,5089  | 0,0679 |
| irafmts09 | 2 | 481,5658  | 585,9824  | 0,1956 | 356,0782  | 0,2996 | 471,0303  | 0,0221 |
| irafmts09 | 3 | 491,4956  | 608,7470  | 0,2131 | 395,4107  | 0,2167 | 502,0789  | 0,0213 |
| irafmts09 | 4 | 454,4260  | 631,2218  | 0,3257 | 357,2278  | 0,2395 | 494,2248  | 0,0839 |
| irafmts10 | 0 | 13,8990   | 11,8383   | 0,1601 | 15,7209   | 0,1230 | 13,7796   | 0,0086 |
| irafmts10 | 1 | 13,4235   | 11,1213   | 0,1876 | 17,2953   | 0,2521 | 14,2083   | 0,0568 |
| irafmts10 | 2 | 14,3938   | 10,3086   | 0,3308 | 18,7537   | 0,2631 | 14,5312   | 0,0095 |
| irafmts10 | 3 | 13,2235   | 9,1725    | 0,3618 | 19,9831   | 0,4071 | 14,5778   | 0,0974 |
| irafmts10 | 4 | 12,3295   | 8,1061    | 0,4133 | 12,3295   | 0,0000 | 10,2178   | 0,1873 |
| irafmts11 | 0 | 499,0152  | 503,5236  | 0,0090 | 704,4859  | 0,3415 | 604,0047  | 0,1904 |
| irafmts11 | 1 | 508,5669  | 509,2435  | 0,0013 | 646,3887  | 0,2387 | 577,8161  | 0,1275 |
| irafmts11 | 2 | 498,9509  | 511,8661  | 0,0256 | 646,3887  | 0,2575 | 579,1274  | 0,1487 |
| irafmts11 | 3 | 499,1270  | 514,1531  | 0,0297 | 646,3887  | 0,2571 | 580,2709  | 0,1504 |
| irafmts11 | 4 | 509,9074  | 516,5351  | 0,0129 | 646,3887  | 0,2361 | 581,4619  | 0,1311 |
| irafmts12 | 0 | 431,3766  | 456,0376  | 0,0556 | 478,4305  | 0,1034 | 467,2341  | 0,0798 |
| irafmts12 | 1 | 453,1480  | 438,0492  | 0,0339 | 563,8752  | 0,2177 | 500,9622  | 0,1002 |
| irafmts12 | 2 | 437,5645  | 462,4074  | 0,0552 | 325,3158  | 0,2943 | 393,8616  | 0,1051 |
| irafmts12 | 3 | 438,2370  | 443,4887  | 0,0119 | 480,5744  | 0,0922 | 462,0315  | 0,0529 |
| irafmts12 | 4 | 478,4305  | 468,3823  | 0,0212 | 196,1241  | 0,8370 | 332,2532  | 0,3606 |
| irafmts13 | 0 | 923,0195  | 1180,7427 | 0,2450 | 942,7862  | 0,0212 | 1061,7645 | 0,1398 |
| irafmts13 | 1 | 948,1170  | 1052,8968 | 0,1047 | 926,6058  | 0,0229 | 989,7513  | 0,0430 |
| irafmts13 | 2 | 1099,7367 | 1184,7153 | 0,0744 | 701,8277  | 0,4417 | 943,2715  | 0,1532 |
| irafmts13 | 3 | 926,5209  | 1143,0234 | 0,2092 | 701,3386  | 0,2767 | 922,1810  | 0,0047 |
| irafmts13 | 4 | 927,7032  | 1199,3197 | 0,2554 | 733,6787  | 0,2336 | 966,4992  | 0,0410 |
| irafmts14 | 0 | 1478,6763 | 1627,7787 | 0,0960 | 1733,9563 | 0,1589 | 1680,8675 | 0,1280 |
| irafmts14 | 1 | 1429,3655 | 1705,8552 | 0,1764 | 1790,9478 | 0,2246 | 1748,4015 | 0,2008 |
| irafmts14 | 2 | 1598,8986 | 1786,5520 | 0,1109 | 1677,6079 | 0,0480 | 1732,0799 | 0,0800 |
| irafmts14 | 3 | 1467,4412 | 1862,7055 | 0,2374 | 1758,7857 | 0,1806 | 1810,7456 | 0,2094 |
| irafmts14 | 4 | 1450,1343 | 1940,4408 | 0,2892 | 1611,8364 | 0,1056 | 1776,1386 | 0,2021 |

|           |   |           |           |        |           |        |           |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| irafmts15 | 0 | 1006,1186 | 1620,6860 | 0,4679 | 995,6517  | 0,0105 | 1308,1688 | 0,2610 |
| irafmts15 | 1 | 1256,9931 | 1656,7089 | 0,2744 | 1941,2400 | 0,4279 | 1798,9745 | 0,3547 |
| irafmts15 | 2 | 1226,4236 | 1696,2505 | 0,3215 | 2491,1974 | 0,6804 | 2093,7239 | 0,5224 |
| irafmts15 | 3 | 1178,1902 | 1734,6293 | 0,3821 | 2327,4111 | 0,6556 | 2031,0202 | 0,5315 |
| irafmts15 | 4 | 1422,9438 | 1773,3195 | 0,2192 | 2369,8714 | 0,4993 | 2071,5954 | 0,3712 |
| irafmts16 | 0 | 1946,8470 | 1973,8546 | 0,0138 | 1977,2296 | 0,0155 | 1975,5421 | 0,0146 |
| irafmts16 | 1 | 1614,0270 | 2109,6742 | 0,2662 | 1977,2296 | 0,2023 | 2043,4519 | 0,2348 |
| irafmts16 | 2 | 1778,4380 | 2251,6046 | 0,2348 | 1977,2296 | 0,1059 | 2114,4171 | 0,1726 |
| irafmts16 | 3 | 1854,0471 | 2389,1527 | 0,2522 | 1977,2296 | 0,0643 | 2183,1912 | 0,1631 |
| irafmts16 | 4 | 1977,2296 | 2531,9545 | 0,2460 | 1977,2296 | 0,0000 | 2254,5921 | 0,1311 |
| irafmts17 | 0 | 854,5822  | 735,6847  | 0,1495 | 694,6162  | 0,2065 | 715,1504  | 0,1777 |
| irafmts17 | 1 | 874,5111  | 628,7330  | 0,3270 | 720,9583  | 0,1925 | 674,8457  | 0,2577 |
| irafmts17 | 2 | 961,2867  | 566,8954  | 0,5162 | 713,1700  | 0,2964 | 640,0327  | 0,4012 |
| irafmts17 | 3 | 783,8628  | 563,3677  | 0,3273 | 716,0477  | 0,0904 | 639,7077  | 0,2025 |
| irafmts17 | 4 | 813,1105  | 400,1388  | 0,6808 | 713,4278  | 0,1306 | 556,7833  | 0,3742 |
| irafmts18 | 0 | 749,4569  | 1084,5548 | 0,3654 | 749,4569  | 0,0000 | 917,0059  | 0,2011 |
| irafmts18 | 1 | 1002,5844 | 1059,7885 | 0,0555 | 616,5902  | 0,4768 | 838,1894  | 0,1786 |
| irafmts18 | 2 | 787,0749  | 1075,8749 | 0,3100 | 749,4569  | 0,0490 | 912,6659  | 0,1478 |
| irafmts18 | 3 | 927,0222  | 1136,0920 | 0,2027 | 610,7086  | 0,4114 | 873,4003  | 0,0596 |
| irafmts18 | 4 | 949,5780  | 1022,9717 | 0,0744 | 661,7305  | 0,3573 | 842,3511  | 0,1197 |
| irafmts19 | 0 | 1455,2727 | 1530,9614 | 0,0507 | 1719,8075 | 0,1666 | 1625,3845 | 0,1104 |
| irafmts19 | 1 | 1701,1906 | 1562,9883 | 0,0847 | 1706,3226 | 0,0030 | 1634,6555 | 0,0399 |
| irafmts19 | 2 | 1555,4982 | 1609,5670 | 0,0342 | 870,0212  | 0,5652 | 1239,7941 | 0,2259 |
| irafmts19 | 3 | 1559,3833 | 1657,6798 | 0,0611 | 1008,9305 | 0,4286 | 1333,3052 | 0,1563 |
| irafmts19 | 4 | 1590,7304 | 1708,1324 | 0,0712 | 464,0825  | 1,0966 | 1086,1075 | 0,3770 |
| irafmts20 | 0 | 1246,9804 | 1563,9476 | 0,2255 | 1594,3779 | 0,2445 | 1579,1628 | 0,2351 |
| irafmts20 | 1 | 1367,5300 | 1576,3069 | 0,1418 | 1366,8177 | 0,0005 | 1471,5623 | 0,0733 |
| irafmts20 | 2 | 1416,0481 | 1588,7036 | 0,1149 | 1460,5489 | 0,0309 | 1524,6262 | 0,0738 |
| irafmts20 | 3 | 1515,4932 | 1601,1002 | 0,0549 | 1226,0503 | 0,2112 | 1413,5753 | 0,0696 |
| irafmts20 | 4 | 1545,8891 | 1610,7590 | 0,0411 | 1702,1807 | 0,0962 | 1656,4698 | 0,0691 |
| irafmts21 | 0 | 126,8759  | 249,8262  | 0,6528 | 190,4425  | 0,4006 | 220,1343  | 0,5375 |
| irafmts21 | 1 | 204,1721  | 210,5026  | 0,0305 | 228,7436  | 0,1135 | 219,6231  | 0,0729 |
| irafmts21 | 2 | 202,2417  | 194,4165  | 0,0395 | 371,2592  | 0,5894 | 282,8379  | 0,3323 |
| irafmts21 | 3 | 122,8385  | 159,4433  | 0,2593 | 348,6980  | 0,9580 | 254,0707  | 0,6964 |
| irafmts21 | 4 | 209,6733  | 113,9783  | 0,5913 | 356,8322  | 0,5195 | 235,4052  | 0,1156 |
| irafmts22 | 0 | 154,8995  | 210,5902  | 0,3047 | 215,2948  | 0,3263 | 212,9425  | 0,3156 |
| irafmts22 | 1 | 214,2780  | 209,6920  | 0,0216 | 310,7719  | 0,3676 | 260,2320  | 0,1937 |
| irafmts22 | 2 | 147,5104  | 222,9581  | 0,4073 | 286,6572  | 0,6410 | 254,8076  | 0,5334 |
| irafmts22 | 3 | 189,8817  | 192,5537  | 0,0140 | 298,9263  | 0,4462 | 245,7400  | 0,2565 |
| irafmts22 | 4 | 172,9100  | 206,1863  | 0,1756 | 315,5862  | 0,5841 | 260,8863  | 0,4056 |

|           |   |           |           |        |           |        |           |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| irafmts23 | 0 | 237,7347  | 277,0615  | 0,1528 | 320,2598  | 0,2958 | 298,6607  | 0,2272 |
| irafmts23 | 1 | 242,2352  | 307,1554  | 0,2363 | 325,7764  | 0,2942 | 316,4659  | 0,2657 |
| irafmts23 | 2 | 274,3155  | 283,9947  | 0,0347 | 323,7711  | 0,1654 | 303,8829  | 0,1023 |
| irafmts23 | 3 | 240,2225  | 362,0683  | 0,4046 | 367,0527  | 0,4177 | 364,5605  | 0,4112 |
| irafmts23 | 4 | 272,5412  | 290,8599  | 0,0650 | 337,7752  | 0,2138 | 314,3175  | 0,1424 |
| irafmts24 | 0 | 212,6613  | 199,5069  | 0,0638 | 187,9158  | 0,1235 | 193,7113  | 0,0933 |
| irafmts24 | 1 | 175,2047  | 205,1450  | 0,1574 | 243,8519  | 0,3276 | 224,4984  | 0,2467 |
| irafmts24 | 2 | 149,4297  | 211,0602  | 0,3419 | 150,3177  | 0,0059 | 180,6890  | 0,1894 |
| irafmts24 | 3 | 157,4498  | 217,0625  | 0,3183 | 57,0330   | 0,9364 | 137,0477  | 0,1386 |
| irafmts24 | 4 | 151,3794  | 223,1314  | 0,3832 | 56,0939   | 0,9185 | 139,6126  | 0,0809 |
| irafmts25 | 0 | 1077,6837 | 1149,4241 | 0,0644 | 944,9575  | 0,1312 | 1047,1908 | 0,0287 |
| irafmts25 | 1 | 1199,2171 | 1178,7539 | 0,0172 | 945,8806  | 0,2362 | 1062,3173 | 0,1211 |
| irafmts25 | 2 | 1169,0670 | 1182,1228 | 0,0111 | 945,6590  | 0,2113 | 1063,8909 | 0,0942 |
| irafmts25 | 3 | 1194,5785 | 1186,8739 | 0,0065 | 949,3204  | 0,2288 | 1068,0972 | 0,1118 |
| irafmts25 | 4 | 1135,9090 | 1194,0790 | 0,0499 | 959,0323  | 0,1689 | 1076,5557 | 0,0537 |
| irafmts26 | 0 | 837,9083  | 1000,9069 | 0,1773 | 882,1111  | 0,0514 | 941,5090  | 0,1164 |
| irafmts26 | 1 | 792,9527  | 883,4370  | 0,1080 | 883,8260  | 0,1084 | 883,6315  | 0,1082 |
| irafmts26 | 2 | 927,0508  | 1062,5502 | 0,1362 | 885,4431  | 0,0459 | 973,9966  | 0,0494 |
| irafmts26 | 3 | 817,9404  | 658,8179  | 0,2155 | 887,0601  | 0,0811 | 772,9390  | 0,0566 |
| irafmts26 | 4 | 919,9077  | 899,2524  | 0,0227 | 888,6772  | 0,0345 | 893,9648  | 0,0286 |
| irafmts27 | 0 | 923,8319  | 1074,4591 | 0,1508 | 1125,6308 | 0,1969 | 1100,0450 | 0,1741 |
| irafmts27 | 1 | 932,5858  | 1092,7803 | 0,1582 | 1133,8713 | 0,1948 | 1113,3258 | 0,1767 |
| irafmts27 | 2 | 955,6474  | 1112,6115 | 0,1518 | 1137,0066 | 0,1733 | 1124,8090 | 0,1626 |
| irafmts27 | 3 | 1091,8009 | 1133,3165 | 0,0373 | 1141,4357 | 0,0445 | 1137,3761 | 0,0409 |
| irafmts27 | 4 | 848,7734  | 1153,1302 | 0,3041 | 1172,8279 | 0,3206 | 1162,9791 | 0,3124 |
| irafmts28 | 0 | 1804,0506 | 1609,8258 | 0,1138 | 1505,4597 | 0,1804 | 1557,6428 | 0,1466 |
| irafmts28 | 1 | 2083,8426 | 1628,4981 | 0,2453 | 1426,4181 | 0,3746 | 1527,4581 | 0,3081 |
| irafmts28 | 2 | 1991,4142 | 1642,8129 | 0,1918 | 1521,2630 | 0,2677 | 1582,0380 | 0,2291 |
| irafmts28 | 3 | 1976,5186 | 1654,5351 | 0,1773 | 1542,2593 | 0,2468 | 1598,3972 | 0,2115 |
| irafmts28 | 4 | 1973,0580 | 1670,0239 | 0,1664 | 1571,1639 | 0,2268 | 1620,5939 | 0,1962 |
| irafmts29 | 0 | 793,9405  | 660,9906  | 0,1828 | 758,5803  | 0,0456 | 709,7854  | 0,1119 |
| irafmts29 | 1 | 800,1900  | 685,9583  | 0,1537 | 795,1201  | 0,0064 | 740,5392  | 0,0774 |
| irafmts29 | 2 | 777,2365  | 604,6321  | 0,2498 | 837,0672  | 0,0741 | 720,8497  | 0,0753 |
| irafmts29 | 3 | 738,1942  | 622,8196  | 0,1695 | 853,6520  | 0,1451 | 738,2358  | 0,0001 |
| irafmts29 | 4 | 807,9414  | 385,8127  | 0,7072 | 853,6520  | 0,0550 | 619,7323  | 0,2637 |
| irafmts30 | 0 | 587,5438  | 534,0384  | 0,0954 | 398,3467  | 0,3838 | 466,1925  | 0,2303 |
| irafmts30 | 1 | 465,6471  | 530,6036  | 0,1304 | 346,3532  | 0,2938 | 438,4784  | 0,0601 |
| irafmts30 | 2 | 535,8887  | 528,6937  | 0,0135 | 898,1989  | 0,5053 | 713,4463  | 0,2842 |
| irafmts30 | 3 | 476,6271  | 528,8790  | 0,1039 | 354,5372  | 0,2938 | 441,7081  | 0,0760 |
| irafmts30 | 4 | 522,9212  | 529,2268  | 0,0120 | 830,8194  | 0,4549 | 680,0231  | 0,2612 |



|           |   |           |           |        |           |        |           |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| irafmts31 | 0 | 310,8309  | 348,3469  | 0,1138 | 358,4581  | 0,1423 | 353,4025  | 0,1282 |
| irafmts31 | 1 | 331,0634  | 355,3487  | 0,0708 | 248,0621  | 0,2866 | 301,7054  | 0,0928 |
| irafmts31 | 2 | 353,5009  | 361,9701  | 0,0237 | 301,1531  | 0,1599 | 331,5616  | 0,0641 |
| irafmts31 | 3 | 302,5798  | 368,3094  | 0,1959 | 274,4980  | 0,0973 | 321,4037  | 0,0603 |
| irafmts31 | 4 | 323,4488  | 374,1852  | 0,1455 | 178,2345  | 0,5789 | 276,2098  | 0,1576 |
| irafmts32 | 0 | 780,5420  | 144,5560  | 1,3750 | 804,9999  | 0,0309 | 474,7780  | 0,4871 |
| irafmts32 | 1 | 748,2242  | 1330,8132 | 0,5604 | 789,1955  | 0,0533 | 1060,0044 | 0,3448 |
| irafmts32 | 2 | 677,2042  | 1921,2734 | 0,9575 | 819,5304  | 0,1902 | 1370,4019 | 0,6771 |
| irafmts32 | 3 | 746,7243  | 2581,8237 | 1,1026 | 819,5304  | 0,0930 | 1700,6770 | 0,7796 |
| irafmts32 | 4 | 736,1639  | 3280,1807 | 1,2668 | 893,3985  | 0,1930 | 2086,7896 | 0,9569 |
| irafmts33 | 0 | 690,7762  | 1005,0888 | 0,3707 | 903,1064  | 0,2664 | 954,0976  | 0,3202 |
| irafmts33 | 1 | 875,7402  | 670,5330  | 0,2654 | 956,5824  | 0,0882 | 813,5577  | 0,0736 |
| irafmts33 | 2 | 697,8108  | 981,5704  | 0,3379 | 1364,3797 | 0,6465 | 1172,9750 | 0,5080 |
| irafmts33 | 3 | 633,8713  | 770,6095  | 0,1947 | 1364,3797 | 0,7311 | 1067,4946 | 0,5097 |
| irafmts33 | 4 | 701,4721  | 960,6399  | 0,3119 | 1498,5285 | 0,7246 | 1229,5842 | 0,5470 |
| irafmts34 | 0 | 1268,7432 | 1185,2808 | 0,0680 | 1027,1917 | 0,2104 | 1106,2363 | 0,1368 |
| irafmts34 | 1 | 1103,1209 | 1119,8243 | 0,0150 | 1027,1917 | 0,0713 | 1073,5080 | 0,0272 |
| irafmts34 | 2 | 1027,1917 | 1060,0424 | 0,0315 | 1098,7383 | 0,0673 | 1079,3904 | 0,0496 |
| irafmts34 | 3 | 1199,4148 | 1003,7413 | 0,1776 | 1094,9990 | 0,0910 | 1049,3701 | 0,1334 |
| irafmts34 | 4 | 1161,7135 | 942,2469  | 0,2086 | 1287,4102 | 0,1026 | 1114,8285 | 0,0412 |
| irafmts35 | 0 | 431,5095  | 359,5337  | 0,1820 | 357,3274  | 0,1881 | 358,4306  | 0,1850 |
| irafmts35 | 1 | 431,1358  | 335,1119  | 0,2506 | 348,2179  | 0,2128 | 341,6649  | 0,2315 |
| irafmts35 | 2 | 416,3038  | 313,8646  | 0,2806 | 349,1397  | 0,1755 | 331,5021  | 0,2268 |
| irafmts35 | 3 | 402,6632  | 294,5260  | 0,3102 | 335,2087  | 0,1828 | 314,8674  | 0,2447 |
| irafmts35 | 4 | 399,7858  | 274,7523  | 0,3707 | 347,9593  | 0,1386 | 311,3558  | 0,2487 |
| irafmts36 | 0 | 447,1225  | 561,3841  | 0,2266 | 539,7482  | 0,1877 | 550,5661  | 0,2074 |
| irafmts36 | 1 | 498,4845  | 583,2746  | 0,1568 | 539,7482  | 0,0795 | 561,5114  | 0,1189 |
| irafmts36 | 2 | 493,3505  | 606,1167  | 0,2051 | 539,7482  | 0,0898 | 572,9325  | 0,1493 |
| irafmts36 | 3 | 470,1890  | 629,5972  | 0,2899 | 539,7482  | 0,1377 | 584,6727  | 0,2171 |
| irafmts36 | 4 | 520,5337  | 651,9089  | 0,2241 | 539,7482  | 0,0362 | 595,8286  | 0,1349 |
| irafmts37 | 0 | 2230,2608 | 1434,9653 | 0,4340 | 1853,1500 | 0,1847 | 1644,0576 | 0,3026 |
| irafmts37 | 1 | 2067,4304 | 1526,2667 | 0,3012 | 2328,7057 | 0,1189 | 1927,4862 | 0,0701 |
| irafmts37 | 2 | 2259,9640 | 1528,6797 | 0,3860 | 2126,3442 | 0,0609 | 1827,5120 | 0,2116 |
| irafmts37 | 3 | 2129,8493 | 1517,2650 | 0,3359 | 2141,6232 | 0,0055 | 1829,4441 | 0,1517 |
| irafmts37 | 4 | 2160,8534 | 1455,0613 | 0,3904 | 2049,7362 | 0,0528 | 1752,3988 | 0,2088 |
| irafmts38 | 0 | 394,6380  | 374,8260  | 0,0515 | 200,6937  | 0,6516 | 287,7599  | 0,3132 |
| irafmts38 | 1 | 321,1458  | 375,2611  | 0,1554 | 173,5421  | 0,5968 | 274,4016  | 0,1570 |
| irafmts38 | 2 | 328,4782  | 379,8899  | 0,1452 | 195,3359  | 0,5084 | 287,6129  | 0,1327 |
| irafmts38 | 3 | 334,0678  | 383,4033  | 0,1375 | 478,5304  | 0,3556 | 430,9668  | 0,2533 |
| irafmts38 | 4 | 377,0383  | 385,5944  | 0,0224 | 191,3414  | 0,6534 | 288,4679  | 0,2662 |

|           |   |           |           |        |           |        |           |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| irafmts39 | 0 | 1475,1626 | 2182,9458 | 0,3870 | 1776,5162 | 0,1854 | 1979,7310 | 0,2921 |
| irafmts39 | 1 | 2015,1664 | 1570,6453 | 0,2479 | 1827,9424 | 0,0974 | 1699,2939 | 0,1701 |
| irafmts39 | 2 | 1296,3312 | 1715,3740 | 0,2783 | 1736,4575 | 0,2902 | 1725,9158 | 0,2843 |
| irafmts39 | 3 | 1309,0420 | 1697,8142 | 0,2586 | 3345,8096 | 0,8751 | 2521,8119 | 0,6332 |
| irafmts39 | 4 | 1902,3870 | 1582,9209 | 0,1833 | 2570,4762 | 0,2987 | 2076,6985 | 0,0876 |
| irafmts40 | 0 | 943,4718  | 888,3595  | 0,0602 | 1011,6902 | 0,0698 | 950,0248  | 0,0069 |
| irafmts40 | 1 | 1100,1523 | 822,1078  | 0,2893 | 942,4576  | 0,1544 | 882,2827  | 0,2198 |
| irafmts40 | 2 | 1093,7022 | 748,6101  | 0,3746 | 1120,5163 | 0,0242 | 934,5632  | 0,1569 |
| irafmts40 | 3 | 975,5409  | 539,4372  | 0,5757 | 975,1559  | 0,0004 | 757,2966  | 0,2519 |
| irafmts40 | 4 | 1107,4261 | 505,7691  | 0,7459 | 793,6514  | 0,3301 | 649,7102  | 0,5210 |
| irafmts41 | 0 | 54,1050   | 39,4231   | 0,3140 | 40,8477   | 0,2792 | 40,1354   | 0,2965 |
| irafmts41 | 1 | 48,8682   | 32,7736   | 0,3943 | 37,3847   | 0,2663 | 35,0791   | 0,3285 |
| irafmts41 | 2 | 52,5236   | 31,0853   | 0,5128 | 33,0780   | 0,4543 | 32,0817   | 0,4832 |
| irafmts41 | 3 | 40,0982   | 29,5386   | 0,3033 | 36,2512   | 0,1008 | 32,8949   | 0,1974 |
| irafmts41 | 4 | 49,7177   | 26,4627   | 0,6105 | 41,2273   | 0,1867 | 33,8450   | 0,3799 |
| irafmts42 | 0 | 1199,8072 | 1452,6488 | 0,1906 | 621,0860  | 0,6356 | 1036,8674 | 0,1457 |
| irafmts42 | 1 | 899,4493  | 1558,0053 | 0,5360 | 885,5083  | 0,0156 | 1221,7568 | 0,3039 |
| irafmts42 | 2 | 931,7772  | 1670,6842 | 0,5679 | 725,9610  | 0,2483 | 1198,3226 | 0,2503 |
| irafmts42 | 3 | 1319,9627 | 1460,6331 | 0,1012 | 587,8310  | 0,7675 | 1024,2320 | 0,2523 |
| irafmts42 | 4 | 1042,0139 | 1691,0112 | 0,4749 | 579,6738  | 0,5702 | 1135,3425 | 0,0857 |
| irafmts43 | 0 | 429,2995  | 518,0073  | 0,1873 | 438,5023  | 0,0212 | 478,2548  | 0,1079 |
| irafmts43 | 1 | 416,7975  | 530,9474  | 0,2409 | 664,0403  | 0,4575 | 597,4938  | 0,3563 |
| irafmts43 | 2 | 446,5729  | 509,4938  | 0,1316 | 608,4198  | 0,3068 | 558,9568  | 0,2235 |
| irafmts43 | 3 | 467,5940  | 567,8674  | 0,1937 | 145,0898  | 1,0528 | 356,4786  | 0,2697 |
| irafmts43 | 4 | 457,1480  | 574,1510  | 0,2269 | 575,1697  | 0,2287 | 574,6603  | 0,2278 |
| irafmts44 | 0 | 111,3806  | 106,8488  | 0,0415 | 103,9051  | 0,0694 | 105,3770  | 0,0554 |
| irafmts44 | 1 | 129,7635  | 104,6595  | 0,2142 | 107,5335  | 0,1874 | 106,0965  | 0,2007 |
| irafmts44 | 2 | 133,6614  | 103,1204  | 0,2580 | 104,1811  | 0,2479 | 103,6508  | 0,2529 |
| irafmts44 | 3 | 131,0829  | 101,5993  | 0,2534 | 103,7989  | 0,2323 | 102,6991  | 0,2428 |
| irafmts44 | 4 | 128,7791  | 100,0752  | 0,2508 | 101,3238  | 0,2386 | 100,6995  | 0,2447 |
| irafmts45 | 0 | 1323,9769 | 1894,5728 | 0,3546 | 1296,4267 | 0,0210 | 1595,4997 | 0,1860 |
| irafmts45 | 1 | 1522,5457 | 1295,9115 | 0,1608 | 1335,9691 | 0,1305 | 1315,9403 | 0,1456 |
| irafmts45 | 2 | 1111,1951 | 1805,9209 | 0,4763 | 1075,7607 | 0,0324 | 1440,8408 | 0,2583 |
| irafmts45 | 3 | 1686,3947 | 1397,6392 | 0,1873 | 1111,1951 | 0,4112 | 1254,4171 | 0,2938 |
| irafmts45 | 4 | 1399,4575 | 1779,7644 | 0,2392 | 1129,5789 | 0,2134 | 1454,6716 | 0,0387 |
| irafmts46 | 0 | 1444,2105 | 998,0144  | 0,3654 | 1132,9566 | 0,2415 | 1065,4855 | 0,3018 |
| irafmts46 | 1 | 1420,0199 | 951,3251  | 0,3953 | 1180,1703 | 0,1845 | 1065,7477 | 0,2850 |
| irafmts46 | 2 | 1513,1810 | 915,4870  | 0,4922 | 1252,2820 | 0,1887 | 1083,8845 | 0,3306 |
| irafmts46 | 3 | 1222,8282 | 808,7598  | 0,4076 | 1566,9179 | 0,2467 | 1187,8389 | 0,0290 |
| irafmts46 | 4 | 1365,6481 | 738,8292  | 0,5957 | 1654,9766 | 0,1916 | 1196,9029 | 0,1317 |

|           |   |                  |                  |        |                  |        |                  |        |
|-----------|---|------------------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| irafmts47 | 0 | 486,4814         | 603,8349         | 0,2153 | 332,0034         | 0,3775 | 467,9192         | 0,0389 |
| irafmts47 | 1 | 583,7087         | 379,4429         | 0,4242 | 474,2499         | 0,2069 | 426,8464         | 0,3104 |
| irafmts47 | 2 | 475,5541         | 227,4754         | 0,7057 | 639,1744         | 0,2936 | 433,3249         | 0,0929 |
| irafmts47 | 3 | 578,3576         | 23,0326          | 1,8468 | 747,7292         | 0,2554 | 385,3809         | 0,4005 |
| irafmts47 | 4 | 525,2638         | -179,3699        | 2,0000 | 813,8534         | 0,4310 | 317,2417         | 0,4938 |
| irafmts48 | 0 | 2185,4293        | 2395,5870        | 0,0918 | 2497,3045        | 0,1332 | 2446,4457        | 0,1127 |
| irafmts48 | 1 | 2333,8788        | 2458,8700        | 0,0522 | 2497,3045        | 0,0677 | 2478,0872        | 0,0599 |
| irafmts48 | 2 | 2107,7667        | 2515,8660        | 0,1765 | 2779,4868        | 0,2749 | 2647,6764        | 0,2271 |
| irafmts48 | 3 | 1917,2341        | 2575,8872        | 0,2932 | 2497,3045        | 0,2628 | 2536,5958        | 0,2781 |
| irafmts48 | 4 | 2497,3045        | 2632,3295        | 0,0526 | 2755,5798        | 0,0983 | 2693,9546        | 0,0758 |
| irafmts49 | 0 | 0,8425           | 0,9047           | 0,0712 | 0,8865           | 0,0509 | 0,8956           | 0,0611 |
| irafmts49 | 1 | 0,8380           | 0,9198           | 0,0930 | 0,8999           | 0,0712 | 0,9098           | 0,0821 |
| irafmts49 | 2 | 0,8518           | 0,9355           | 0,0936 | 0,8996           | 0,0546 | 0,9175           | 0,0743 |
| irafmts49 | 3 | 0,8519           | 0,9513           | 0,1102 | 0,8932           | 0,0474 | 0,9222           | 0,0793 |
| irafmts49 | 4 | 0,8999           | 0,9670           | 0,0719 | 0,8877           | 0,0136 | 0,9274           | 0,0301 |
| irafmts50 | 0 | 0,8888           | 0,8888           | 0,0000 | 0,8287           | 0,0700 | 0,8587           | 0,0344 |
| irafmts50 | 1 | 0,8949           | 0,8924           | 0,0029 | 0,9369           | 0,0458 | 0,9146           | 0,0217 |
| irafmts50 | 2 | 0,8820           | 0,8962           | 0,0160 | 0,8849           | 0,0033 | 0,8905           | 0,0096 |
| irafmts50 | 3 | 0,8791           | 0,9006           | 0,0242 | 0,9410           | 0,0680 | 0,9208           | 0,0463 |
| irafmts50 | 4 | 0,9212           | 0,9044           | 0,0184 | 0,7568           | 0,1959 | 0,8306           | 0,1034 |
| irafmts51 | 0 | 446716<br>9,0300 | 477212<br>4,0774 | 0,0660 | -24457,<br>9143  | 2,0000 | 237383<br>3,0816 | 0,6120 |
| irafmts51 | 1 | 392345<br>1,5600 | 558640<br>1,6563 | 0,3497 | 839788<br>2,9604 | 0,7263 | 699214<br>2,3084 | 0,5623 |
| irafmts51 | 2 | 445125<br>6,3000 | 482669<br>4,1489 | 0,0809 | -7598,<br>6373   | 2,0000 | 240954<br>7,7558 | 0,5952 |
| irafmts51 | 3 | 399472<br>8,0900 | 627944<br>5,7687 | 0,4447 | 351424<br>8,3411 | 0,1280 | 489684<br>7,0549 | 0,2029 |
| irafmts51 | 4 | 399350<br>4,4200 | 529062<br>3,5401 | 0,2794 | 279129,<br>6857  | 1,7387 | 278487<br>6,6129 | 0,3566 |
| irafmts52 | 0 | 206029<br>5,2500 | 153387<br>1,3126 | 0,2929 | 193717<br>3,0599 | 0,0616 | 173552<br>2,1862 | 0,1711 |
| irafmts52 | 1 | 321715<br>2,3600 | 121883<br>5,2935 | 0,9010 | 196129<br>1,9020 | 0,4850 | 159006<br>3,5978 | 0,6769 |
| irafmts52 | 2 | 227783<br>9,8100 | 91320<br>1,1020  | 0,8553 | 184226<br>4,6700 | 0,2114 | 137773<br>2,8860 | 0,4925 |
| irafmts52 | 3 | 259790<br>7,0300 | 61569<br>8,8457  | 1,2336 | 440536<br>8,8182 | 0,5162 | 251053<br>3,8319 | 0,0342 |
| irafmts52 | 4 | 275509<br>8,2000 | 31229<br>9,9236  | 1,5927 | 222572<br>0,3028 | 0,2126 | 126901<br>0,1132 | 0,7386 |
| irafmts53 | 0 | 10256,<br>0000   | 10281,<br>3548   | 0,0025 | 10268,<br>0363   | 0,0012 | 10274,<br>6955   | 0,0018 |
| irafmts53 | 1 | 10277,<br>0000   | 10307,<br>0966   | 0,0029 | 10235,<br>5598   | 0,0040 | 10271,<br>3282   | 0,0006 |

|           |   |                     |                     |        |                     |        |                     |        |
|-----------|---|---------------------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| irafmts53 | 2 | 10244,<br>0000      | 10331,<br>6948      | 0,0085 | 10217,<br>1880      | 0,0026 | 10274,<br>4414      | 0,0030 |
| irafmts53 | 3 | 10238,<br>0000      | 10355,<br>7167      | 0,0114 | 10170,<br>4523      | 0,0066 | 10263,<br>0845      | 0,0024 |
| irafmts53 | 4 | 10212,<br>0000      | 10379,<br>7385      | 0,0163 | 10079,<br>2564      | 0,0131 | 10229,<br>4975      | 0,0017 |
| irafmts54 | 0 | 14823830<br>94,4300 | 14819459<br>20,9151 | 0,0003 | 14794567<br>95,0719 | 0,0020 | 14807013<br>57,9935 | 0,0011 |
| irafmts54 | 1 | 14810621<br>77,5000 | 14829309<br>19,1697 | 0,0013 | 14783736<br>39,4122 | 0,0018 | 14806522<br>79,2910 | 0,0003 |
| irafmts54 | 2 | 14828232<br>52,4900 | 14877608<br>09,8699 | 0,0033 | 14777438<br>16,6700 | 0,0034 | 14827523<br>13,2700 | 0,0000 |
| irafmts54 | 3 | 14825018<br>50,9500 | 14921933<br>22,2121 | 0,0065 | 14768085<br>62,8969 | 0,0038 | 14845009<br>42,5545 | 0,0013 |
| irafmts54 | 4 | 14813813<br>18,6200 | 14966258<br>34,5543 | 0,0102 | 14730569<br>22,7768 | 0,0056 | 14848413<br>78,6656 | 0,0023 |
| irafmts55 | 0 | 14823830<br>94,4300 | 14824600<br>30,0303 | 0,0001 | 14860946<br>45,8289 | 0,0025 | 14842773<br>37,9296 | 0,0013 |
| irafmts55 | 1 | 14810621<br>77,5000 | 14825411<br>01,5738 | 0,0010 | 14807935<br>77,2658 | 0,0002 | 14816673<br>39,4198 | 0,0004 |
| irafmts55 | 2 | 14828232<br>52,4900 | 14826221<br>73,1172 | 0,0001 | 14664463<br>55,3151 | 0,0111 | 14745342<br>64,2162 | 0,0056 |
| irafmts55 | 3 | 14825018<br>50,9500 | 14827032<br>44,6607 | 0,0001 | 14663582<br>50,2565 | 0,0109 | 14745307<br>47,4586 | 0,0054 |
| irafmts55 | 4 | 14813813<br>18,6200 | 14827843<br>16,2042 | 0,0009 | 14666173<br>42,2962 | 0,0100 | 14747008<br>29,2502 | 0,0045 |
| irafmts56 | 0 | 163,0000            | 134,9624            | 0,1882 | 258,1783            | 0,4520 | 196,5704            | 0,1867 |
| irafmts56 | 1 | 187,0000            | 116,0970            | 0,4679 | 402,1744            | 0,7304 | 259,1357            | 0,3234 |
| irafmts56 | 2 | 250,0000            | 100,8421            | 0,8503 | 328,5407            | 0,2715 | 214,6914            | 0,1520 |
| irafmts56 | 3 | 221,0000            | 80,1525             | 0,9354 | 160,5095            | 0,3171 | 120,3310            | 0,5899 |
| irafmts56 | 4 | 133,0000            | 60,3176             | 0,7519 | 81,6442             | 0,4785 | 70,9809             | 0,6081 |
| irafmts57 | 0 | 10405,<br>0000      | 7744,5917           | 0,2932 | 8924,0000           | 0,1532 | 8334,2958           | 0,2210 |
| irafmts57 | 1 | 11066,<br>0000      | 6647,3927           | 0,4989 | 8924,0000           | 0,2143 | 7785,6963           | 0,3480 |
| irafmts57 | 2 | 9772,<br>0000       | 5124,4176           | 0,6240 | 15035,1253          | 0,4243 | 10079,7715          | 0,0310 |
| irafmts57 | 3 | 11019,<br>0000      | 3640,2013           | 1,0067 | 11735,1570          | 0,0629 | 7687,6792           | 0,3562 |
| irafmts57 | 4 | 9017,<br>0000       | 2251,1109           | 1,2009 | 35686,0602          | 1,1932 | 18968,5856          | 0,7112 |
| irafmts58 | 0 | 456,0000            | 677,5964            | 0,3910 | 589,1707            | 0,2548 | 633,3836            | 0,3257 |
| irafmts58 | 1 | 565,0000            | 547,7307            | 0,0310 | 456,0000            | 0,2135 | 501,8654            | 0,1184 |
| irafmts58 | 2 | 475,0000            | 436,7736            | 0,0839 | 456,0000            | 0,0408 | 446,3868            | 0,0621 |
| irafmts58 | 3 | 557,0000            | 325,2494            | 0,5254 | 456,0000            | 0,1994 | 390,6247            | 0,3511 |
| irafmts58 | 4 | 548,0000            | 213,9727            | 0,8767 | 456,0000            | 0,1833 | 334,9864            | 0,4825 |

|           |   |            |            |        |            |        |            |        |
|-----------|---|------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| irafmts59 | 0 | 35176,0000 | 36141,4877 | 0,0271 | 18258,4937 | 0,6332 | 27199,9907 | 0,2557 |
| irafmts59 | 1 | 34609,0000 | 34841,1025 | 0,0067 | 29713,7774 | 0,1522 | 32277,4400 | 0,0697 |
| irafmts59 | 2 | 36950,0000 | 33514,2204 | 0,0975 | 7006,3456  | 1,3624 | 20260,2830 | 0,5835 |
| irafmts59 | 3 | 34830,0000 | 32146,0043 | 0,0801 | 34220,8447 | 0,0176 | 33183,4245 | 0,0484 |
| irafmts59 | 4 | 36871,0000 | 30851,6256 | 0,1778 | 4827,0638  | 1,5370 | 17839,3447 | 0,6957 |
| irafmts60 | 0 | 81395,0000 | 70288,8353 | 0,1464 | 79370,3708 | 0,0252 | 74829,6030 | 0,0841 |
| irafmts60 | 1 | 79799,0000 | 73066,4502 | 0,0881 | 80913,1014 | 0,0139 | 76989,7758 | 0,0358 |
| irafmts60 | 2 | 95174,0000 | 72806,2420 | 0,2663 | 79780,4204 | 0,1760 | 76293,3312 | 0,2202 |
| irafmts60 | 3 | 70811,0000 | 72773,1623 | 0,0273 | 81121,9217 | 0,1357 | 76947,5420 | 0,0831 |
| irafmts60 | 4 | 68351,0000 | 72742,5378 | 0,0623 | 80049,2826 | 0,1577 | 76395,9102 | 0,1112 |
| irafmts61 | 0 | 4431,0000  | 4785,4852  | 0,0769 | 3754,6158  | 0,1653 | 4270,0505  | 0,0370 |
| irafmts61 | 1 | 4681,0000  | 4796,4040  | 0,0244 | 3438,1804  | 0,3061 | 4117,2922  | 0,1281 |
| irafmts61 | 2 | 4559,0000  | 4930,2139  | 0,0782 | 3243,7505  | 0,3371 | 4086,9822  | 0,1092 |
| irafmts61 | 3 | 4810,0000  | 4957,0433  | 0,0301 | 2897,7410  | 0,4962 | 3927,3921  | 0,2020 |
| irafmts61 | 4 | 3989,0000  | 4998,1543  | 0,2246 | 2561,0935  | 0,4360 | 3779,6239  | 0,0539 |
| irafmts62 | 0 | 322,0000   | 283,7251   | 0,1264 | 292,0000   | 0,0977 | 287,8625   | 0,1120 |
| irafmts62 | 1 | 305,0000   | 296,3121   | 0,0289 | 292,0000   | 0,0436 | 294,1560   | 0,0362 |
| irafmts62 | 2 | 400,0000   | 252,9988   | 0,4502 | 520,3218   | 0,2615 | 386,6603   | 0,0339 |
| irafmts62 | 3 | 472,0000   | 261,4328   | 0,5742 | 473,5173   | 0,0032 | 367,4750   | 0,2490 |
| irafmts62 | 4 | 430,0000   | 229,2388   | 0,6091 | 493,0458   | 0,1366 | 361,1423   | 0,1741 |
| irafmts63 | 0 | 549,0000   | 521,4544   | 0,0515 | 503,9874   | 0,0855 | 512,7209   | 0,0683 |
| irafmts63 | 1 | 581,0000   | 480,8346   | 0,1887 | 448,5848   | 0,2572 | 464,7097   | 0,2224 |
| irafmts63 | 2 | 536,0000   | 443,0008   | 0,1900 | 582,1665   | 0,0826 | 512,5837   | 0,0447 |
| irafmts63 | 3 | 478,0000   | 396,8498   | 0,1855 | 651,0849   | 0,3066 | 523,9674   | 0,0918 |
| irafmts63 | 4 | 508,0000   | 370,1359   | 0,3140 | 777,2198   | 0,4189 | 573,6778   | 0,1214 |
| irafmts64 | 0 | 406,0000   | 266,7311   | 0,4140 | 316,0586   | 0,2491 | 291,3949   | 0,3287 |
| irafmts64 | 1 | 343,0000   | 252,8964   | 0,3024 | 262,8045   | 0,2648 | 257,8505   | 0,2834 |
| irafmts64 | 2 | 355,0000   | 231,9717   | 0,4192 | 261,2479   | 0,3043 | 246,6098   | 0,3603 |
| irafmts64 | 3 | 352,0000   | 207,0547   | 0,5185 | 277,2717   | 0,2375 | 242,1632   | 0,3697 |
| irafmts64 | 4 | 286,0000   | 187,3283   | 0,4169 | 294,6530   | 0,0298 | 240,9906   | 0,1708 |
| irafmts65 | 0 | 13221,0000 | 15965,3838 | 0,1881 | 15554,1962 | 0,1622 | 15759,7900 | 0,1752 |
| irafmts65 | 1 | 12026,0000 | 15467,3323 | 0,2503 | 15117,9193 | 0,2278 | 15292,6258 | 0,2392 |

|           |   |                    |                    |        |                    |        |                    |        |
|-----------|---|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| irafmts65 | 2 | 13012,<br>0000     | 16265,<br>0197     | 0,2222 | 15899,<br>1702     | 0,1997 | 16082,<br>0950     | 0,2110 |
| irafmts65 | 3 | 13489,<br>0000     | 15825,<br>5792     | 0,1594 | 14731,<br>5648     | 0,0881 | 15278,<br>5720     | 0,1244 |
| irafmts65 | 4 | 9915,<br>0000      | 16984,<br>1975     | 0,5256 | 14427,<br>5545     | 0,3708 | 15705,<br>8760     | 0,4520 |
| irafmts66 | 0 | 44189,<br>0000     | 50294,<br>1862     | 0,1292 | 39713,<br>2426     | 0,1067 | 45003,<br>7144     | 0,0183 |
| irafmts66 | 1 | 47709,<br>0000     | 48947,<br>4773     | 0,0256 | 69238,<br>7544     | 0,3682 | 59093,<br>1158     | 0,2132 |
| irafmts66 | 2 | 44886,<br>0000     | 43881,<br>7809     | 0,0226 | 66367,<br>4604     | 0,3862 | 55124,<br>6206     | 0,2048 |
| irafmts66 | 3 | 45536,<br>0000     | 47350,<br>1796     | 0,0391 | 66366,<br>4617     | 0,3723 | 56858,<br>3207     | 0,2212 |
| irafmts66 | 4 | 45629,<br>0000     | 42608,<br>8668     | 0,0685 | 66525,<br>8572     | 0,3726 | 54567,<br>3620     | 0,1784 |
| irafmts68 | 0 | 25113,<br>0000     | 29770,<br>0379     | 0,1697 | 25212,<br>8068     | 0,0040 | 27491,<br>4223     | 0,0904 |
| irafmts68 | 1 | 23835,<br>0000     | 28366,<br>6371     | 0,1736 | 24813,<br>4772     | 0,0402 | 26590,<br>0572     | 0,1093 |
| irafmts68 | 2 | 25457,<br>0000     | 26909,<br>2251     | 0,0555 | 22749,<br>7864     | 0,1123 | 24829,<br>5057     | 0,0250 |
| irafmts68 | 3 | 25426,<br>0000     | 25429,<br>4652     | 0,0001 | 21636,<br>2340     | 0,1611 | 23532,<br>8496     | 0,0773 |
| irafmts68 | 4 | 20148,<br>0000     | 23884,<br>7813     | 0,1697 | 20148,<br>0000     | 0,0000 | 22016,<br>3906     | 0,0886 |
| irafmts69 | 0 | 25113,<br>0000     | 29709,<br>0812     | 0,1677 | 31578,<br>6354     | 0,2281 | 30643,<br>8583     | 0,1984 |
| irafmts69 | 1 | 23835,<br>0000     | 28217,<br>3223     | 0,1684 | 33713,<br>0286     | 0,3433 | 30965,<br>1755     | 0,2602 |
| irafmts69 | 2 | 25457,<br>0000     | 26713,<br>4559     | 0,0482 | 33051,<br>3316     | 0,2596 | 29882,<br>3938     | 0,1599 |
| irafmts69 | 3 | 25426,<br>0000     | 25185,<br>4404     | 0,0095 | 35456,<br>7504     | 0,3295 | 30321,<br>0954     | 0,1756 |
| irafmts69 | 4 | 20148,<br>0000     | 23617,<br>0402     | 0,1585 | 39156,<br>7201     | 0,6411 | 31386,<br>8801     | 0,4362 |
| irafmts70 | 0 | 1153246<br>54,8500 | 1052379<br>79,7596 | 0,0915 | 1015627<br>97,6425 | 0,1269 | 1034003<br>88,7010 | 0,1090 |
| irafmts70 | 1 | 1083110<br>62,2240 | 1026220<br>06,9996 | 0,0539 | 969402<br>58,0840  | 0,1108 | 997811<br>32,5418  | 0,0820 |
| irafmts70 | 2 | 969402<br>58,0840  | 1000060<br>34,2396 | 0,0311 | 969402<br>58,0840  | 0,0000 | 984731<br>46,1618  | 0,0157 |
| irafmts70 | 3 | 1034131<br>35,1900 | 973900<br>61,4797  | 0,0600 | 969402<br>58,0840  | 0,0646 | 971651<br>59,7818  | 0,0623 |
| irafmts70 | 4 | 1081979<br>99,5700 | 947740<br>88,7197  | 0,1323 | 969402<br>58,0840  | 0,1098 | 958571<br>73,4019  | 0,1210 |
| irafmts71 | 0 | 7984610<br>,9700   | 64060<br>13,8615   | 0,2194 | 79131<br>77,0940   | 0,0090 | 71595<br>95,4778   | 0,1090 |

|           |   |                   |                   |        |                   |        |                   |        |
|-----------|---|-------------------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|
| irafmts71 | 1 | 8362348<br>,9260  | 41736<br>68,8746  | 0,6683 | 103554<br>70,6107 | 0,2130 | 72645<br>69,7426  | 0,1405 |
| irafmts71 | 2 | 8356513<br>,4520  | 32108<br>87,7451  | 0,8897 | 118483<br>50,2905 | 0,3456 | 75296<br>19,0178  | 0,1041 |
| irafmts71 | 3 | 8593656<br>,9240  | 22162<br>24,6631  | 1,1799 | 126599<br>71,5926 | 0,3826 | 74380<br>98,1278  | 0,1442 |
| irafmts71 | 4 | 8362499<br>,2920  | 12980<br>46,2333  | 1,4625 | 132509<br>94,5934 | 0,4524 | 72745<br>20,4133  | 0,1392 |
| irafmts72 | 0 | 207252<br>26,8200 | 225280<br>03,0860 | 0,0834 | 249837<br>32,4444 | 0,1863 | 237558<br>67,7652 | 0,1363 |
| irafmts72 | 1 | 210406<br>87,7400 | 221009<br>38,8651 | 0,0492 | 227698<br>41,3058 | 0,0789 | 224353<br>90,0854 | 0,0642 |
| irafmts72 | 2 | 184612<br>42,9500 | 214553<br>91,0147 | 0,1500 | 213473<br>20,7015 | 0,1450 | 214013<br>55,8581 | 0,1475 |
| irafmts72 | 3 | 233051<br>00,6100 | 208137<br>34,3259 | 0,1129 | 193933<br>66,7194 | 0,1832 | 201035<br>50,5226 | 0,1475 |
| irafmts72 | 4 | 208502<br>63,3500 | 201724<br>12,9503 | 0,0330 | 197419<br>74,9566 | 0,0546 | 199571<br>93,9535 | 0,0438 |

Таблица В.2 – Прогнозирование ВР методом экспоненциального сглаживания

| Ряд       | Поз. | Факт.<br>знач. | Прогноз.<br>знач.<br>методом | SMAPE  | Прогноз.<br>знач.<br>энтропией | SMAPE  | Прогноз.<br>знач.<br>усред. | SMAPE  |
|-----------|------|----------------|------------------------------|--------|--------------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| irafmts01 | 0    | 1611,9430      | 182,5721                     | 1,5930 | 1627,4659                      | 0,0096 | 905,0190                    | 0,5617 |
| irafmts01 | 1    | 1600,2299      | -177,1777                    | 2,0000 | 1626,1231                      | 0,0161 | 724,4727                    | 0,7534 |
| irafmts01 | 2    | 1665,0009      | 171,6004                     | 1,6263 | 1627,3741                      | 0,0229 | 899,4873                    | 0,5970 |
| irafmts01 | 3    | 1554,9669      | -166,7566                    | 2,0000 | 1626,2054                      | 0,0448 | 729,7244                    | 0,7224 |
| irafmts01 | 4    | 1592,1673      | 161,7293                     | 1,6312 | 1627,2944                      | 0,0218 | 894,5118                    | 0,5611 |
| irafmts02 | 0    | 700,4858       | 88,7717                      | 1,5501 | 716,6021                       | 0,0227 | 402,6869                    | 0,5399 |
| irafmts02 | 1    | 733,5106       | -86,1857                     | 2,0000 | 716,5648                       | 0,0234 | 315,1896                    | 0,7978 |
| irafmts02 | 2    | 724,6577       | 83,5080                      | 1,5867 | 716,6048                       | 0,0112 | 400,0564                    | 0,5772 |
| irafmts02 | 3    | 729,6662       | -81,1846                     | 2,0000 | 716,5621                       | 0,0181 | 317,6887                    | 0,7867 |
| irafmts02 | 4    | 738,6399       | 78,7692                      | 1,6145 | 716,6074                       | 0,0303 | 397,6883                    | 0,6001 |
| irafmts03 | 0    | 776,2585       | 154,4752                     | 1,3361 | 825,0773                       | 0,0610 | 489,7763                    | 0,4526 |
| irafmts03 | 1    | 800,7731       | -150,0209                    | 2,0000 | 821,8021                       | 0,0259 | 335,8906                    | 0,8180 |
| irafmts03 | 2    | 793,9910       | 145,4033                     | 1,3809 | 824,9152                       | 0,0382 | 485,1593                    | 0,4829 |
| irafmts03 | 3    | 737,5494       | -141,3988                    | 2,0000 | 821,9466                       | 0,1082 | 340,2739                    | 0,7372 |
| irafmts03 | 4    | 758,5038       | 137,2312                     | 1,3872 | 824,7715                       | 0,0837 | 481,0013                    | 0,4478 |
| irafmts04 | 0    | 859,7410       | 92,1727                      | 1,6127 | 874,8628                       | 0,0174 | 483,5177                    | 0,5602 |
| irafmts04 | 1    | 894,1693       | -89,4967                     | 2,0000 | 886,0811                       | 0,0091 | 398,2922                    | 0,7673 |
| irafmts04 | 2    | 931,1489       | 86,7250                      | 1,6592 | 875,1813                       | 0,0620 | 480,9531                    | 0,6376 |
| irafmts04 | 3    | 901,8027       | -84,3205                     | 2,0000 | 885,2903                       | 0,0185 | 400,4849                    | 0,7699 |
| irafmts04 | 4    | 982,9558       | 81,8200                      | 1,6926 | 875,4656                       | 0,1157 | 478,6428                    | 0,6901 |

|           |   |          |           |        |          |        |          |        |
|-----------|---|----------|-----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| irafmts05 | 0 | 529,7807 | 74,8855   | 1,5046 | 536,9158 | 0,0134 | 305,9006 | 0,5358 |
| irafmts05 | 1 | 529,2861 | -72,7045  | 2,0000 | 533,8237 | 0,0085 | 230,5596 | 0,7863 |
| irafmts05 | 2 | 532,8159 | 70,4459   | 1,5329 | 536,7951 | 0,0074 | 303,6205 | 0,5480 |
| irafmts05 | 3 | 527,5356 | -68,4861  | 2,0000 | 533,9299 | 0,0120 | 232,7219 | 0,7756 |
| irafmts05 | 4 | 522,8133 | 66,4487   | 1,5489 | 536,6874 | 0,0262 | 301,5680 | 0,5368 |
| irafmts06 | 0 | 937,8954 | 174,2761  | 1,3732 | 978,0494 | 0,0419 | 576,1628 | 0,4778 |
| irafmts06 | 1 | 952,2965 | -169,3263 | 2,0000 | 979,8394 | 0,0285 | 405,2565 | 0,8059 |
| irafmts06 | 2 | 952,3498 | 164,1865  | 1,4118 | 978,2034 | 0,0268 | 571,1949 | 0,5004 |
| irafmts06 | 3 | 875,6237 | -159,7334 | 2,0000 | 979,7002 | 0,1122 | 409,9834 | 0,7244 |
| irafmts06 | 4 | 902,9423 | 155,0910  | 1,4137 | 978,3371 | 0,0802 | 566,7140 | 0,4576 |
| irafmts07 | 0 | 517,9209 | 55,4409   | 1,6132 | 519,9884 | 0,0040 | 287,7147 | 0,5715 |
| irafmts07 | 1 | 522,2113 | -53,8282  | 2,0000 | 522,2384 | 0,0001 | 234,2051 | 0,7615 |
| irafmts07 | 2 | 526,9157 | 52,1582   | 1,6397 | 520,0780 | 0,0131 | 286,1181 | 0,5923 |
| irafmts07 | 3 | 528,6013 | -50,7093  | 2,0000 | 522,1592 | 0,0123 | 235,7250 | 0,7664 |
| irafmts07 | 4 | 540,9352 | 49,2029   | 1,6665 | 520,1584 | 0,0392 | 284,6806 | 0,6208 |
| irafmts08 | 0 | 498,7571 | 61,4549   | 1,5612 | 495,3734 | 0,0068 | 278,4142 | 0,5670 |
| irafmts08 | 1 | 488,4240 | -59,6503  | 2,0000 | 491,9698 | 0,0072 | 216,1598 | 0,7728 |
| irafmts08 | 2 | 485,1312 | 57,7833   | 1,5743 | 495,2246 | 0,0206 | 276,5039 | 0,5478 |
| irafmts08 | 3 | 478,5853 | -56,1623  | 2,0000 | 492,1016 | 0,0278 | 217,9697 | 0,7483 |
| irafmts08 | 4 | 494,2438 | 54,4787   | 1,6029 | 495,0922 | 0,0017 | 274,7854 | 0,5707 |
| irafmts09 | 0 | 488,7110 | 100,7738  | 1,3162 | 521,7259 | 0,0653 | 311,2499 | 0,4437 |
| irafmts09 | 1 | 467,6615 | -97,8624  | 2,0000 | 518,7595 | 0,1036 | 210,4485 | 0,7586 |
| irafmts09 | 2 | 481,5658 | 94,8448   | 1,3418 | 521,5781 | 0,0798 | 308,2115 | 0,4390 |
| irafmts09 | 3 | 491,4956 | -92,2276  | 2,0000 | 518,8912 | 0,0542 | 213,3318 | 0,7893 |
| irafmts09 | 4 | 454,4260 | 89,5043   | 1,3418 | 521,4471 | 0,1374 | 305,4757 | 0,3920 |
| irafmts10 | 0 | 13,8990  | 2,4972    | 1,3908 | 14,2949  | 0,0281 | 8,3960   | 0,4937 |
| irafmts10 | 1 | 13,4235  | -2,4269   | 2,0000 | 15,2464  | 0,1272 | 6,4098   | 0,7073 |
| irafmts10 | 2 | 14,3938  | 2,3537    | 1,4378 | 14,3014  | 0,0064 | 8,3276   | 0,5340 |
| irafmts10 | 3 | 13,2235  | -2,2904   | 2,0000 | 15,2384  | 0,1416 | 6,4740   | 0,6853 |
| irafmts10 | 4 | 12,3295  | 2,2244    | 1,3887 | 14,3072  | 0,1485 | 8,2658   | 0,3946 |
| irafmts11 | 0 | 499,0152 | 70,2382   | 1,5065 | 504,2842 | 0,0105 | 287,2612 | 0,5386 |
| irafmts11 | 1 | 508,5669 | -68,2114  | 2,0000 | 504,9497 | 0,0071 | 218,3692 | 0,7984 |
| irafmts11 | 2 | 498,9509 | 66,1104   | 1,5320 | 504,3127 | 0,0107 | 285,2115 | 0,5451 |
| irafmts11 | 3 | 499,1270 | -64,2884  | 2,0000 | 504,9245 | 0,0115 | 220,3180 | 0,7751 |
| irafmts11 | 4 | 509,9074 | 62,3924   | 1,5639 | 504,3380 | 0,0110 | 283,3652 | 0,5712 |
| irafmts12 | 0 | 431,3766 | 48,1044   | 1,5987 | 434,8880 | 0,0081 | 241,4962 | 0,5644 |
| irafmts12 | 1 | 453,1480 | -46,6833  | 2,0000 | 431,6823 | 0,0485 | 192,4995 | 0,8074 |
| irafmts12 | 2 | 437,5645 | 45,2139   | 1,6254 | 434,6928 | 0,0066 | 239,9533 | 0,5833 |
| irafmts12 | 3 | 438,2370 | -43,9376  | 2,0000 | 431,7839 | 0,0148 | 193,9232 | 0,7729 |
| irafmts12 | 4 | 478,4305 | 42,6129   | 1,6729 | 434,5186 | 0,0962 | 238,5657 | 0,6691 |



|           |   |           |           |        |           |        |           |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| irafmts13 | 0 | 923,0195  | 116,4969  | 1,5517 | 1025,9789 | 0,1057 | 571,2379  | 0,4708 |
| irafmts13 | 1 | 948,1170  | -113,1122 | 2,0000 | 1031,2030 | 0,0840 | 459,0454  | 0,6951 |
| irafmts13 | 2 | 1099,7367 | 109,6064  | 1,6375 | 1026,2306 | 0,0692 | 567,9185  | 0,6378 |
| irafmts13 | 3 | 926,5209  | -106,5645 | 2,0000 | 1030,9792 | 0,1067 | 462,2073  | 0,6687 |
| irafmts13 | 4 | 927,7032  | 103,4014  | 1,5989 | 1026,4536 | 0,1011 | 564,9275  | 0,4861 |
| irafmts14 | 0 | 1478,6763 | 199,7589  | 1,5239 | 1598,8986 | 0,0781 | 899,3287  | 0,4873 |
| irafmts14 | 1 | 1429,3655 | -193,7156 | 2,0000 | 1533,9874 | 0,0706 | 670,1359  | 0,7232 |
| irafmts14 | 2 | 1598,8986 | 187,4819  | 1,5802 | 1596,2534 | 0,0017 | 891,8676  | 0,5677 |
| irafmts14 | 3 | 1467,4412 | -182,0589 | 2,0000 | 1536,3233 | 0,0459 | 677,1322  | 0,7370 |
| irafmts14 | 4 | 1450,1343 | 176,4440  | 1,5661 | 1593,8910 | 0,0945 | 885,1675  | 0,4838 |
| irafmts15 | 0 | 1006,1186 | 246,5976  | 1,2126 | 1570,2238 | 0,4379 | 908,4107  | 0,1021 |
| irafmts15 | 1 | 1256,9931 | -239,5292 | 2,0000 | 1569,4273 | 0,2211 | 664,9490  | 0,6161 |
| irafmts15 | 2 | 1226,4236 | 232,1973  | 1,3632 | 1570,2866 | 0,2459 | 901,2420  | 0,3057 |
| irafmts15 | 3 | 1178,1902 | -225,8419 | 2,0000 | 1569,3672 | 0,2847 | 671,7626  | 0,5475 |
| irafmts15 | 4 | 1422,9438 | 219,2234  | 1,4660 | 1570,3398 | 0,0985 | 894,7816  | 0,4558 |
| irafmts16 | 0 | 1946,8470 | 213,0860  | 1,6054 | 1898,5043 | 0,0251 | 1055,7951 | 0,5935 |
| irafmts16 | 1 | 1614,0270 | -206,7170 | 2,0000 | 1837,9996 | 0,1298 | 815,6413  | 0,6572 |
| irafmts16 | 2 | 1778,4380 | 200,1393  | 1,5954 | 1896,1666 | 0,0641 | 1048,1530 | 0,5167 |
| irafmts16 | 3 | 1854,0471 | -194,4216 | 2,0000 | 1840,0579 | 0,0076 | 822,8182  | 0,7705 |
| irafmts16 | 4 | 1977,2296 | 188,4940  | 1,6519 | 1894,0747 | 0,0430 | 1041,2843 | 0,6201 |
| irafmts17 | 0 | 854,5822  | 111,7871  | 1,5373 | 732,8042  | 0,1534 | 422,2956  | 0,6771 |
| irafmts17 | 1 | 874,5111  | -108,6220 | 2,0000 | 731,1622  | 0,1786 | 311,2701  | 0,9500 |
| irafmts17 | 2 | 961,2867  | 105,3347  | 1,6050 | 732,8078  | 0,2697 | 419,0712  | 0,7856 |
| irafmts17 | 3 | 783,8628  | -102,4877 | 2,0000 | 731,1556  | 0,0696 | 314,3340  | 0,8551 |
| irafmts17 | 4 | 813,1105  | 99,5188   | 1,5638 | 732,8088  | 0,1039 | 416,1638  | 0,6458 |
| irafmts18 | 0 | 749,4569  | 173,1659  | 1,2492 | 963,5345  | 0,2499 | 568,3502  | 0,2749 |
| irafmts18 | 1 | 1002,5844 | -168,0069 | 2,0000 | 935,1069  | 0,0696 | 383,5500  | 0,8932 |
| irafmts18 | 2 | 787,0749  | 162,6773  | 1,3149 | 962,4337  | 0,2005 | 562,5555  | 0,3327 |
| irafmts18 | 3 | 927,0222  | -158,0457 | 2,0000 | 936,0757  | 0,0097 | 389,0150  | 0,8176 |
| irafmts18 | 4 | 949,5780  | 153,2426  | 1,4442 | 961,4497  | 0,0124 | 557,3461  | 0,5206 |
| irafmts19 | 0 | 1455,2727 | 165,7608  | 1,5910 | 1458,0336 | 0,0019 | 811,8972  | 0,5676 |
| irafmts19 | 1 | 1701,1906 | -160,9423 | 2,0000 | 1477,3292 | 0,1409 | 658,1934  | 0,8841 |
| irafmts19 | 2 | 1555,4982 | 155,9517  | 1,6355 | 1458,9472 | 0,0641 | 807,4494  | 0,6331 |
| irafmts19 | 3 | 1559,3833 | -151,6217 | 2,0000 | 1476,5168 | 0,0546 | 662,4475  | 0,8074 |
| irafmts19 | 4 | 1590,7304 | 147,1194  | 1,6614 | 1459,7583 | 0,0859 | 803,4389  | 0,6577 |
| irafmts20 | 0 | 1246,9804 | 153,9469  | 1,5604 | 1507,8726 | 0,1894 | 830,9098  | 0,4005 |
| irafmts20 | 1 | 1367,5300 | -149,7314 | 2,0000 | 1549,6547 | 0,1249 | 699,9617  | 0,6458 |
| irafmts20 | 2 | 1416,0481 | 145,3374  | 1,6277 | 1509,2372 | 0,0637 | 827,2873  | 0,5249 |
| irafmts20 | 3 | 1515,4932 | -141,5410 | 2,0000 | 1547,9544 | 0,0212 | 703,2067  | 0,7322 |
| irafmts20 | 4 | 1545,8891 | 137,5673  | 1,6731 | 1510,4528 | 0,0232 | 824,0101  | 0,6092 |

|           |   |           |           |        |           |        |          |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|
| irafmts21 | 0 | 126,8759  | 40,6962   | 1,0286 | 196,2444  | 0,4294 | 118,4703 | 0,0685 |
| irafmts21 | 1 | 204,1721  | -39,4616  | 2,0000 | 191,3189  | 0,0650 | 75,9286  | 0,9157 |
| irafmts21 | 2 | 202,2417  | 38,1884   | 1,3647 | 196,0443  | 0,0311 | 117,1164 | 0,5331 |
| irafmts21 | 3 | 122,8385  | -37,0806  | 2,0000 | 191,4955  | 0,4368 | 77,2074  | 0,4562 |
| irafmts21 | 4 | 209,6733  | 35,9339   | 1,4148 | 195,8657  | 0,0681 | 115,8998 | 0,5761 |
| irafmts22 | 0 | 154,8995  | 28,2962   | 1,3822 | 223,0019  | 0,3604 | 125,6490 | 0,2085 |
| irafmts22 | 1 | 214,2780  | -27,5295  | 2,0000 | 225,8961  | 0,0528 | 99,1833  | 0,7343 |
| irafmts22 | 2 | 147,5104  | 26,7294   | 1,3864 | 223,1365  | 0,4081 | 124,9330 | 0,1657 |
| irafmts22 | 3 | 189,8817  | -26,0386  | 2,0000 | 225,7764  | 0,1727 | 99,8689  | 0,6213 |
| irafmts22 | 4 | 172,9100  | 25,3147   | 1,4892 | 223,2563  | 0,2542 | 124,2855 | 0,3272 |
| irafmts23 | 0 | 237,7347  | 49,7787   | 1,3075 | 335,1027  | 0,3399 | 192,4407 | 0,2106 |
| irafmts23 | 1 | 242,2352  | -48,2131  | 2,0000 | 304,0228  | 0,2262 | 127,9048 | 0,6178 |
| irafmts23 | 2 | 274,3155  | 46,6044   | 1,4191 | 333,8777  | 0,1959 | 190,2411 | 0,3620 |
| irafmts23 | 3 | 240,2225  | -45,2014  | 2,0000 | 304,9829  | 0,2376 | 129,8908 | 0,5962 |
| irafmts23 | 4 | 272,5412  | 43,7546   | 1,4467 | 332,7861  | 0,1990 | 188,2704 | 0,3657 |
| irafmts24 | 0 | 212,6613  | 20,0671   | 1,6551 | 192,7694  | 0,0981 | 106,4183 | 0,6659 |
| irafmts24 | 1 | 175,2047  | -19,4758  | 2,0000 | 193,8818  | 0,1012 | 87,2030  | 0,6707 |
| irafmts24 | 2 | 149,4297  | 18,8643   | 1,5516 | 192,8349  | 0,2536 | 105,8496 | 0,3414 |
| irafmts24 | 3 | 157,4498  | -18,3333  | 2,0000 | 193,8230  | 0,2071 | 87,7449  | 0,5686 |
| irafmts24 | 4 | 151,3794  | 17,7819   | 1,5795 | 192,8927  | 0,2412 | 105,3373 | 0,3587 |
| irafmts25 | 0 | 1077,6837 | 119,4163  | 1,6010 | 1174,2400 | 0,0858 | 646,8282 | 0,4997 |
| irafmts25 | 1 | 1199,2171 | -116,0627 | 2,0000 | 1194,5195 | 0,0039 | 539,2284 | 0,7593 |
| irafmts25 | 2 | 1169,0670 | 112,5768  | 1,6486 | 1175,1529 | 0,0052 | 643,8648 | 0,5794 |
| irafmts25 | 3 | 1194,5785 | -109,5598 | 2,0000 | 1193,7092 | 0,0007 | 542,0747 | 0,7514 |
| irafmts25 | 4 | 1135,9090 | 106,4109  | 1,6574 | 1175,9655 | 0,0347 | 641,1882 | 0,5568 |
| irafmts26 | 0 | 837,9083  | 96,7664   | 1,5859 | 854,9004  | 0,0201 | 475,8334 | 0,5512 |
| irafmts26 | 1 | 792,9527  | -94,1013  | 2,0000 | 879,9440  | 0,1040 | 392,9214 | 0,6747 |
| irafmts26 | 2 | 927,0508  | 91,3247   | 1,6413 | 855,5447  | 0,0802 | 473,4347 | 0,6478 |
| irafmts26 | 3 | 817,9404  | -88,9245  | 2,0000 | 879,4969  | 0,0725 | 395,2862 | 0,6967 |
| irafmts26 | 4 | 919,9077  | 86,4136   | 1,6565 | 856,1170  | 0,0718 | 471,2653 | 0,6450 |
| irafmts27 | 0 | 923,8319  | 189,3717  | 1,3195 | 1112,8196 | 0,1856 | 651,0957 | 0,3463 |
| irafmts27 | 1 | 932,5858  | -183,7806 | 2,0000 | 1090,7700 | 0,1564 | 453,4947 | 0,6913 |
| irafmts27 | 2 | 955,6474  | 177,9989  | 1,3719 | 1111,9834 | 0,1512 | 644,9912 | 0,3882 |
| irafmts27 | 3 | 1091,8009 | -172,9771 | 2,0000 | 1091,5502 | 0,0002 | 459,2865 | 0,8156 |
| irafmts27 | 4 | 848,7734  | 167,7641  | 1,3399 | 1111,1934 | 0,2678 | 639,4787 | 0,2813 |
| irafmts28 | 0 | 1804,0506 | 177,1124  | 1,6424 | 1599,9827 | 0,1199 | 888,5475 | 0,6800 |
| irafmts28 | 1 | 2083,8426 | -172,0682 | 2,0000 | 1588,1889 | 0,2700 | 708,0604 | 0,9856 |
| irafmts28 | 2 | 1991,4142 | 166,8325  | 1,6908 | 1599,7666 | 0,2181 | 883,2996 | 0,7709 |
| irafmts28 | 3 | 1976,5186 | -162,2962 | 2,0000 | 1588,3679 | 0,2178 | 713,0358 | 0,9395 |
| irafmts28 | 4 | 1973,0580 | 157,5688  | 1,7042 | 1599,5639 | 0,2091 | 878,5663 | 0,7676 |

|           |   |           |           |        |           |        |          |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|
| irafmts29 | 0 | 793,9405  | 108,8821  | 1,5176 | 740,0541  | 0,0703 | 424,4681 | 0,6065 |
| irafmts29 | 1 | 800,1900  | -105,6592 | 2,0000 | 729,5617  | 0,0923 | 311,9513 | 0,8780 |
| irafmts29 | 2 | 777,2365  | 102,3274  | 1,5346 | 739,6133  | 0,0496 | 420,9703 | 0,5947 |
| irafmts29 | 3 | 738,1942  | -99,4330  | 2,0000 | 729,9514  | 0,0112 | 315,2592 | 0,8029 |
| irafmts29 | 4 | 807,9414  | 96,4293   | 1,5735 | 739,2204  | 0,0888 | 417,8249 | 0,6365 |
| irafmts30 | 0 | 587,5438  | 94,4539   | 1,4460 | 545,8128  | 0,0736 | 320,1334 | 0,5892 |
| irafmts30 | 1 | 465,6471  | -91,7245  | 2,0000 | 539,4751  | 0,1469 | 223,8753 | 0,7013 |
| irafmts30 | 2 | 535,8887  | 88,8954   | 1,4309 | 545,5840  | 0,0179 | 317,2397 | 0,5126 |
| irafmts30 | 3 | 476,6271  | -86,4416  | 2,0000 | 539,6757  | 0,1241 | 226,6171 | 0,7110 |
| irafmts30 | 4 | 522,9212  | 83,8883   | 1,4470 | 545,3788  | 0,0420 | 314,6335 | 0,4974 |
| irafmts31 | 0 | 310,8309  | 34,2815   | 1,6027 | 332,1897  | 0,0664 | 183,2356 | 0,5165 |
| irafmts31 | 1 | 331,0634  | -33,3042  | 2,0000 | 336,5706  | 0,0165 | 151,6332 | 0,7434 |
| irafmts31 | 2 | 353,5009  | 32,2900   | 1,6652 | 332,3724  | 0,0616 | 182,3312 | 0,6389 |
| irafmts31 | 3 | 302,5798  | -31,4112  | 2,0000 | 336,4091  | 0,1059 | 152,4989 | 0,6596 |
| irafmts31 | 4 | 323,4488  | 30,4956   | 1,6554 | 332,5353  | 0,0277 | 181,5155 | 0,5622 |
| irafmts32 | 0 | 780,5420  | 93,8538   | 1,5707 | 758,8836  | 0,0281 | 426,3687 | 0,5869 |
| irafmts32 | 1 | 748,2242  | -91,0996  | 2,0000 | 757,2507  | 0,0120 | 333,0756 | 0,7679 |
| irafmts32 | 2 | 677,2042  | 88,2499   | 1,5388 | 758,8032  | 0,1136 | 423,5266 | 0,4609 |
| irafmts32 | 3 | 746,7243  | -85,7759  | 2,0000 | 757,3222  | 0,0141 | 335,7731 | 0,7593 |
| irafmts32 | 4 | 736,1639  | 83,2063   | 1,5938 | 758,7321  | 0,0302 | 420,9692 | 0,5448 |
| irafmts33 | 0 | 690,7762  | 139,0451  | 1,3298 | 526,6900  | 0,2696 | 332,8675 | 0,6993 |
| irafmts33 | 1 | 875,7402  | -135,1433 | 2,0000 | 530,1755  | 0,4916 | 197,5161 | 1,2639 |
| irafmts33 | 2 | 697,8108  | 131,0861  | 1,3674 | 526,8715  | 0,2792 | 328,9788 | 0,7184 |
| irafmts33 | 3 | 633,8713  | -127,5738 | 2,0000 | 530,0142  | 0,1785 | 201,2202 | 1,0362 |
| irafmts33 | 4 | 701,4721  | 123,9069  | 1,3995 | 527,0306  | 0,2840 | 325,4688 | 0,7323 |
| irafmts34 | 0 | 1268,7432 | 223,9155  | 1,4000 | 1277,4169 | 0,0068 | 750,6662 | 0,5131 |
| irafmts34 | 1 | 1103,1209 | -217,5477 | 2,0000 | 1264,3090 | 0,1362 | 523,3806 | 0,7129 |
| irafmts34 | 2 | 1027,1917 | 210,9366  | 1,3185 | 1276,9119 | 0,2168 | 743,9243 | 0,3199 |
| irafmts34 | 3 | 1199,4148 | -205,2086 | 2,0000 | 1264,7531 | 0,0530 | 529,7723 | 0,7745 |
| irafmts34 | 4 | 1161,7135 | 199,2379  | 1,4144 | 1276,4608 | 0,0941 | 737,8493 | 0,4463 |
| irafmts35 | 0 | 431,5095  | 57,8137   | 1,5274 | 357,3930  | 0,1879 | 207,6034 | 0,7007 |
| irafmts35 | 1 | 431,1358  | -56,1448  | 2,0000 | 356,2695  | 0,1902 | 150,0624 | 0,9672 |
| irafmts35 | 2 | 416,3038  | 54,4149   | 1,5376 | 357,3460  | 0,1524 | 205,8805 | 0,6764 |
| irafmts35 | 3 | 402,6632  | -52,9147  | 2,0000 | 356,3111  | 0,1221 | 151,6982 | 0,9054 |
| irafmts35 | 4 | 399,7858  | 51,3535   | 1,5447 | 357,3042  | 0,1122 | 204,3288 | 0,6471 |
| irafmts36 | 0 | 447,1225  | 51,6586   | 1,5857 | 530,2107  | 0,1700 | 290,9347 | 0,4232 |
| irafmts36 | 1 | 498,4845  | -50,1820  | 2,0000 | 539,2775  | 0,0786 | 244,5477 | 0,6835 |
| irafmts36 | 2 | 493,3505  | 48,6499   | 1,6410 | 530,6768  | 0,0729 | 289,6633 | 0,5203 |
| irafmts36 | 3 | 470,1890  | -47,3221  | 2,0000 | 538,8619  | 0,1361 | 245,7699 | 0,6269 |
| irafmts36 | 4 | 520,5337  | 45,9388   | 1,6756 | 531,0888  | 0,0201 | 288,5138 | 0,5736 |

|           |   |           |           |        |           |        |           |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| irafmts37 | 0 | 2230,2608 | 348,0783  | 1,4600 | 2328,7057 | 0,0432 | 1338,3920 | 0,4998 |
| irafmts37 | 1 | 2067,4304 | -336,6070 | 2,0000 | 2100,7245 | 0,0160 | 882,0587  | 0,8038 |
| irafmts37 | 2 | 2259,9640 | 324,8718  | 1,4973 | 2318,3275 | 0,0255 | 1321,5997 | 0,5240 |
| irafmts37 | 3 | 2129,8493 | -314,6074 | 2,0000 | 2107,1711 | 0,0107 | 896,2819  | 0,8153 |
| irafmts37 | 4 | 2160,8534 | 304,0716  | 1,5066 | 2309,0724 | 0,0663 | 1306,5720 | 0,4927 |
| irafmts38 | 0 | 394,6380  | 43,7276   | 1,6010 | 357,8822  | 0,0977 | 200,8049  | 0,6511 |
| irafmts38 | 1 | 321,1458  | -42,4679  | 2,0000 | 359,8433  | 0,1137 | 158,6877  | 0,6771 |
| irafmts38 | 2 | 328,4782  | 41,1620   | 1,5546 | 357,9685  | 0,0859 | 199,5652  | 0,4883 |
| irafmts38 | 3 | 334,0678  | -40,0296  | 2,0000 | 359,7668  | 0,0741 | 159,8686  | 0,7054 |
| irafmts38 | 4 | 377,0383  | 38,8511   | 1,6263 | 358,0455  | 0,0517 | 198,4483  | 0,6207 |
| irafmts39 | 0 | 1475,1626 | 257,8399  | 1,4049 | 1590,9481 | 0,0755 | 924,3940  | 0,4591 |
| irafmts39 | 1 | 2015,1664 | -250,9216 | 2,0000 | 1564,1717 | 0,2520 | 656,6250  | 1,0170 |
| irafmts39 | 2 | 1296,3312 | 243,6925  | 1,3670 | 1589,9510 | 0,2035 | 916,8218  | 0,3430 |
| irafmts39 | 3 | 1309,0420 | -237,4541 | 2,0000 | 1565,0469 | 0,1781 | 663,7964  | 0,6541 |
| irafmts39 | 4 | 1902,3870 | 230,9078  | 1,5670 | 1589,0589 | 0,1795 | 909,9834  | 0,7057 |
| irafmts40 | 0 | 943,4718  | 91,4577   | 1,6465 | 808,1270  | 0,1545 | 449,7923  | 0,7087 |
| irafmts40 | 1 | 1100,1523 | -89,0354  | 2,0000 | 832,2638  | 0,2773 | 371,6142  | 0,9900 |
| irafmts40 | 2 | 1093,7022 | 86,5011   | 1,7068 | 809,2521  | 0,2990 | 447,8766  | 0,8379 |
| irafmts40 | 3 | 975,5409  | -84,3167  | 2,0000 | 831,2639  | 0,1597 | 373,4736  | 0,8926 |
| irafmts40 | 4 | 1107,4261 | 82,0213   | 1,7242 | 810,2519  | 0,3099 | 446,1366  | 0,8513 |
| irafmts41 | 0 | 54,1050   | 7,3485    | 1,5217 | 39,9636   | 0,3007 | 23,6561   | 0,7831 |
| irafmts41 | 1 | 48,8682   | -7,1233   | 2,0000 | 38,8122   | 0,2294 | 15,8445   | 1,0206 |
| irafmts41 | 2 | 52,5236   | 6,8912    | 1,5361 | 39,9172   | 0,2727 | 23,4042   | 0,7670 |
| irafmts41 | 3 | 40,0982   | -6,6891   | 2,0000 | 38,8532   | 0,0315 | 16,0821   | 0,8550 |
| irafmts41 | 4 | 49,7177   | 6,4802    | 1,5388 | 39,8757   | 0,2197 | 23,1779   | 0,7282 |
| irafmts42 | 0 | 1199,8072 | 166,2435  | 1,5132 | 1336,4493 | 0,1078 | 751,3464  | 0,4597 |
| irafmts42 | 1 | 899,4493  | -161,7388 | 2,0000 | 1365,2836 | 0,4114 | 601,7724  | 0,3966 |
| irafmts42 | 2 | 931,7772  | 157,0373  | 1,4231 | 1337,8751 | 0,3579 | 747,4562  | 0,2195 |
| irafmts42 | 3 | 1319,9627 | -152,9776 | 2,0000 | 1364,1480 | 0,0329 | 605,5852  | 0,7420 |
| irafmts42 | 4 | 1042,0139 | 148,7228  | 1,5004 | 1339,0991 | 0,2495 | 743,9109  | 0,3338 |
| irafmts43 | 0 | 429,2995  | 51,0724   | 1,5747 | 519,2475  | 0,1897 | 285,1599  | 0,4035 |
| irafmts43 | 1 | 416,7975  | -49,5867  | 2,0000 | 514,4763  | 0,2098 | 232,4448  | 0,5679 |
| irafmts43 | 2 | 446,5729  | 48,0481   | 1,6114 | 519,0951  | 0,1502 | 283,5716  | 0,4465 |
| irafmts43 | 3 | 467,5940  | -46,7132  | 2,0000 | 514,6087  | 0,0957 | 233,9477  | 0,6661 |
| irafmts43 | 4 | 457,1480  | 45,3255   | 1,6392 | 518,9579  | 0,1266 | 282,1417  | 0,4734 |
| irafmts44 | 0 | 111,3806  | 14,7227   | 1,5330 | 101,5095  | 0,0927 | 58,1161   | 0,6285 |
| irafmts44 | 1 | 129,7635  | -14,3022  | 2,0000 | 102,0575  | 0,2390 | 43,8777   | 0,9892 |
| irafmts44 | 2 | 133,6614  | 13,8658   | 1,6240 | 101,5337  | 0,2732 | 57,6997   | 0,7939 |
| irafmts44 | 3 | 131,0829  | -13,4876  | 2,0000 | 102,0361  | 0,2492 | 44,2742   | 0,9901 |
| irafmts44 | 4 | 128,7791  | 13,0936   | 1,6308 | 101,5551  | 0,2364 | 57,3244   | 0,7679 |

|           |   |                  |                  |        |                  |        |                  |        |
|-----------|---|------------------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| irafmts45 | 0 | 1323,9769        | 226,1438         | 1,4164 | 1201,4376        | 0,0970 | 713,7907         | 0,5989 |
| irafmts45 | 1 | 1522,5457        | -220,2080        | 2,0000 | 1256,9957        | 0,1911 | 518,3938         | 0,9840 |
| irafmts45 | 2 | 1111,1951        | 213,9912         | 1,3541 | 1203,9769        | 0,0802 | 708,9841         | 0,4419 |
| irafmts45 | 3 | 1686,3947        | -208,6360        | 2,0000 | 1254,7400        | 0,2935 | 523,0520         | 1,0531 |
| irafmts45 | 4 | 1399,4575        | 203,0028         | 1,4933 | 1206,2364        | 0,1483 | 704,6196         | 0,6605 |
| irafmts46 | 0 | 1444,2105        | 219,7851         | 1,4717 | 1258,9282        | 0,1371 | 739,3566         | 0,6456 |
| irafmts46 | 1 | 1420,0199        | -213,6485        | 2,0000 | 1264,4729        | 0,1159 | 525,4122         | 0,9197 |
| irafmts46 | 2 | 1513,1810        | 207,2646         | 1,5181 | 1259,2729        | 0,1832 | 733,2688         | 0,6944 |
| irafmts46 | 3 | 1222,8282        | -201,7401        | 2,0000 | 1264,1632        | 0,0332 | 531,2116         | 0,7886 |
| irafmts46 | 4 | 1365,6481        | 195,9694         | 1,4980 | 1259,5763        | 0,0808 | 727,7728         | 0,6094 |
| irafmts47 | 0 | 486,4814         | 54,1848          | 1,5991 | 478,2548         | 0,0171 | 266,2198         | 0,5853 |
| irafmts47 | 1 | 583,7087         | -52,8961         | 2,0000 | 498,3891         | 0,1577 | 222,7465         | 0,8952 |
| irafmts47 | 2 | 475,5541         | 51,5303          | 1,6089 | 479,1250         | 0,0075 | 265,3276         | 0,5675 |
| irafmts47 | 3 | 578,3576         | -50,3625         | 2,0000 | 497,5859         | 0,1501 | 223,6117         | 0,8847 |
| irafmts47 | 4 | 525,2638         | 49,1190          | 1,6579 | 479,8998         | 0,0903 | 264,5094         | 0,6603 |
| irafmts48 | 0 | 2185,4293        | 280,6529         | 1,5448 | 2423,3226        | 0,1032 | 1351,9877        | 0,4712 |
| irafmts48 | 1 | 2333,8788        | -272,0717        | 2,0000 | 2356,6475        | 0,0097 | 1042,2879        | 0,7651 |
| irafmts48 | 2 | 2107,7667        | 263,2300         | 1,5559 | 2420,6372        | 0,1382 | 1341,9336        | 0,4440 |
| irafmts48 | 3 | 1917,2341        | -255,5334        | 2,0000 | 2359,0160        | 0,2066 | 1051,7413        | 0,5830 |
| irafmts48 | 4 | 2497,3045        | 247,5737         | 1,6392 | 2418,2404        | 0,0322 | 1332,9070        | 0,6080 |
| irafmts49 | 0 | 0,8425           | -0,0467          | 2,0000 | 0,8476           | 0,0060 | 0,4004           | 0,7113 |
| irafmts49 | 1 | 0,8380           | 0,0441           | 1,8002 | 0,8508           | 0,0152 | 0,4475           | 0,6077 |
| irafmts49 | 2 | 0,8518           | -0,0421          | 2,0000 | 0,8482           | 0,0042 | 0,4031           | 0,7152 |
| irafmts49 | 3 | 0,8519           | 0,0396           | 1,8225 | 0,8503           | 0,0019 | 0,4449           | 0,6276 |
| irafmts49 | 4 | 0,8999           | -0,0377          | 2,0000 | 0,8486           | 0,0587 | 0,4054           | 0,7576 |
| irafmts50 | 0 | 0,8888           | -0,0656          | 2,0000 | 0,8215           | 0,0787 | 0,3780           | 0,8065 |
| irafmts50 | 1 | 0,8949           | 0,0590           | 1,7526 | 0,8333           | 0,0713 | 0,4461           | 0,6693 |
| irafmts50 | 2 | 0,8820           | -0,0545          | 2,0000 | 0,8240           | 0,0680 | 0,3848           | 0,7850 |
| irafmts50 | 3 | 0,8791           | 0,0498           | 1,7854 | 0,8314           | 0,0558 | 0,4406           | 0,6645 |
| irafmts50 | 4 | 0,9212           | -0,0466          | 2,0000 | 0,8253           | 0,1098 | 0,3894           | 0,8116 |
| irafmts51 | 0 | 4467169,<br>0300 | 811699,<br>4532  | 1,3849 | 5027644,<br>5554 | 0,1181 | 2919672,<br>0043 | 0,4190 |
| irafmts51 | 1 | 3923451,<br>5600 | -759047,<br>2652 | 2,0000 | 4850696,<br>4854 | 0,2114 | 2045824,<br>6101 | 0,6291 |
| irafmts51 | 2 | 4451256,<br>3000 | 707990,<br>4332  | 1,4511 | 5011439,<br>9821 | 0,1184 | 2859715,<br>2076 | 0,4354 |
| irafmts51 | 3 | 3994728,<br>0900 | -665911,<br>6268 | 2,0000 | 4864218,<br>8026 | 0,1963 | 2099153,<br>5879 | 0,6221 |
| irafmts51 | 4 | 3993504,<br>4200 | 624675,<br>4210  | 1,4589 | 4998660,<br>6647 | 0,2236 | 2811668,<br>0428 | 0,3473 |
| irafmts52 | 0 | 2060295,<br>2500 | 537193,<br>6601  | 1,1727 | 2678738,<br>6455 | 0,2610 | 1607966,<br>1528 | 0,2466 |

|           |   |                     |                     |        |                     |        |                    |        |
|-----------|---|---------------------|---------------------|--------|---------------------|--------|--------------------|--------|
| irafmts52 | 1 | 3217152,<br>3600    | -507508,<br>0997    | 2,0000 | 2749851,<br>4532    | 0,1566 | 1121171,<br>6767   | 0,9663 |
| irafmts52 | 2 | 2277839,<br>8100    | 478132,<br>1735     | 1,3060 | 2683818,<br>4789    | 0,1636 | 1580975,<br>3262   | 0,3612 |
| irafmts52 | 3 | 2597907,<br>0300    | -454110,<br>1969    | 2,0000 | 2745630,<br>4651    | 0,0553 | 1145760,<br>1341   | 0,7758 |
| irafmts52 | 4 | 2755098,<br>2000    | 430049,<br>4014     | 1,4599 | 2687940,<br>0308    | 0,0247 | 1558994,<br>7161   | 0,5545 |
| irafmts53 | 0 | 10256,0000          | 1364,3618           | 1,5304 | 10274,5550          | 0,0018 | 5819,4584          | 0,5520 |
| irafmts53 | 1 | 10277,0000          | -1277,3112          | 2,0000 | 10271,1452          | 0,0006 | 4496,9170          | 0,7825 |
| irafmts53 | 2 | 10244,0000          | 1192,7020           | 1,5829 | 10274,4043          | 0,0030 | 5733,5532          | 0,5646 |
| irafmts53 | 3 | 10238,0000          | -1123,4758          | 2,0000 | 10271,2651          | 0,0032 | 4573,8947          | 0,7648 |
| irafmts53 | 4 | 10212,0000          | 1055,3849           | 1,6253 | 10274,2778          | 0,0061 | 5664,8313          | 0,5728 |
| irafmts54 | 0 | 14823830<br>94,4300 | 1804577<br>42,3617  | 1,5659 | 14821806<br>70,9879 | 0,0001 | 8313192<br>06,6748 | 0,5628 |
| irafmts54 | 1 | 14810621<br>77,5000 | -1701982<br>20,7708 | 2,0000 | 14819076<br>77,3783 | 0,0006 | 6558547<br>28,3038 | 0,7723 |
| irafmts54 | 2 | 14828232<br>52,4900 | 1601023<br>74,3068  | 1,6102 | 14821851<br>06,1192 | 0,0004 | 8211437<br>40,2130 | 0,5744 |
| irafmts54 | 3 | 14825018<br>50,9500 | -1517361<br>60,2199 | 2,0000 | 14819030<br>84,9051 | 0,0004 | 6650834<br>62,3426 | 0,7612 |
| irafmts54 | 4 | 14813813<br>18,6200 | 1434218<br>07,6934  | 1,6469 | 14821873<br>26,4763 | 0,0005 | 8128045<br>67,0849 | 0,5828 |
| irafmts55 | 0 | 14823830<br>94,4300 | 2798358<br>18,2844  | 1,3648 | 14821731<br>89,6568 | 0,0001 | 8810045<br>03,9706 | 0,5089 |
| irafmts55 | 1 | 14810621<br>77,5000 | -2248832<br>22,6043 | 2,0000 | 14819763<br>18,6589 | 0,0006 | 6285465<br>48,0273 | 0,8082 |
| irafmts55 | 2 | 14828232<br>52,4900 | 1828184<br>87,2588  | 1,5610 | 14821277<br>20,4682 | 0,0005 | 8324731<br>03,8635 | 0,5618 |
| irafmts55 | 3 | 14825018<br>50,9500 | -1551618<br>40,8771 | 2,0000 | 14820061<br>75,4704 | 0,0003 | 6634221<br>67,2967 | 0,7634 |
| irafmts55 | 4 | 14813813<br>18,6200 | 1323507<br>60,6025  | 1,6719 | 14821042<br>58,1062 | 0,0005 | 8072275<br>09,3543 | 0,5891 |
| irafmts56 | 0 | 163,0000            | -33,2302            | 2,0000 | 158,6974            | 0,0267 | 62,7336            | 0,8884 |
| irafmts56 | 1 | 187,0000            | 31,0191             | 1,4309 | 160,6942            | 0,1513 | 95,8567            | 0,6444 |
| irafmts56 | 2 | 250,0000            | -29,2364            | 2,0000 | 158,9441            | 0,4453 | 64,8539            | 1,1761 |
| irafmts56 | 3 | 221,0000            | 27,4774             | 1,5577 | 160,4747            | 0,3173 | 93,9760            | 0,8066 |
| irafmts56 | 4 | 133,0000            | -26,0553            | 2,0000 | 159,1223            | 0,1788 | 66,5335            | 0,6662 |
| irafmts57 | 0 | 10405,0000          | -4339,1779          | 2,0000 | 8924,0000           | 0,1532 | 2292,4110          | 1,2778 |
| irafmts57 | 1 | 11066,0000          | 3947,8548           | 0,9482 | 9387,5686           | 0,1641 | 6667,7117          | 0,4960 |
| irafmts57 | 2 | 9772,0000           | -3645,2367          | 2,0000 | 8973,0706           | 0,0852 | 2663,9170          | 1,1432 |
| irafmts57 | 3 | 11019,0000          | 3356,7792           | 1,0660 | 9342,8625           | 0,1646 | 6349,8208          | 0,5377 |
| irafmts57 | 4 | 9017,0000           | -3131,9790          | 2,0000 | 9008,3262           | 0,0010 | 2938,1736          | 1,0169 |
| irafmts58 | 0 | 456,0000            | -249,6850           | 2,0000 | 789,6825            | 0,5357 | 269,9988           | 0,5124 |
| irafmts58 | 1 | 565,0000            | 221,9477            | 0,8719 | 759,6126            | 0,2938 | 490,7801           | 0,1406 |

|           |   |            |            |        |            |        |            |        |
|-----------|---|------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| irafmts58 | 2 | 475,0000   | -201,6222  | 2,0000 | 787,0031   | 0,4945 | 292,6905   | 0,4750 |
| irafmts58 | 3 | 557,0000   | 182,7927   | 1,0117 | 762,1351   | 0,3110 | 472,4639   | 0,1642 |
| irafmts58 | 4 | 548,0000   | -168,7812  | 2,0000 | 785,1051   | 0,3557 | 308,1619   | 0,5603 |
| irafmts59 | 0 | 35176,0000 | -5378,5092 | 2,0000 | 36336,3289 | 0,0325 | 15478,9098 | 0,7777 |
| irafmts59 | 1 | 34609,0000 | 5042,6653  | 1,4913 | 37247,3266 | 0,0734 | 21144,9959 | 0,4830 |
| irafmts59 | 2 | 36950,0000 | -4770,1685 | 2,0000 | 36408,5478 | 0,0148 | 15819,1896 | 0,8009 |
| irafmts59 | 3 | 34830,0000 | 4498,7951  | 1,5424 | 37178,7069 | 0,0652 | 20838,7510 | 0,5027 |
| irafmts59 | 4 | 36871,0000 | -4278,1208 | 2,0000 | 36465,3489 | 0,0111 | 16093,6141 | 0,7846 |
| irafmts60 | 0 | 81395,0000 | -2875,2013 | 2,0000 | 73415,7912 | 0,1031 | 35270,2949 | 0,7907 |
| irafmts60 | 1 | 79799,0000 | 2759,8007  | 1,8663 | 73870,8607 | 0,0772 | 38315,3307 | 0,7024 |
| irafmts60 | 2 | 95174,0000 | -2664,2279 | 2,0000 | 73438,8063 | 0,2578 | 35387,2892 | 0,9158 |
| irafmts60 | 3 | 70811,0000 | 2564,1571  | 1,8602 | 73847,8645 | 0,0420 | 38206,0108 | 0,5982 |
| irafmts60 | 4 | 68351,0000 | -2481,3082 | 2,0000 | 73458,3402 | 0,0720 | 35488,5160 | 0,6329 |
| irafmts61 | 0 | 4431,0000  | -483,1798  | 2,0000 | 3751,7567  | 0,1660 | 1634,2885  | 0,9222 |
| irafmts61 | 1 | 4681,0000  | 458,9168   | 1,6429 | 3788,1274  | 0,2109 | 2123,5221  | 0,7517 |
| irafmts61 | 2 | 4559,0000  | -438,8666  | 2,0000 | 3754,1756  | 0,1936 | 1657,6545  | 0,9334 |
| irafmts61 | 3 | 4810,0000  | 418,4733   | 1,6799 | 3785,7855  | 0,2383 | 2102,1294  | 0,7835 |
| irafmts61 | 4 | 3989,0000  | -401,6108  | 2,0000 | 3756,1538  | 0,0601 | 1677,2715  | 0,8160 |
| irafmts62 | 0 | 322,0000   | -63,2848   | 2,0000 | 354,7733   | 0,0969 | 145,7442   | 0,7536 |
| irafmts62 | 1 | 305,0000   | 60,2846    | 1,3399 | 347,7073   | 0,1309 | 203,9959   | 0,3969 |
| irafmts62 | 2 | 400,0000   | -57,8146   | 2,0000 | 354,2813   | 0,1212 | 148,2333   | 0,9185 |
| irafmts62 | 3 | 472,0000   | 55,2793    | 1,5806 | 348,2776   | 0,3017 | 201,7784   | 0,8021 |
| irafmts62 | 4 | 430,0000   | -53,1915   | 2,0000 | 353,8831   | 0,1942 | 150,3458   | 0,9638 |
| irafmts63 | 0 | 549,0000   | 154,7599   | 1,1204 | 566,1378   | 0,0307 | 360,4488   | 0,4146 |
| irafmts63 | 1 | 581,0000   | -143,7584  | 2,0000 | 560,1324   | 0,0366 | 208,1870   | 0,9448 |
| irafmts63 | 2 | 536,0000   | 133,1981   | 1,2038 | 565,3404   | 0,0533 | 349,2692   | 0,4219 |
| irafmts63 | 3 | 478,0000   | -124,7011  | 2,0000 | 560,7864   | 0,1594 | 218,0426   | 0,7470 |
| irafmts63 | 4 | 508,0000   | 116,4222   | 1,2542 | 564,7472   | 0,1058 | 340,5847   | 0,3946 |
| irafmts64 | 0 | 406,0000   | -36,0415   | 2,0000 | 315,1982   | 0,2518 | 139,5783   | 0,9767 |
| irafmts64 | 1 | 343,0000   | 34,3238    | 1,6361 | 318,8145   | 0,0731 | 176,5691   | 0,6406 |
| irafmts64 | 2 | 355,0000   | -32,9086   | 2,0000 | 315,3525   | 0,1183 | 141,2219   | 0,8616 |
| irafmts64 | 3 | 352,0000   | 31,4570    | 1,6719 | 318,6559   | 0,0994 | 175,0564   | 0,6714 |
| irafmts64 | 4 | 286,0000   | -30,2607   | 2,0000 | 315,4845   | 0,0980 | 142,6119   | 0,6691 |
| irafmts65 | 0 | 13221,0000 | -964,6421  | 2,0000 | 14984,2155 | 0,1250 | 7009,7867  | 0,6140 |
| irafmts65 | 1 | 12026,0000 | 921,9392   | 1,7152 | 15134,0684 | 0,2289 | 8028,0038  | 0,3987 |
| irafmts65 | 2 | 13012,0000 | -886,3911  | 2,0000 | 14993,5121 | 0,1415 | 7053,5605  | 0,5939 |
| irafmts65 | 3 | 13489,0000 | 849,8037   | 1,7629 | 15125,0179 | 0,1144 | 7987,4108  | 0,5123 |
| irafmts65 | 4 | 9915,0000  | -819,3468  | 2,0000 | 15001,2275 | 0,4083 | 7090,9403  | 0,3321 |
| irafmts66 | 0 | 44189,0000 | -4804,8839 | 2,0000 | 40426,2639 | 0,0889 | 17810,6900 | 0,8509 |
| irafmts66 | 1 | 47709,0000 | 4551,7086  | 1,6516 | 41472,0578 | 0,1399 | 23011,8832 | 0,6984 |

|           |   |                    |                    |        |                    |        |                   |        |
|-----------|---|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|-------------------|--------|
| irafmts66 | 2 | 44886,0000         | -4342,9918         | 2,0000 | 40500,1056         | 0,1027 | 18078,5569        | 0,8515 |
| irafmts66 | 3 | 45536,0000         | 4131,6981          | 1,6673 | 41400,9886         | 0,0951 | 22766,3434        | 0,6667 |
| irafmts66 | 4 | 45629,0000         | -3957,3515         | 2,0000 | 40559,9880         | 0,1176 | 18301,3183        | 0,8549 |
| irafmts67 | 0 | 44752,0000         | 15587,9972         | 0,9667 | 65324,5682         | 0,3738 | 40456,2827        | 0,1008 |
| irafmts67 | 1 | 43407,0000         | -13862,9895        | 2,0000 | 70497,5996         | 0,4757 | 28317,3051        | 0,4208 |
| irafmts67 | 2 | 47858,0000         | 12325,4314         | 1,1808 | 66197,5220         | 0,3216 | 39261,4767        | 0,1974 |
| irafmts67 | 3 | 44714,0000         | -11181,4037        | 2,0000 | 70115,4451         | 0,4424 | 29467,0207        | 0,4111 |
| irafmts67 | 4 | 32323,0000         | 10126,3213         | 1,0458 | 66772,0391         | 0,6953 | 38449,1802        | 0,1731 |
| irafmts68 | 0 | 25113,0000         | -6305,5425         | 2,0000 | 26151,4970         | 0,0405 | 9922,9772         | 0,8671 |
| irafmts68 | 1 | 23835,0000         | 5620,2953          | 1,2368 | 26220,2882         | 0,0953 | 15920,2918        | 0,3982 |
| irafmts68 | 2 | 25457,0000         | -5117,2110         | 2,0000 | 26165,9758         | 0,0275 | 10524,3824        | 0,8300 |
| irafmts68 | 3 | 25426,0000         | 4648,1676          | 1,3818 | 26208,4184         | 0,0303 | 15428,2930        | 0,4894 |
| irafmts68 | 4 | 20148,0000         | -4298,6191         | 2,0000 | 26174,9005         | 0,2602 | 10938,1407        | 0,5925 |
| irafmts69 | 0 | 25113,0000         | -7480,8502         | 2,0000 | 30053,8106         | 0,1791 | 11286,4802        | 0,7597 |
| irafmts69 | 1 | 23835,0000         | 7122,7762          | 1,0797 | 31089,6841         | 0,2642 | 19106,2301        | 0,2202 |
| irafmts69 | 2 | 25457,0000         | -6823,3995         | 2,0000 | 30121,4406         | 0,1679 | 11649,0205        | 0,7442 |
| irafmts69 | 3 | 25426,0000         | 6518,9922          | 1,1837 | 31024,0978         | 0,1983 | 18771,5450        | 0,3011 |
| irafmts69 | 4 | 20148,0000         | -6264,3948         | 2,0000 | 30177,5164         | 0,3986 | 11956,5608        | 0,5103 |
| irafmts70 | 0 | 1153246<br>54,8500 | 19088469,<br>3333  | 1,4319 | 1078055<br>51,7045 | 0,0674 | 63447010,<br>5189 | 0,5804 |
| irafmts70 | 1 | 1083110<br>62,2240 | -17297593,<br>5621 | 2,0000 | 1077970<br>00,7647 | 0,0048 | 45249703,<br>6013 | 0,8213 |
| irafmts70 | 2 | 969402<br>58,0840  | 15648690,<br>9686  | 1,4440 | 1078136<br>48,0027 | 0,1062 | 61731169,<br>4857 | 0,4438 |
| irafmts70 | 3 | 1034131<br>35,1900 | -14373608,<br>6115 | 2,0000 | 1077906<br>62,6803 | 0,0415 | 46708527,<br>0344 | 0,7554 |
| irafmts70 | 4 | 1081979<br>99,5700 | 13171840,<br>9297  | 1,5659 | 1078183<br>83,0333 | 0,0035 | 60495111,<br>9815 | 0,5656 |
| irafmts71 | 0 | 79846<br>10,9700   | 2757105,<br>0902   | 0,9733 | 8893716,<br>1942   | 0,1077 | 5825410,<br>6422  | 0,3127 |
| irafmts71 | 1 | 83623<br>48,9260   | -2501723,<br>1344  | 2,0000 | 8683925,<br>5892   | 0,0377 | 3091101,<br>2274  | 0,9205 |
| irafmts71 | 2 | 83565<br>13,4520   | 2266041,<br>9915   | 1,1467 | 8862691,<br>6520   | 0,0588 | 5564366,<br>8217  | 0,4011 |
| irafmts71 | 3 | 85936<br>56,9240   | -2083785,<br>1011  | 2,0000 | 8708110,<br>4395   | 0,0132 | 3312162,<br>6692  | 0,8872 |
| irafmts71 | 4 | 83624<br>99,2920   | 1911598,<br>0786   | 1,2558 | 8841361,<br>4613   | 0,0557 | 5376479,<br>7700  | 0,4347 |
| irafmts72 | 0 | 207252<br>26,8200  | 4604454,<br>5299   | 1,2729 | 228937<br>90,5257  | 0,0994 | 13749122,<br>5278 | 0,4047 |
| irafmts72 | 1 | 210406<br>87,7400  | -4173108,<br>9127  | 2,0000 | 236261<br>48,0099  | 0,1158 | 9726519,<br>5486  | 0,7355 |



|           |   |                   |                   |        |                   |        |                   |        |
|-----------|---|-------------------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|
| irafmts72 | 2 | 184612<br>42,9500 | 3775880,<br>4825  | 1,3208 | 229885<br>80,0892 | 0,2184 | 13382230,<br>2858 | 0,3190 |
| irafmts72 | 3 | 233051<br>00,6100 | -3468729,<br>9616 | 2,0000 | 235522<br>33,4289 | 0,0105 | 10041751,<br>7337 | 0,7955 |
| irafmts72 | 4 | 208502<br>63,3500 | 3179172,<br>2930  | 1,4708 | 230550<br>45,2646 | 0,1004 | 13117108,<br>7788 | 0,4553 |

Таблица В.3 – Прогнозирование ВР с помощью нейронной сети

| Ряд       | Поз. | Факт.<br>знач. | Прогноз.<br>знач.<br>методом | SMAPЕ  | Прогноз.<br>знач.<br>энтропией | SMAPЕ  | Прогноз.<br>знач.<br>усред. | SMAPЕ  |
|-----------|------|----------------|------------------------------|--------|--------------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| irafmts01 | 0    | 1611,9430      | 182,5721                     | 1,5930 | 1627,4659                      | 0,0096 | 905,0190                    | 0,5617 |
| irafmts01 | 1    | 1600,2299      | -177,1777                    | 2,0000 | 1626,1231                      | 0,0161 | 724,4727                    | 0,7534 |
| irafmts01 | 2    | 1665,0009      | 171,6004                     | 1,6263 | 1627,3741                      | 0,0229 | 899,4873                    | 0,5970 |
| irafmts01 | 3    | 1554,9669      | -166,7566                    | 2,0000 | 1626,2054                      | 0,0448 | 729,7244                    | 0,7224 |
| irafmts01 | 4    | 1592,1673      | 161,7293                     | 1,6312 | 1627,2944                      | 0,0218 | 894,5118                    | 0,5611 |
| irafmts02 | 0    | 700,4858       | 88,7717                      | 1,5501 | 716,6021                       | 0,0227 | 402,6869                    | 0,5399 |
| irafmts02 | 1    | 733,5106       | -86,1857                     | 2,0000 | 716,5648                       | 0,0234 | 315,1896                    | 0,7978 |
| irafmts02 | 2    | 724,6577       | 83,5080                      | 1,5867 | 716,6048                       | 0,0112 | 400,0564                    | 0,5772 |
| irafmts02 | 3    | 729,6662       | -81,1846                     | 2,0000 | 716,5621                       | 0,0181 | 317,6887                    | 0,7867 |
| irafmts02 | 4    | 738,6399       | 78,7692                      | 1,6145 | 716,6074                       | 0,0303 | 397,6883                    | 0,6001 |
| irafmts03 | 0    | 776,2585       | 154,4752                     | 1,3361 | 825,0773                       | 0,0610 | 489,7763                    | 0,4526 |
| irafmts03 | 1    | 800,7731       | -150,0209                    | 2,0000 | 821,8021                       | 0,0259 | 335,8906                    | 0,8180 |
| irafmts03 | 2    | 793,9910       | 145,4033                     | 1,3809 | 824,9152                       | 0,0382 | 485,1593                    | 0,4829 |
| irafmts03 | 3    | 737,5494       | -141,3988                    | 2,0000 | 821,9466                       | 0,1082 | 340,2739                    | 0,7372 |
| irafmts03 | 4    | 758,5038       | 137,2312                     | 1,3872 | 824,7715                       | 0,0837 | 481,0013                    | 0,4478 |
| irafmts04 | 0    | 859,7410       | 92,1727                      | 1,6127 | 874,8628                       | 0,0174 | 483,5177                    | 0,5602 |
| irafmts04 | 1    | 894,1693       | -89,4967                     | 2,0000 | 886,0811                       | 0,0091 | 398,2922                    | 0,7673 |
| irafmts04 | 2    | 931,1489       | 86,7250                      | 1,6592 | 875,1813                       | 0,0620 | 480,9531                    | 0,6376 |
| irafmts04 | 3    | 901,8027       | -84,3205                     | 2,0000 | 885,2903                       | 0,0185 | 400,4849                    | 0,7699 |
| irafmts04 | 4    | 982,9558       | 81,8200                      | 1,6926 | 875,4656                       | 0,1157 | 478,6428                    | 0,6901 |
| irafmts05 | 0    | 529,7807       | 74,8855                      | 1,5046 | 536,9158                       | 0,0134 | 305,9006                    | 0,5358 |
| irafmts05 | 1    | 529,2861       | -72,7045                     | 2,0000 | 533,8237                       | 0,0085 | 230,5596                    | 0,7863 |
| irafmts05 | 2    | 532,8159       | 70,4459                      | 1,5329 | 536,7951                       | 0,0074 | 303,6205                    | 0,5480 |
| irafmts05 | 3    | 527,5356       | -68,4861                     | 2,0000 | 533,9299                       | 0,0120 | 232,7219                    | 0,7756 |
| irafmts05 | 4    | 522,8133       | 66,4487                      | 1,5489 | 536,6874                       | 0,0262 | 301,5680                    | 0,5368 |
| irafmts06 | 0    | 937,8954       | 174,2761                     | 1,3732 | 978,0494                       | 0,0419 | 576,1628                    | 0,4778 |
| irafmts06 | 1    | 952,2965       | -169,3263                    | 2,0000 | 979,8394                       | 0,0285 | 405,2565                    | 0,8059 |
| irafmts06 | 2    | 952,3498       | 164,1865                     | 1,4118 | 978,2034                       | 0,0268 | 571,1949                    | 0,5004 |
| irafmts06 | 3    | 875,6237       | -159,7334                    | 2,0000 | 979,7002                       | 0,1122 | 409,9834                    | 0,7244 |
| irafmts06 | 4    | 902,9423       | 155,0910                     | 1,4137 | 978,3371                       | 0,0802 | 566,7140                    | 0,4576 |

|           |   |           |           |        |           |        |          |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|
| irafmts07 | 0 | 517,9209  | 55,4409   | 1,6132 | 519,9884  | 0,0040 | 287,7147 | 0,5715 |
| irafmts07 | 1 | 522,2113  | -53,8282  | 2,0000 | 522,2384  | 0,0001 | 234,2051 | 0,7615 |
| irafmts07 | 2 | 526,9157  | 52,1582   | 1,6397 | 520,0780  | 0,0131 | 286,1181 | 0,5923 |
| irafmts07 | 3 | 528,6013  | -50,7093  | 2,0000 | 522,1592  | 0,0123 | 235,7250 | 0,7664 |
| irafmts07 | 4 | 540,9352  | 49,2029   | 1,6665 | 520,1584  | 0,0392 | 284,6806 | 0,6208 |
| irafmts08 | 0 | 498,7571  | 61,4549   | 1,5612 | 495,3734  | 0,0068 | 278,4142 | 0,5670 |
| irafmts08 | 1 | 488,4240  | -59,6503  | 2,0000 | 491,9698  | 0,0072 | 216,1598 | 0,7728 |
| irafmts08 | 2 | 485,1312  | 57,7833   | 1,5743 | 495,2246  | 0,0206 | 276,5039 | 0,5478 |
| irafmts08 | 3 | 478,5853  | -56,1623  | 2,0000 | 492,1016  | 0,0278 | 217,9697 | 0,7483 |
| irafmts08 | 4 | 494,2438  | 54,4787   | 1,6029 | 495,0922  | 0,0017 | 274,7854 | 0,5707 |
| irafmts09 | 0 | 488,7110  | 100,7738  | 1,3162 | 521,7259  | 0,0653 | 311,2499 | 0,4437 |
| irafmts09 | 1 | 467,6615  | -97,8624  | 2,0000 | 518,7595  | 0,1036 | 210,4485 | 0,7586 |
| irafmts09 | 2 | 481,5658  | 94,8448   | 1,3418 | 521,5781  | 0,0798 | 308,2115 | 0,4390 |
| irafmts09 | 3 | 491,4956  | -92,2276  | 2,0000 | 518,8912  | 0,0542 | 213,3318 | 0,7893 |
| irafmts09 | 4 | 454,4260  | 89,5043   | 1,3418 | 521,4471  | 0,1374 | 305,4757 | 0,3920 |
| irafmts10 | 0 | 13,8990   | 2,4972    | 1,3908 | 14,2949   | 0,0281 | 8,3960   | 0,4937 |
| irafmts10 | 1 | 13,4235   | -2,4269   | 2,0000 | 15,2464   | 0,1272 | 6,4098   | 0,7073 |
| irafmts10 | 2 | 14,3938   | 2,3537    | 1,4378 | 14,3014   | 0,0064 | 8,3276   | 0,5340 |
| irafmts10 | 3 | 13,2235   | -2,2904   | 2,0000 | 15,2384   | 0,1416 | 6,4740   | 0,6853 |
| irafmts10 | 4 | 12,3295   | 2,2244    | 1,3887 | 14,3072   | 0,1485 | 8,2658   | 0,3946 |
| irafmts11 | 0 | 499,0152  | 70,2382   | 1,5065 | 504,2842  | 0,0105 | 287,2612 | 0,5386 |
| irafmts11 | 1 | 508,5669  | -68,2114  | 2,0000 | 504,9497  | 0,0071 | 218,3692 | 0,7984 |
| irafmts11 | 2 | 498,9509  | 66,1104   | 1,5320 | 504,3127  | 0,0107 | 285,2115 | 0,5451 |
| irafmts11 | 3 | 499,1270  | -64,2884  | 2,0000 | 504,9245  | 0,0115 | 220,3180 | 0,7751 |
| irafmts11 | 4 | 509,9074  | 62,3924   | 1,5639 | 504,3380  | 0,0110 | 283,3652 | 0,5712 |
| irafmts12 | 0 | 431,3766  | 48,1044   | 1,5987 | 434,8880  | 0,0081 | 241,4962 | 0,5644 |
| irafmts12 | 1 | 453,1480  | -46,6833  | 2,0000 | 431,6823  | 0,0485 | 192,4995 | 0,8074 |
| irafmts12 | 2 | 437,5645  | 45,2139   | 1,6254 | 434,6928  | 0,0066 | 239,9533 | 0,5833 |
| irafmts12 | 3 | 438,2370  | -43,9376  | 2,0000 | 431,7839  | 0,0148 | 193,9232 | 0,7729 |
| irafmts12 | 4 | 478,4305  | 42,6129   | 1,6729 | 434,5186  | 0,0962 | 238,5657 | 0,6691 |
| irafmts13 | 0 | 923,0195  | 116,4969  | 1,5517 | 1025,9789 | 0,1057 | 571,2379 | 0,4708 |
| irafmts13 | 1 | 948,1170  | -113,1122 | 2,0000 | 1031,2030 | 0,0840 | 459,0454 | 0,6951 |
| irafmts13 | 2 | 1099,7367 | 109,6064  | 1,6375 | 1026,2306 | 0,0692 | 567,9185 | 0,6378 |
| irafmts13 | 3 | 926,5209  | -106,5645 | 2,0000 | 1030,9792 | 0,1067 | 462,2073 | 0,6687 |
| irafmts13 | 4 | 927,7032  | 103,4014  | 1,5989 | 1026,4536 | 0,1011 | 564,9275 | 0,4861 |
| irafmts14 | 0 | 1478,6763 | 199,7589  | 1,5239 | 1598,8986 | 0,0781 | 899,3287 | 0,4873 |
| irafmts14 | 1 | 1429,3655 | -193,7156 | 2,0000 | 1533,9874 | 0,0706 | 670,1359 | 0,7232 |
| irafmts14 | 2 | 1598,8986 | 187,4819  | 1,5802 | 1596,2534 | 0,0017 | 891,8676 | 0,5677 |
| irafmts14 | 3 | 1467,4412 | -182,0589 | 2,0000 | 1536,3233 | 0,0459 | 677,1322 | 0,7370 |
| irafmts14 | 4 | 1450,1343 | 176,4440  | 1,5661 | 1593,8910 | 0,0945 | 885,1675 | 0,4838 |

|           |   |           |           |        |           |        |           |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| irafmts15 | 0 | 1006,1186 | 246,5976  | 1,2126 | 1570,2238 | 0,4379 | 908,4107  | 0,1021 |
| irafmts15 | 1 | 1256,9931 | -239,5292 | 2,0000 | 1569,4273 | 0,2211 | 664,9490  | 0,6161 |
| irafmts15 | 2 | 1226,4236 | 232,1973  | 1,3632 | 1570,2866 | 0,2459 | 901,2420  | 0,3057 |
| irafmts15 | 3 | 1178,1902 | -225,8419 | 2,0000 | 1569,3672 | 0,2847 | 671,7626  | 0,5475 |
| irafmts15 | 4 | 1422,9438 | 219,2234  | 1,4660 | 1570,3398 | 0,0985 | 894,7816  | 0,4558 |
| irafmts16 | 0 | 1946,8470 | 213,0860  | 1,6054 | 1898,5043 | 0,0251 | 1055,7951 | 0,5935 |
| irafmts16 | 1 | 1614,0270 | -206,7170 | 2,0000 | 1837,9996 | 0,1298 | 815,6413  | 0,6572 |
| irafmts16 | 2 | 1778,4380 | 200,1393  | 1,5954 | 1896,1666 | 0,0641 | 1048,1530 | 0,5167 |
| irafmts16 | 3 | 1854,0471 | -194,4216 | 2,0000 | 1840,0579 | 0,0076 | 822,8182  | 0,7705 |
| irafmts16 | 4 | 1977,2296 | 188,4940  | 1,6519 | 1894,0747 | 0,0430 | 1041,2843 | 0,6201 |
| irafmts17 | 0 | 854,5822  | 111,7871  | 1,5373 | 732,8042  | 0,1534 | 422,2956  | 0,6771 |
| irafmts17 | 1 | 874,5111  | -108,6220 | 2,0000 | 731,1622  | 0,1786 | 311,2701  | 0,9500 |
| irafmts17 | 2 | 961,2867  | 105,3347  | 1,6050 | 732,8078  | 0,2697 | 419,0712  | 0,7856 |
| irafmts17 | 3 | 783,8628  | -102,4877 | 2,0000 | 731,1556  | 0,0696 | 314,3340  | 0,8551 |
| irafmts17 | 4 | 813,1105  | 99,5188   | 1,5638 | 732,8088  | 0,1039 | 416,1638  | 0,6458 |
| irafmts18 | 0 | 749,4569  | 173,1659  | 1,2492 | 963,5345  | 0,2499 | 568,3502  | 0,2749 |
| irafmts18 | 1 | 1002,5844 | -168,0069 | 2,0000 | 935,1069  | 0,0696 | 383,5500  | 0,8932 |
| irafmts18 | 2 | 787,0749  | 162,6773  | 1,3149 | 962,4337  | 0,2005 | 562,5555  | 0,3327 |
| irafmts18 | 3 | 927,0222  | -158,0457 | 2,0000 | 936,0757  | 0,0097 | 389,0150  | 0,8176 |
| irafmts18 | 4 | 949,5780  | 153,2426  | 1,4442 | 961,4497  | 0,0124 | 557,3461  | 0,5206 |
| irafmts19 | 0 | 1455,2727 | 165,7608  | 1,5910 | 1458,0336 | 0,0019 | 811,8972  | 0,5676 |
| irafmts19 | 1 | 1701,1906 | -160,9423 | 2,0000 | 1477,3292 | 0,1409 | 658,1934  | 0,8841 |
| irafmts19 | 2 | 1555,4982 | 155,9517  | 1,6355 | 1458,9472 | 0,0641 | 807,4494  | 0,6331 |
| irafmts19 | 3 | 1559,3833 | -151,6217 | 2,0000 | 1476,5168 | 0,0546 | 662,4475  | 0,8074 |
| irafmts19 | 4 | 1590,7304 | 147,1194  | 1,6614 | 1459,7583 | 0,0859 | 803,4389  | 0,6577 |
| irafmts20 | 0 | 1246,9804 | 153,9469  | 1,5604 | 1507,8726 | 0,1894 | 830,9098  | 0,4005 |
| irafmts20 | 1 | 1367,5300 | -149,7314 | 2,0000 | 1549,6547 | 0,1249 | 699,9617  | 0,6458 |
| irafmts20 | 2 | 1416,0481 | 145,3374  | 1,6277 | 1509,2372 | 0,0637 | 827,2873  | 0,5249 |
| irafmts20 | 3 | 1515,4932 | -141,5410 | 2,0000 | 1547,9544 | 0,0212 | 703,2067  | 0,7322 |
| irafmts20 | 4 | 1545,8891 | 137,5673  | 1,6731 | 1510,4528 | 0,0232 | 824,0101  | 0,6092 |
| irafmts21 | 0 | 126,8759  | 40,6962   | 1,0286 | 196,2444  | 0,4294 | 118,4703  | 0,0685 |
| irafmts21 | 1 | 204,1721  | -39,4616  | 2,0000 | 191,3189  | 0,0650 | 75,9286   | 0,9157 |
| irafmts21 | 2 | 202,2417  | 38,1884   | 1,3647 | 196,0443  | 0,0311 | 117,1164  | 0,5331 |
| irafmts21 | 3 | 122,8385  | -37,0806  | 2,0000 | 191,4955  | 0,4368 | 77,2074   | 0,4562 |
| irafmts21 | 4 | 209,6733  | 35,9339   | 1,4148 | 195,8657  | 0,0681 | 115,8998  | 0,5761 |
| irafmts22 | 0 | 154,8995  | 28,2962   | 1,3822 | 223,0019  | 0,3604 | 125,6490  | 0,2085 |
| irafmts22 | 1 | 214,2780  | -27,5295  | 2,0000 | 225,8961  | 0,0528 | 99,1833   | 0,7343 |
| irafmts22 | 2 | 147,5104  | 26,7294   | 1,3864 | 223,1365  | 0,4081 | 124,9330  | 0,1657 |
| irafmts22 | 3 | 189,8817  | -26,0386  | 2,0000 | 225,7764  | 0,1727 | 99,8689   | 0,6213 |
| irafmts22 | 4 | 172,9100  | 25,3147   | 1,4892 | 223,2563  | 0,2542 | 124,2855  | 0,3272 |

|           |   |           |           |        |           |        |          |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|
| irafmts23 | 0 | 237,7347  | 49,7787   | 1,3075 | 335,1027  | 0,3399 | 192,4407 | 0,2106 |
| irafmts23 | 1 | 242,2352  | -48,2131  | 2,0000 | 304,0228  | 0,2262 | 127,9048 | 0,6178 |
| irafmts23 | 2 | 274,3155  | 46,6044   | 1,4191 | 333,8777  | 0,1959 | 190,2411 | 0,3620 |
| irafmts23 | 3 | 240,2225  | -45,2014  | 2,0000 | 304,9829  | 0,2376 | 129,8908 | 0,5962 |
| irafmts23 | 4 | 272,5412  | 43,7546   | 1,4467 | 332,7861  | 0,1990 | 188,2704 | 0,3657 |
| irafmts24 | 0 | 212,6613  | 20,0671   | 1,6551 | 192,7694  | 0,0981 | 106,4183 | 0,6659 |
| irafmts24 | 1 | 175,2047  | -19,4758  | 2,0000 | 193,8818  | 0,1012 | 87,2030  | 0,6707 |
| irafmts24 | 2 | 149,4297  | 18,8643   | 1,5516 | 192,8349  | 0,2536 | 105,8496 | 0,3414 |
| irafmts24 | 3 | 157,4498  | -18,3333  | 2,0000 | 193,8230  | 0,2071 | 87,7449  | 0,5686 |
| irafmts24 | 4 | 151,3794  | 17,7819   | 1,5795 | 192,8927  | 0,2412 | 105,3373 | 0,3587 |
| irafmts25 | 0 | 1077,6837 | 119,4163  | 1,6010 | 1174,2400 | 0,0858 | 646,8282 | 0,4997 |
| irafmts25 | 1 | 1199,2171 | -116,0627 | 2,0000 | 1194,5195 | 0,0039 | 539,2284 | 0,7593 |
| irafmts25 | 2 | 1169,0670 | 112,5768  | 1,6486 | 1175,1529 | 0,0052 | 643,8648 | 0,5794 |
| irafmts25 | 3 | 1194,5785 | -109,5598 | 2,0000 | 1193,7092 | 0,0007 | 542,0747 | 0,7514 |
| irafmts25 | 4 | 1135,9090 | 106,4109  | 1,6574 | 1175,9655 | 0,0347 | 641,1882 | 0,5568 |
| irafmts26 | 0 | 837,9083  | 96,7664   | 1,5859 | 854,9004  | 0,0201 | 475,8334 | 0,5512 |
| irafmts26 | 1 | 792,9527  | -94,1013  | 2,0000 | 879,9440  | 0,1040 | 392,9214 | 0,6747 |
| irafmts26 | 2 | 927,0508  | 91,3247   | 1,6413 | 855,5447  | 0,0802 | 473,4347 | 0,6478 |
| irafmts26 | 3 | 817,9404  | -88,9245  | 2,0000 | 879,4969  | 0,0725 | 395,2862 | 0,6967 |
| irafmts26 | 4 | 919,9077  | 86,4136   | 1,6565 | 856,1170  | 0,0718 | 471,2653 | 0,6450 |
| irafmts27 | 0 | 923,8319  | 189,3717  | 1,3195 | 1112,8196 | 0,1856 | 651,0957 | 0,3463 |
| irafmts27 | 1 | 932,5858  | -183,7806 | 2,0000 | 1090,7700 | 0,1564 | 453,4947 | 0,6913 |
| irafmts27 | 2 | 955,6474  | 177,9989  | 1,3719 | 1111,9834 | 0,1512 | 644,9912 | 0,3882 |
| irafmts27 | 3 | 1091,8009 | -172,9771 | 2,0000 | 1091,5502 | 0,0002 | 459,2865 | 0,8156 |
| irafmts27 | 4 | 848,7734  | 167,7641  | 1,3399 | 1111,1934 | 0,2678 | 639,4787 | 0,2813 |
| irafmts28 | 0 | 1804,0506 | 177,1124  | 1,6424 | 1599,9827 | 0,1199 | 888,5475 | 0,6800 |
| irafmts28 | 1 | 2083,8426 | -172,0682 | 2,0000 | 1588,1889 | 0,2700 | 708,0604 | 0,9856 |
| irafmts28 | 2 | 1991,4142 | 166,8325  | 1,6908 | 1599,7666 | 0,2181 | 883,2996 | 0,7709 |
| irafmts28 | 3 | 1976,5186 | -162,2962 | 2,0000 | 1588,3679 | 0,2178 | 713,0358 | 0,9395 |
| irafmts28 | 4 | 1973,0580 | 157,5688  | 1,7042 | 1599,5639 | 0,2091 | 878,5663 | 0,7676 |
| irafmts29 | 0 | 793,9405  | 108,8821  | 1,5176 | 740,0541  | 0,0703 | 424,4681 | 0,6065 |
| irafmts29 | 1 | 800,1900  | -105,6592 | 2,0000 | 729,5617  | 0,0923 | 311,9513 | 0,8780 |
| irafmts29 | 2 | 777,2365  | 102,3274  | 1,5346 | 739,6133  | 0,0496 | 420,9703 | 0,5947 |
| irafmts29 | 3 | 738,1942  | -99,4330  | 2,0000 | 729,9514  | 0,0112 | 315,2592 | 0,8029 |
| irafmts29 | 4 | 807,9414  | 96,4293   | 1,5735 | 739,2204  | 0,0888 | 417,8249 | 0,6365 |
| irafmts30 | 0 | 587,5438  | 94,4539   | 1,4460 | 545,8128  | 0,0736 | 320,1334 | 0,5892 |
| irafmts30 | 1 | 465,6471  | -91,7245  | 2,0000 | 539,4751  | 0,1469 | 223,8753 | 0,7013 |
| irafmts30 | 2 | 535,8887  | 88,8954   | 1,4309 | 545,5840  | 0,0179 | 317,2397 | 0,5126 |
| irafmts30 | 3 | 476,6271  | -86,4416  | 2,0000 | 539,6757  | 0,1241 | 226,6171 | 0,7110 |
| irafmts30 | 4 | 522,9212  | 83,8883   | 1,4470 | 545,3788  | 0,0420 | 314,6335 | 0,4974 |

|           |   |           |           |        |           |        |           |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| irafmts31 | 0 | 310,8309  | 34,2815   | 1,6027 | 332,1897  | 0,0664 | 183,2356  | 0,5165 |
| irafmts31 | 1 | 331,0634  | -33,3042  | 2,0000 | 336,5706  | 0,0165 | 151,6332  | 0,7434 |
| irafmts31 | 2 | 353,5009  | 32,2900   | 1,6652 | 332,3724  | 0,0616 | 182,3312  | 0,6389 |
| irafmts31 | 3 | 302,5798  | -31,4112  | 2,0000 | 336,4091  | 0,1059 | 152,4989  | 0,6596 |
| irafmts31 | 4 | 323,4488  | 30,4956   | 1,6554 | 332,5353  | 0,0277 | 181,5155  | 0,5622 |
| irafmts32 | 0 | 780,5420  | 93,8538   | 1,5707 | 758,8836  | 0,0281 | 426,3687  | 0,5869 |
| irafmts32 | 1 | 748,2242  | -91,0996  | 2,0000 | 757,2507  | 0,0120 | 333,0756  | 0,7679 |
| irafmts32 | 2 | 677,2042  | 88,2499   | 1,5388 | 758,8032  | 0,1136 | 423,5266  | 0,4609 |
| irafmts32 | 3 | 746,7243  | -85,7759  | 2,0000 | 757,3222  | 0,0141 | 335,7731  | 0,7593 |
| irafmts32 | 4 | 736,1639  | 83,2063   | 1,5938 | 758,7321  | 0,0302 | 420,9692  | 0,5448 |
| irafmts33 | 0 | 690,7762  | 139,0451  | 1,3298 | 526,6900  | 0,2696 | 332,8675  | 0,6993 |
| irafmts33 | 1 | 875,7402  | -135,1433 | 2,0000 | 530,1755  | 0,4916 | 197,5161  | 1,2639 |
| irafmts33 | 2 | 697,8108  | 131,0861  | 1,3674 | 526,8715  | 0,2792 | 328,9788  | 0,7184 |
| irafmts33 | 3 | 633,8713  | -127,5738 | 2,0000 | 530,0142  | 0,1785 | 201,2202  | 1,0362 |
| irafmts33 | 4 | 701,4721  | 123,9069  | 1,3995 | 527,0306  | 0,2840 | 325,4688  | 0,7323 |
| irafmts34 | 0 | 1268,7432 | 223,9155  | 1,4000 | 1277,4169 | 0,0068 | 750,6662  | 0,5131 |
| irafmts34 | 1 | 1103,1209 | -217,5477 | 2,0000 | 1264,3090 | 0,1362 | 523,3806  | 0,7129 |
| irafmts34 | 2 | 1027,1917 | 210,9366  | 1,3185 | 1276,9119 | 0,2168 | 743,9243  | 0,3199 |
| irafmts34 | 3 | 1199,4148 | -205,2086 | 2,0000 | 1264,7531 | 0,0530 | 529,7723  | 0,7745 |
| irafmts34 | 4 | 1161,7135 | 199,2379  | 1,4144 | 1276,4608 | 0,0941 | 737,8493  | 0,4463 |
| irafmts35 | 0 | 431,5095  | 57,8137   | 1,5274 | 357,3930  | 0,1879 | 207,6034  | 0,7007 |
| irafmts35 | 1 | 431,1358  | -56,1448  | 2,0000 | 356,2695  | 0,1902 | 150,0624  | 0,9672 |
| irafmts35 | 2 | 416,3038  | 54,4149   | 1,5376 | 357,3460  | 0,1524 | 205,8805  | 0,6764 |
| irafmts35 | 3 | 402,6632  | -52,9147  | 2,0000 | 356,3111  | 0,1221 | 151,6982  | 0,9054 |
| irafmts35 | 4 | 399,7858  | 51,3535   | 1,5447 | 357,3042  | 0,1122 | 204,3288  | 0,6471 |
| irafmts36 | 0 | 447,1225  | 51,6586   | 1,5857 | 530,2107  | 0,1700 | 290,9347  | 0,4232 |
| irafmts36 | 1 | 498,4845  | -50,1820  | 2,0000 | 539,2775  | 0,0786 | 244,5477  | 0,6835 |
| irafmts36 | 2 | 493,3505  | 48,6499   | 1,6410 | 530,6768  | 0,0729 | 289,6633  | 0,5203 |
| irafmts36 | 3 | 470,1890  | -47,3221  | 2,0000 | 538,8619  | 0,1361 | 245,7699  | 0,6269 |
| irafmts36 | 4 | 520,5337  | 45,9388   | 1,6756 | 531,0888  | 0,0201 | 288,5138  | 0,5736 |
| irafmts37 | 0 | 2230,2608 | 348,0783  | 1,4600 | 2328,7057 | 0,0432 | 1338,3920 | 0,4998 |
| irafmts37 | 1 | 2067,4304 | -336,6070 | 2,0000 | 2100,7245 | 0,0160 | 882,0587  | 0,8038 |
| irafmts37 | 2 | 2259,9640 | 324,8718  | 1,4973 | 2318,3275 | 0,0255 | 1321,5997 | 0,5240 |
| irafmts37 | 3 | 2129,8493 | -314,6074 | 2,0000 | 2107,1711 | 0,0107 | 896,2819  | 0,8153 |
| irafmts37 | 4 | 2160,8534 | 304,0716  | 1,5066 | 2309,0724 | 0,0663 | 1306,5720 | 0,4927 |
| irafmts38 | 0 | 394,6380  | 43,7276   | 1,6010 | 357,8822  | 0,0977 | 200,8049  | 0,6511 |
| irafmts38 | 1 | 321,1458  | -42,4679  | 2,0000 | 359,8433  | 0,1137 | 158,6877  | 0,6771 |
| irafmts38 | 2 | 328,4782  | 41,1620   | 1,5546 | 357,9685  | 0,0859 | 199,5652  | 0,4883 |
| irafmts38 | 3 | 334,0678  | -40,0296  | 2,0000 | 359,7668  | 0,0741 | 159,8686  | 0,7054 |
| irafmts38 | 4 | 377,0383  | 38,8511   | 1,6263 | 358,0455  | 0,0517 | 198,4483  | 0,6207 |

|           |   |           |           |        |           |        |          |        |
|-----------|---|-----------|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|
| irafmts39 | 0 | 1475,1626 | 257,8399  | 1,4049 | 1590,9481 | 0,0755 | 924,3940 | 0,4591 |
| irafmts39 | 1 | 2015,1664 | -250,9216 | 2,0000 | 1564,1717 | 0,2520 | 656,6250 | 1,0170 |
| irafmts39 | 2 | 1296,3312 | 243,6925  | 1,3670 | 1589,9510 | 0,2035 | 916,8218 | 0,3430 |
| irafmts39 | 3 | 1309,0420 | -237,4541 | 2,0000 | 1565,0469 | 0,1781 | 663,7964 | 0,6541 |
| irafmts39 | 4 | 1902,3870 | 230,9078  | 1,5670 | 1589,0589 | 0,1795 | 909,9834 | 0,7057 |
| irafmts40 | 0 | 943,4718  | 91,4577   | 1,6465 | 808,1270  | 0,1545 | 449,7923 | 0,7087 |
| irafmts40 | 1 | 1100,1523 | -89,0354  | 2,0000 | 832,2638  | 0,2773 | 371,6142 | 0,9900 |
| irafmts40 | 2 | 1093,7022 | 86,5011   | 1,7068 | 809,2521  | 0,2990 | 447,8766 | 0,8379 |
| irafmts40 | 3 | 975,5409  | -84,3167  | 2,0000 | 831,2639  | 0,1597 | 373,4736 | 0,8926 |
| irafmts40 | 4 | 1107,4261 | 82,0213   | 1,7242 | 810,2519  | 0,3099 | 446,1366 | 0,8513 |
| irafmts41 | 0 | 54,1050   | 7,3485    | 1,5217 | 39,9636   | 0,3007 | 23,6561  | 0,7831 |
| irafmts41 | 1 | 48,8682   | -7,1233   | 2,0000 | 38,8122   | 0,2294 | 15,8445  | 1,0206 |
| irafmts41 | 2 | 52,5236   | 6,8912    | 1,5361 | 39,9172   | 0,2727 | 23,4042  | 0,7670 |
| irafmts41 | 3 | 40,0982   | -6,6891   | 2,0000 | 38,8532   | 0,0315 | 16,0821  | 0,8550 |
| irafmts41 | 4 | 49,7177   | 6,4802    | 1,5388 | 39,8757   | 0,2197 | 23,1779  | 0,7282 |
| irafmts42 | 0 | 1199,8072 | 166,2435  | 1,5132 | 1336,4493 | 0,1078 | 751,3464 | 0,4597 |
| irafmts42 | 1 | 899,4493  | -161,7388 | 2,0000 | 1365,2836 | 0,4114 | 601,7724 | 0,3966 |
| irafmts42 | 2 | 931,7772  | 157,0373  | 1,4231 | 1337,8751 | 0,3579 | 747,4562 | 0,2195 |
| irafmts42 | 3 | 1319,9627 | -152,9776 | 2,0000 | 1364,1480 | 0,0329 | 605,5852 | 0,7420 |
| irafmts42 | 4 | 1042,0139 | 148,7228  | 1,5004 | 1339,0991 | 0,2495 | 743,9109 | 0,3338 |
| irafmts43 | 0 | 429,2995  | 51,0724   | 1,5747 | 519,2475  | 0,1897 | 285,1599 | 0,4035 |
| irafmts43 | 1 | 416,7975  | -49,5867  | 2,0000 | 514,4763  | 0,2098 | 232,4448 | 0,5679 |
| irafmts43 | 2 | 446,5729  | 48,0481   | 1,6114 | 519,0951  | 0,1502 | 283,5716 | 0,4465 |
| irafmts43 | 3 | 467,5940  | -46,7132  | 2,0000 | 514,6087  | 0,0957 | 233,9477 | 0,6661 |
| irafmts43 | 4 | 457,1480  | 45,3255   | 1,6392 | 518,9579  | 0,1266 | 282,1417 | 0,4734 |
| irafmts44 | 0 | 111,3806  | 14,7227   | 1,5330 | 101,5095  | 0,0927 | 58,1161  | 0,6285 |
| irafmts44 | 1 | 129,7635  | -14,3022  | 2,0000 | 102,0575  | 0,2390 | 43,8777  | 0,9892 |
| irafmts44 | 2 | 133,6614  | 13,8658   | 1,6240 | 101,5337  | 0,2732 | 57,6997  | 0,7939 |
| irafmts44 | 3 | 131,0829  | -13,4876  | 2,0000 | 102,0361  | 0,2492 | 44,2742  | 0,9901 |
| irafmts44 | 4 | 128,7791  | 13,0936   | 1,6308 | 101,5551  | 0,2364 | 57,3244  | 0,7679 |
| irafmts45 | 0 | 1323,9769 | 226,1438  | 1,4164 | 1201,4376 | 0,0970 | 713,7907 | 0,5989 |
| irafmts45 | 1 | 1522,5457 | -220,2080 | 2,0000 | 1256,9957 | 0,1911 | 518,3938 | 0,9840 |
| irafmts45 | 2 | 1111,1951 | 213,9912  | 1,3541 | 1203,9769 | 0,0802 | 708,9841 | 0,4419 |
| irafmts45 | 3 | 1686,3947 | -208,6360 | 2,0000 | 1254,7400 | 0,2935 | 523,0520 | 1,0531 |
| irafmts45 | 4 | 1399,4575 | 203,0028  | 1,4933 | 1206,2364 | 0,1483 | 704,6196 | 0,6605 |
| irafmts46 | 0 | 1444,2105 | 219,7851  | 1,4717 | 1258,9282 | 0,1371 | 739,3566 | 0,6456 |
| irafmts46 | 1 | 1420,0199 | -213,6485 | 2,0000 | 1264,4729 | 0,1159 | 525,4122 | 0,9197 |
| irafmts46 | 2 | 1513,1810 | 207,2646  | 1,5181 | 1259,2729 | 0,1832 | 733,2688 | 0,6944 |
| irafmts46 | 3 | 1222,8282 | -201,7401 | 2,0000 | 1264,1632 | 0,0332 | 531,2116 | 0,7886 |
| irafmts46 | 4 | 1365,6481 | 195,9694  | 1,4980 | 1259,5763 | 0,0808 | 727,7728 | 0,6094 |

|           |   |                  |                  |        |                  |        |                  |        |
|-----------|---|------------------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| irafmts47 | 0 | 486,4814         | 54,1848          | 1,5991 | 478,2548         | 0,0171 | 266,2198         | 0,5853 |
| irafmts47 | 1 | 583,7087         | -52,8961         | 2,0000 | 498,3891         | 0,1577 | 222,7465         | 0,8952 |
| irafmts47 | 2 | 475,5541         | 51,5303          | 1,6089 | 479,1250         | 0,0075 | 265,3276         | 0,5675 |
| irafmts47 | 3 | 578,3576         | -50,3625         | 2,0000 | 497,5859         | 0,1501 | 223,6117         | 0,8847 |
| irafmts47 | 4 | 525,2638         | 49,1190          | 1,6579 | 479,8998         | 0,0903 | 264,5094         | 0,6603 |
| irafmts48 | 0 | 2185,4293        | 280,6529         | 1,5448 | 2423,3226        | 0,1032 | 1351,9877        | 0,4712 |
| irafmts48 | 1 | 2333,8788        | -272,0717        | 2,0000 | 2356,6475        | 0,0097 | 1042,2879        | 0,7651 |
| irafmts48 | 2 | 2107,7667        | 263,2300         | 1,5559 | 2420,6372        | 0,1382 | 1341,9336        | 0,4440 |
| irafmts48 | 3 | 1917,2341        | -255,5334        | 2,0000 | 2359,0160        | 0,2066 | 1051,7413        | 0,5830 |
| irafmts48 | 4 | 2497,3045        | 247,5737         | 1,6392 | 2418,2404        | 0,0322 | 1332,9070        | 0,6080 |
| irafmts49 | 0 | 0,8425           | -0,0467          | 2,0000 | 0,8476           | 0,0060 | 0,4004           | 0,7113 |
| irafmts49 | 1 | 0,8380           | 0,0441           | 1,8002 | 0,8508           | 0,0152 | 0,4475           | 0,6077 |
| irafmts49 | 2 | 0,8518           | -0,0421          | 2,0000 | 0,8482           | 0,0042 | 0,4031           | 0,7152 |
| irafmts49 | 3 | 0,8519           | 0,0396           | 1,8225 | 0,8503           | 0,0019 | 0,4449           | 0,6276 |
| irafmts49 | 4 | 0,8999           | -0,0377          | 2,0000 | 0,8486           | 0,0587 | 0,4054           | 0,7576 |
| irafmts50 | 0 | 0,8888           | -0,0656          | 2,0000 | 0,8215           | 0,0787 | 0,3780           | 0,8065 |
| irafmts50 | 1 | 0,8949           | 0,0590           | 1,7526 | 0,8333           | 0,0713 | 0,4461           | 0,6693 |
| irafmts50 | 2 | 0,8820           | -0,0545          | 2,0000 | 0,8240           | 0,0680 | 0,3848           | 0,7850 |
| irafmts50 | 3 | 0,8791           | 0,0498           | 1,7854 | 0,8314           | 0,0558 | 0,4406           | 0,6645 |
| irafmts50 | 4 | 0,9212           | -0,0466          | 2,0000 | 0,8253           | 0,1098 | 0,3894           | 0,8116 |
| irafmts51 | 0 | 446716<br>9,0300 | 811699,<br>4532  | 1,3849 | 5027644,<br>5554 | 0,1181 | 2919672,<br>0043 | 0,4190 |
| irafmts51 | 1 | 392345<br>1,5600 | -759047,<br>2652 | 2,0000 | 4850696,<br>4854 | 0,2114 | 2045824,<br>6101 | 0,6291 |
| irafmts51 | 2 | 445125<br>6,3000 | 707990,<br>4332  | 1,4511 | 5011439,<br>9821 | 0,1184 | 2859715,<br>2076 | 0,4354 |
| irafmts51 | 3 | 399472<br>8,0900 | -665911,<br>6268 | 2,0000 | 4864218,<br>8026 | 0,1963 | 2099153,<br>5879 | 0,6221 |
| irafmts51 | 4 | 399350<br>4,4200 | 624675,<br>4210  | 1,4589 | 4998660,<br>6647 | 0,2236 | 2811668,<br>0428 | 0,3473 |
| irafmts52 | 0 | 206029<br>5,2500 | 537193,<br>6601  | 1,1727 | 2678738,<br>6455 | 0,2610 | 1607966,<br>1528 | 0,2466 |
| irafmts52 | 1 | 321715<br>2,3600 | -507508,<br>0997 | 2,0000 | 2749851,<br>4532 | 0,1566 | 1121171,<br>6767 | 0,9663 |
| irafmts52 | 2 | 227783<br>9,8100 | 478132,<br>1735  | 1,3060 | 2683818,<br>4789 | 0,1636 | 1580975,<br>3262 | 0,3612 |
| irafmts52 | 3 | 259790<br>7,0300 | -454110,<br>1969 | 2,0000 | 2745630,<br>4651 | 0,0553 | 1145760,<br>1341 | 0,7758 |
| irafmts52 | 4 | 275509<br>8,2000 | 430049,<br>4014  | 1,4599 | 2687940,<br>0308 | 0,0247 | 1558994,<br>7161 | 0,5545 |
| irafmts53 | 0 | 10256,0000       | 1364,3618        | 1,5304 | 10274,5550       | 0,0018 | 5819,4584        | 0,5520 |
| irafmts53 | 1 | 10277,0000       | -1277,3112       | 2,0000 | 10271,1452       | 0,0006 | 4496,9170        | 0,7825 |
| irafmts53 | 2 | 10244,0000       | 1192,7020        | 1,5829 | 10274,4043       | 0,0030 | 5733,5532        | 0,5646 |
| irafmts53 | 3 | 10238,0000       | -1123,4758       | 2,0000 | 10271,2651       | 0,0032 | 4573,8947        | 0,7648 |

|           |   |                     |                     |        |                     |        |                    |        |
|-----------|---|---------------------|---------------------|--------|---------------------|--------|--------------------|--------|
| irafmts53 | 4 | 10212,0000          | 1055,3849           | 1,6253 | 10274,2778          | 0,0061 | 5664,8313          | 0,5728 |
| irafmts54 | 0 | 14823830<br>94,4300 | 1804577<br>42,3617  | 1,5659 | 14821806<br>70,9879 | 0,0001 | 8313192<br>06,6748 | 0,5628 |
| irafmts54 | 1 | 14810621<br>77,5000 | -1701982<br>20,7708 | 2,0000 | 14819076<br>77,3783 | 0,0006 | 6558547<br>28,3038 | 0,7723 |
| irafmts54 | 2 | 14828232<br>52,4900 | 1601023<br>74,3068  | 1,6102 | 14821851<br>06,1192 | 0,0004 | 8211437<br>40,2130 | 0,5744 |
| irafmts54 | 3 | 14825018<br>50,9500 | -1517361<br>60,2199 | 2,0000 | 14819030<br>84,9051 | 0,0004 | 6650834<br>62,3426 | 0,7612 |
| irafmts54 | 4 | 14813813<br>18,6200 | 1434218<br>07,6934  | 1,6469 | 14821873<br>26,4763 | 0,0005 | 8128045<br>67,0849 | 0,5828 |
| irafmts55 | 0 | 14823830<br>94,4300 | 2798358<br>18,2844  | 1,3648 | 14821731<br>89,6568 | 0,0001 | 8810045<br>03,9706 | 0,5089 |
| irafmts55 | 1 | 14810621<br>77,5000 | -2248832<br>22,6043 | 2,0000 | 14819763<br>18,6589 | 0,0006 | 6285465<br>48,0273 | 0,8082 |
| irafmts55 | 2 | 14828232<br>52,4900 | 1828184<br>87,2588  | 1,5610 | 14821277<br>20,4682 | 0,0005 | 8324731<br>03,8635 | 0,5618 |
| irafmts55 | 3 | 14825018<br>50,9500 | -1551618<br>40,8771 | 2,0000 | 14820061<br>75,4704 | 0,0003 | 6634221<br>67,2967 | 0,7634 |
| irafmts55 | 4 | 14813813<br>18,6200 | 1323507<br>60,6025  | 1,6719 | 14821042<br>58,1062 | 0,0005 | 8072275<br>09,3543 | 0,5891 |
| irafmts56 | 0 | 163,0000            | -33,2302            | 2,0000 | 158,6974            | 0,0267 | 62,7336            | 0,8884 |
| irafmts56 | 1 | 187,0000            | 31,0191             | 1,4309 | 160,6942            | 0,1513 | 95,8567            | 0,6444 |
| irafmts56 | 2 | 250,0000            | -29,2364            | 2,0000 | 158,9441            | 0,4453 | 64,8539            | 1,1761 |
| irafmts56 | 3 | 221,0000            | 27,4774             | 1,5577 | 160,4747            | 0,3173 | 93,9760            | 0,8066 |
| irafmts56 | 4 | 133,0000            | -26,0553            | 2,0000 | 159,1223            | 0,1788 | 66,5335            | 0,6662 |
| irafmts57 | 0 | 10405,0000          | -4339,1779          | 2,0000 | 8924,0000           | 0,1532 | 2292,4110          | 1,2778 |
| irafmts57 | 1 | 11066,0000          | 3947,8548           | 0,9482 | 9387,5686           | 0,1641 | 6667,7117          | 0,4960 |
| irafmts57 | 2 | 9772,0000           | -3645,2367          | 2,0000 | 8973,0706           | 0,0852 | 2663,9170          | 1,1432 |
| irafmts57 | 3 | 11019,0000          | 3356,7792           | 1,0660 | 9342,8625           | 0,1646 | 6349,8208          | 0,5377 |
| irafmts57 | 4 | 9017,0000           | -3131,9790          | 2,0000 | 9008,3262           | 0,0010 | 2938,1736          | 1,0169 |
| irafmts58 | 0 | 456,0000            | -249,6850           | 2,0000 | 789,6825            | 0,5357 | 269,9988           | 0,5124 |
| irafmts58 | 1 | 565,0000            | 221,9477            | 0,8719 | 759,6126            | 0,2938 | 490,7801           | 0,1406 |
| irafmts58 | 2 | 475,0000            | -201,6222           | 2,0000 | 787,0031            | 0,4945 | 292,6905           | 0,4750 |
| irafmts58 | 3 | 557,0000            | 182,7927            | 1,0117 | 762,1351            | 0,3110 | 472,4639           | 0,1642 |
| irafmts58 | 4 | 548,0000            | -168,7812           | 2,0000 | 785,1051            | 0,3557 | 308,1619           | 0,5603 |
| irafmts59 | 0 | 35176,0000          | -5378,5092          | 2,0000 | 36336,3289          | 0,0325 | 15478,9098         | 0,7777 |
| irafmts59 | 1 | 34609,0000          | 5042,6653           | 1,4913 | 37247,3266          | 0,0734 | 21144,9959         | 0,4830 |
| irafmts59 | 2 | 36950,0000          | -4770,1685          | 2,0000 | 36408,5478          | 0,0148 | 15819,1896         | 0,8009 |
| irafmts59 | 3 | 34830,0000          | 4498,7951           | 1,5424 | 37178,7069          | 0,0652 | 20838,7510         | 0,5027 |
| irafmts59 | 4 | 36871,0000          | -4278,1208          | 2,0000 | 36465,3489          | 0,0111 | 16093,6141         | 0,7846 |
| irafmts60 | 0 | 81395,0000          | -2875,2013          | 2,0000 | 73415,7912          | 0,1031 | 35270,2949         | 0,7907 |
| irafmts60 | 1 | 79799,0000          | 2759,8007           | 1,8663 | 73870,8607          | 0,0772 | 38315,3307         | 0,7024 |
| irafmts60 | 2 | 95174,0000          | -2664,2279          | 2,0000 | 73438,8063          | 0,2578 | 35387,2892         | 0,9158 |



|           |   |            |             |        |            |        |            |        |
|-----------|---|------------|-------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| irafmts60 | 3 | 70811,0000 | 2564,1571   | 1,8602 | 73847,8645 | 0,0420 | 38206,0108 | 0,5982 |
| irafmts60 | 4 | 68351,0000 | -2481,3082  | 2,0000 | 73458,3402 | 0,0720 | 35488,5160 | 0,6329 |
| irafmts61 | 0 | 4431,0000  | -483,1798   | 2,0000 | 3751,7567  | 0,1660 | 1634,2885  | 0,9222 |
| irafmts61 | 1 | 4681,0000  | 458,9168    | 1,6429 | 3788,1274  | 0,2109 | 2123,5221  | 0,7517 |
| irafmts61 | 2 | 4559,0000  | -438,8666   | 2,0000 | 3754,1756  | 0,1936 | 1657,6545  | 0,9334 |
| irafmts61 | 3 | 4810,0000  | 418,4733    | 1,6799 | 3785,7855  | 0,2383 | 2102,1294  | 0,7835 |
| irafmts61 | 4 | 3989,0000  | -401,6108   | 2,0000 | 3756,1538  | 0,0601 | 1677,2715  | 0,8160 |
| irafmts62 | 0 | 322,0000   | -63,2848    | 2,0000 | 354,7733   | 0,0969 | 145,7442   | 0,7536 |
| irafmts62 | 1 | 305,0000   | 60,2846     | 1,3399 | 347,7073   | 0,1309 | 203,9959   | 0,3969 |
| irafmts62 | 2 | 400,0000   | -57,8146    | 2,0000 | 354,2813   | 0,1212 | 148,2333   | 0,9185 |
| irafmts62 | 3 | 472,0000   | 55,2793     | 1,5806 | 348,2776   | 0,3017 | 201,7784   | 0,8021 |
| irafmts62 | 4 | 430,0000   | -53,1915    | 2,0000 | 353,8831   | 0,1942 | 150,3458   | 0,9638 |
| irafmts63 | 0 | 549,0000   | 154,7599    | 1,1204 | 566,1378   | 0,0307 | 360,4488   | 0,4146 |
| irafmts63 | 1 | 581,0000   | -143,7584   | 2,0000 | 560,1324   | 0,0366 | 208,1870   | 0,9448 |
| irafmts63 | 2 | 536,0000   | 133,1981    | 1,2038 | 565,3404   | 0,0533 | 349,2692   | 0,4219 |
| irafmts63 | 3 | 478,0000   | -124,7011   | 2,0000 | 560,7864   | 0,1594 | 218,0426   | 0,7470 |
| irafmts63 | 4 | 508,0000   | 116,4222    | 1,2542 | 564,7472   | 0,1058 | 340,5847   | 0,3946 |
| irafmts64 | 0 | 406,0000   | -36,0415    | 2,0000 | 315,1982   | 0,2518 | 139,5783   | 0,9767 |
| irafmts64 | 1 | 343,0000   | 34,3238     | 1,6361 | 318,8145   | 0,0731 | 176,5691   | 0,6406 |
| irafmts64 | 2 | 355,0000   | -32,9086    | 2,0000 | 315,3525   | 0,1183 | 141,2219   | 0,8616 |
| irafmts64 | 3 | 352,0000   | 31,4570     | 1,6719 | 318,6559   | 0,0994 | 175,0564   | 0,6714 |
| irafmts64 | 4 | 286,0000   | -30,2607    | 2,0000 | 315,4845   | 0,0980 | 142,6119   | 0,6691 |
| irafmts65 | 0 | 13221,0000 | -964,6421   | 2,0000 | 14984,2155 | 0,1250 | 7009,7867  | 0,6140 |
| irafmts65 | 1 | 12026,0000 | 921,9392    | 1,7152 | 15134,0684 | 0,2289 | 8028,0038  | 0,3987 |
| irafmts65 | 2 | 13012,0000 | -886,3911   | 2,0000 | 14993,5121 | 0,1415 | 7053,5605  | 0,5939 |
| irafmts65 | 3 | 13489,0000 | 849,8037    | 1,7629 | 15125,0179 | 0,1144 | 7987,4108  | 0,5123 |
| irafmts65 | 4 | 9915,0000  | -819,3468   | 2,0000 | 15001,2275 | 0,4083 | 7090,9403  | 0,3321 |
| irafmts66 | 0 | 44189,0000 | -4804,8839  | 2,0000 | 40426,2639 | 0,0889 | 17810,6900 | 0,8509 |
| irafmts66 | 1 | 47709,0000 | 4551,7086   | 1,6516 | 41472,0578 | 0,1399 | 23011,8832 | 0,6984 |
| irafmts66 | 2 | 44886,0000 | -4342,9918  | 2,0000 | 40500,1056 | 0,1027 | 18078,5569 | 0,8515 |
| irafmts66 | 3 | 45536,0000 | 4131,6981   | 1,6673 | 41400,9886 | 0,0951 | 22766,3434 | 0,6667 |
| irafmts66 | 4 | 45629,0000 | -3957,3515  | 2,0000 | 40559,9880 | 0,1176 | 18301,3183 | 0,8549 |
| irafmts67 | 0 | 44752,0000 | 15587,9972  | 0,9667 | 65324,5682 | 0,3738 | 40456,2827 | 0,1008 |
| irafmts67 | 1 | 43407,0000 | -13862,9895 | 2,0000 | 70497,5996 | 0,4757 | 28317,3051 | 0,4208 |
| irafmts67 | 2 | 47858,0000 | 12325,4314  | 1,1808 | 66197,5220 | 0,3216 | 39261,4767 | 0,1974 |
| irafmts67 | 3 | 44714,0000 | -11181,4037 | 2,0000 | 70115,4451 | 0,4424 | 29467,0207 | 0,4111 |
| irafmts67 | 4 | 32323,0000 | 10126,3213  | 1,0458 | 66772,0391 | 0,6953 | 38449,1802 | 0,1731 |
| irafmts68 | 0 | 25113,0000 | -6305,5425  | 2,0000 | 26151,4970 | 0,0405 | 9922,9772  | 0,8671 |
| irafmts68 | 1 | 23835,0000 | 5620,2953   | 1,2368 | 26220,2882 | 0,0953 | 15920,2918 | 0,3982 |

|           |   |                    |                    |        |                    |        |                   |        |
|-----------|---|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|-------------------|--------|
| irafmts68 | 2 | 25457,0000         | -5117,2110         | 2,0000 | 26165,9758         | 0,0275 | 10524,3824        | 0,8300 |
| irafmts68 | 3 | 25426,0000         | 4648,1676          | 1,3818 | 26208,4184         | 0,0303 | 15428,2930        | 0,4894 |
| irafmts68 | 4 | 20148,0000         | -4298,6191         | 2,0000 | 26174,9005         | 0,2602 | 10938,1407        | 0,5925 |
| irafmts69 | 0 | 25113,0000         | -7480,8502         | 2,0000 | 30053,8106         | 0,1791 | 11286,4802        | 0,7597 |
| irafmts69 | 1 | 23835,0000         | 7122,7762          | 1,0797 | 31089,6841         | 0,2642 | 19106,2301        | 0,2202 |
| irafmts69 | 2 | 25457,0000         | -6823,3995         | 2,0000 | 30121,4406         | 0,1679 | 11649,0205        | 0,7442 |
| irafmts69 | 3 | 25426,0000         | 6518,9922          | 1,1837 | 31024,0978         | 0,1983 | 18771,5450        | 0,3011 |
| irafmts69 | 4 | 20148,0000         | -6264,3948         | 2,0000 | 30177,5164         | 0,3986 | 11956,5608        | 0,5103 |
| irafmts70 | 0 | 1153246<br>54,8500 | 1908846<br>9,3333  | 1,4319 | 1078055<br>51,7045 | 0,0674 | 6344701<br>0,5189 | 0,5804 |
| irafmts70 | 1 | 1083110<br>62,2240 | -1729759<br>3,5621 | 2,0000 | 1077970<br>00,7647 | 0,0048 | 4524970<br>3,6013 | 0,8213 |
| irafmts70 | 2 | 969402<br>58,0840  | 1564869<br>0,9686  | 1,4440 | 1078136<br>48,0027 | 0,1062 | 6173116<br>9,4857 | 0,4438 |
| irafmts70 | 3 | 1034131<br>35,1900 | -1437360<br>8,6115 | 2,0000 | 1077906<br>62,6803 | 0,0415 | 4670852<br>7,0344 | 0,7554 |
| irafmts70 | 4 | 1081979<br>99,5700 | 1317184<br>0,9297  | 1,5659 | 1078183<br>83,0333 | 0,0035 | 6049511<br>1,9815 | 0,5656 |
| irafmts71 | 0 | 798461<br>0,9700   | 275710<br>5,0902   | 0,9733 | 889371<br>6,1942   | 0,1077 | 582541<br>0,6422  | 0,3127 |
| irafmts71 | 1 | 836234<br>8,9260   | -250172<br>3,1344  | 2,0000 | 868392<br>5,5892   | 0,0377 | 309110<br>1,2274  | 0,9205 |
| irafmts71 | 2 | 835651<br>3,4520   | 226604<br>1,9915   | 1,1467 | 886269<br>1,6520   | 0,0588 | 556436<br>6,8217  | 0,4011 |
| irafmts71 | 3 | 859365<br>6,9240   | -208378<br>5,1011  | 2,0000 | 870811<br>0,4395   | 0,0132 | 331216<br>2,6692  | 0,8872 |
| irafmts71 | 4 | 836249<br>9,2920   | 191159<br>8,0786   | 1,2558 | 884136<br>1,4613   | 0,0557 | 537647<br>9,7700  | 0,4347 |
| irafmts72 | 0 | 2072522<br>6,8200  | 460445<br>4,5299   | 1,2729 | 2289379<br>0,5257  | 0,0994 | 1374912<br>2,5278 | 0,4047 |
| irafmts72 | 1 | 2104068<br>7,7400  | -417310<br>8,9127  | 2,0000 | 2362614<br>8,0099  | 0,1158 | 972651<br>9,5486  | 0,7355 |
| irafmts72 | 2 | 1846124<br>2,9500  | 377588<br>0,4825   | 1,3208 | 2298858<br>0,0892  | 0,2184 | 1338223<br>0,2858 | 0,3190 |
| irafmts72 | 3 | 2330510<br>0,6100  | -346872<br>9,9616  | 2,0000 | 2355223<br>3,4289  | 0,0105 | 1004175<br>1,7337 | 0,7955 |
| irafmts72 | 4 | 2085026<br>3,3500  | 317917<br>2,2930   | 1,4708 | 2305504<br>5,2646  | 0,1004 | 1311710<br>8,7788 | 0,4553 |