

На правах рукописи

**МЫЛЬНИКОВ Леонид Александрович**

**МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ  
ДИНАМИЧЕСКОЙ АКТУАЛИЗАЦИИ ПОРТФЕЛЯ  
ПРОЕКТОВ ДИСКРЕТНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

Специальность:

05.13.10 — Управление в социальных и экономических системах

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Пермь — 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Научный консультант: доктор экон. наук, профессор  
**Файзрахманов Рустам Абубакирович**

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Автореферат разослан DD mmmmmmmm 2020 года.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
доктор техн. наук, доцент

# I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## Актуальность темы.

Современные производственные системы (ПрС) представляют собой гетерогенную систему, включающую в себя социальные, экономические и технические подсистемы, функционирующие под влиянием эндогенных и экзогенных факторов, которые характеризуются динамичностью, многомерностью, неопределённостью и наличием сложных взаимосвязей.

Конкурентное преимущество ПрС и возможность обеспечения устойчивого развития во многом складываются из концепций и моделей, которые используются для поддержки процессов принятия решений и зависят от скорости и качества управленческих решений, их обоснованности и согласованности действий всех подсистем ПрС, адаптивности к изменяющимся условиям при управлении производственно-экономической деятельностью.

Учёт этих факторов находит отражение в формировании экономически эффективного производственного портфеля ПрС. Согласно данным Росстат, с 2010 года наблюдается замедление роста индекса производства в промышленности Российской Федерации. Известно, что наибольшей экономической эффективностью обладает инновационная продукция. Однако, по данным Росстата за 2010–2018 годы доля инновационной продукции в экономике России не растёт и колеблется в диапазоне 4–9%, что во многом объясняется недостатком эффективных методов управления и формирования производственных портфелей и управления ПрС в целом.

Важность повышения экономической эффективности ПрС и использование для этого информационных систем и методов интеллектуального управления подтверждается государственной программой Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение её конкурентноспособности» и национальной программой «Цифровая экономика Российской Федерации» на период до 2024 года.

Таким образом, в современных условиях существует необходимость развития концепций, моделей и методов, обеспечивающих эффективное и обоснованное управление текущими портфелями проектов ПрС в условиях диффузии инноваций, обусловленной потоками ресурсов и процессами включения новых и исключения исчерпавших свой ресурс проектов и их движением во внешней среде.

Актуальность и выбор темы диссертационного исследования объясняется необходимостью совершенствования моделей, методов и информационных систем поддержки принятия управленческих решений для управления производственными портфелями ПрС на оперативном и тактическом уровнях с учётом структурных особенностей рассматриваемых ПрС, эндогенных и экзогенных факторов основанных на упреждающей аналитике для устойчивого функционирования ПрС.

### Степень разработанности темы.

Методам поддержки принятия управленческих решений в ПрС и управления портфелями проектов посвящено большое количество трудов российских и зарубежных учёных, которые учитывают различные аспекты управления, особенности организации ПрС, среды, в которой они функционируют, и которые могут быть сгруппированы по уровню формализации, методам и подходам, положенным в основу, и факторам, которые они учитывают.

Теоретические и концептуальные основы информационного управления ПрС рассмотрены в работах А. Файоля, А. Калмеса, Г. Ганта, Ф. Тейлора, К. Исикавы, У.Э. Деминга, Н. Винера, У.Э. Шухарта, М. Амберга.

Процессы внедрения инновационных продуктовых проектов, включая разработку моделей планирования и управления инвестиционными проектами, рассмотрены в трудах П.Л. Виленского, В.Н. Лившица, С.А. Смоляк, А.Л. Лурье, Д.С. Львова, Г.Б. Клейнера, Ж. Тироля, Г.Г. Гемюндена.

Методы управления выбора проектов и формирования портфеля с учётом меры риска, связанной с дисперсией и ожидаемой эффективностью, рассмотрены Г. Марковицей, В. Шарпом, Дж. Линтнером, Ж. Моссиным, Д. Тобиным; основанные на стоимостной мере риска – Р. Литтерманом; комплексной оценке рисков проектов и внедряющих их ПрС Д.Л. Олсоном; оценке информационных рисков в задачах управления и планирования производственной деятельностью – А.О. Калашниковым и другими.

Задачи эффективного производственного планирования с учётом особенностей ПрС описаны в работах Дж. фон Неймана, Л.В. Канторовича, К.-И. Войгта.

При рассмотрении усреднённых характеристик среды, в которой функционируют ПрС, используются модели, разработанные В.В. Леонтьевым, Ч. Коббом, П. Дугласом, Р. Алленом, Р. Солоу, М. Хилхорстом.

Изучение динамики функционирования ПрС на основе метода системной динамики, дискретно-событийного подхода, алгоритмических методов моделирования описаны в работах Дж. Форрестера, Дж. Гордона, Б.Я. Советова, в том числе информационного обеспечения производственной деятельности в трудах О.Б. Низамутдинова, А.В. Кострова, И.В. Лысенко.

Методы формирования производственных программ с учётом динамического характера процессов производства рассмотрены А.А. Первозванским, В.Н. Бурковым, Дж.Б. Кларком, И. Максимеем, Р.А. Файзрахмановым, Е.В. Долговой, Б.Г. Ильясовым, О.В. Логиновским.

Особенности управления иерархическими системами и учёт взаимосвязи подсистем ПрС рассмотрены в работах О. Моргенштерна, Д. Сэдвича, Р.К. Саха, Дж. Стиглица, М. Месаровича, Дж. Николиса, Д.А. Новикова, В.А. Харитонова.

Отдельные аспекты, связанные с диффузией проектов и технологий, рассмотрены такими авторами, как Э.М. Роджерс, Т. Хагерстранд, Дж.Ф. Рейнганум, Э. фон Хиппель, Д. Хэй, Д. Моррис, И.Л. Туккель.

Анализ существующих работ показывает, что проблема повышения экономической эффективности за счёт управления портфелями проектов в условиях диффузии инноваций, инертности внутренней и внешней сред ПрС и нечёткого характера прогнозов, используемых для решения задач планирования на основе прогнозной аналитики и робастных методов математического программирования в динамической постановке, не может считаться решённой и требует дальнейшего исследования.

**Объектом исследования** являются производственные системы и процессы, протекающие при реализации портфелей проектов.

**Предмет исследования** — модели и методы управления портфелями проектов производственных систем в условиях диффузии инноваций, обеспечивающих их устойчивое развитие.

**Целью** является разработка концепции, методологических основ и инструментальных средств для повышения экономической эффективности производственных систем на основе управления процессами актуализации портфелей производственных проектов и методов упреждающей аналитики.

Для достижения сформулированной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработать концепцию основы управления портфелями инновационных проектов в условиях диффузии проектов с учётом вариативности параметров производственных систем и неопределённости внутренних и внешних факторов.

2. Разработать модели, методику и алгоритмы динамического формирования производственного портфеля проектов производственной системы с учётом необходимых ресурсов в условиях неопределённости параметров среды.

3. Разработать модель объёмно-календарного планирования для заданного состава портфеля проектов в условиях неопределённости внешних и внутренних факторов и фактора времени.

4. Разработать методы и алгоритмы упреждающей аналитики для оценки значений параметров внешней среды с учётом диффузии инновационных проектов и отсутствия достоверных сведений о реакции рынка на изменения состава портфеля проектов производственной системы.

5. Разработать методику построения и формализации моделей и алгоритмов системы поддержки принятия решений по ресурсно-технологической поддержке оптимальных режимов функционирования производственной системы при заданной структуре портфеля проектов в условиях ограниченных ресурсов и неопределённости внешней среды.

6. Разработать проблемно-ориентированную информационную систему управления портфелями проектов производственных систем на основе предложенных моделей, методов и алгоритмов.

**Научная новизна:**

1. Предложена концепция включающая методологические основы управления процессом динамического формирования производственного портфеля инновационных проектов в условиях диффузии инноваций, неопределённости внутренней и внешней сред функционирования производственно-экономической системы, которая *отличается* формированием предложений по составу портфеля в режиме реального времени, оценкой необходимых ресурсов, факторов внешней и внутренней среды с использованием упреждающей аналитики, соответствующих моделей, методик и алгоритмов, что *позволяет* реализовать эффективное управление производственно-экономической системой на основе анализа рисков, показателей эффективности и регулярной актуализации производственного портфеля (п. 2 паспорта специальности 05.13.10).

2. Разработаны динамические модели для формирования производственного портфеля, *отличающиеся* использованием динамических оценок эффективности портфеля проектов, необходимых ресурсов и технологий, плавающего горизонта планирования, динамического шага времени и взаимной связи параметров производственной системы и проектов при актуализации портфеля проектов, что *позволяет* формировать экономически обоснованные планы реализации проектов в производственных системах в заданных условиях среды (п. 3 паспорта специальности 05.13.10).

3. Разработана математическая модель задачи объёмно-календарного планирования и итерационная схема её решения, *отличающиеся* тем, что модель в комплексе учитывает объём привлекаемых инвестиций, временные и ресурсные ограничения производственной системы, инерционный характер отношений между производственной системой и рынком сбыта; объёмные и ценовые характеристики рынка задаются в нечёткой форме с предварительно не определённой формой функции принадлежности; схема использует двушаговый алгоритм сужения области допустимых решений в нечёткой форме для определения наиболее вероятных траекторий развития с учётом предпочтений лиц, принимающих решения, которые *позволяют* выполнить сценарные расчёты траекторий развития производственно-экономической системы и предложить варианты планов реализации портфелей проектов в производственных системах лицу, принимающему решения (п. 4 паспорта специальности 05.13.10).

4. Предложен метод прогнозирования параметров рынка, *отличающийся* использованием когнитивных карт с переменными значениями коэффициентов связей между узлами, учётом влияния диффузии совместно с непараметрическими методами прогнозирования, выбор которых осуществляется на основе рисков, описанием величины ошибки с помощью заранее не

заданной функции принадлежности, определением величины горизонта планирования на основе оценок риска, что *позволяет* повысить точность прогнозирования значений, увеличить горизонт времени, для которого прогнозы остаются адекватными (п. 6 паспорта специальности 05.13.10).

5. Разработана методика построения модели технологической структуры, *отличающаяся* учетом имеющихся, производимых и закупаемых ресурсов для реализации заданного состава портфеля производственной системы с учётом их взаимозаменяемости и замещаемости, что *позволяет* получить оценку стоимости реализации заданного портфеля (пп. 5 и 6 паспорта специальности 05.13.10).

6. Разработана информационная система для управления процессом актуализации производственным портфелем производственных систем, *отличающаяся* тем, что она основана на предложенных концепции, методах, моделях и алгоритмах управления портфелем проектов и *позволяет* осуществлять информационную поддержку принятия управленческих решений (пп. 12 паспорта специальности 05.13.10).

**Теоретическая значимость.** Разработана концепция управления портфелями проектов на основе учёта динамики взаимодействия проекта, ПрС, рынка и адекватные современным требованиям модели оценивания и выбора проектов для формирования портфелей проектов с учётом перекрёстности и взаимовлияния процессов, протекающих в ПрС, их инертности, изменчивости среды, в которой они функционируют и диффузии проектов.

Созданы новые модели актуализации производственного портфеля и объёмно–календарного планирования на основе формирования множества сценариев и траекторий развития проектов с переменным дискретным шагом времени, связанных с оценками рисков, горизонтом планирования, множеством точек принятия решений.

Разработаны методы работы с данными, позволяющие повысить точность прогнозирования за счёт учёта характера исследуемых данных, диффузии проектов и выявления стохастической составляющей на основе анализа ретроспективных значений временных рядов и взаимной связи параметров и проектов ПрС.

На основе исследования системных связей и закономерностей функционирования класса исследуемых объектов сформулирована методика построения модели ПрС и предложена процедура использования и исследования полученных моделей.

**Практическая значимость** результатов диссертации. На основе разработанных концепции, моделей, методов и алгоритмов синтезирован комплекс проблемно-ориентированных программных решений (свидетельства о ГР программ для ЭВМ) для анализа данных и построения адаптивных моделей на основании объективных данных, которые позволяют оценивать варианты развития и риски, связанные с изменчивостью внешней среды. Разра-

ботаны примеры реализации моделей, рассматривающие задачи, связанные с формированием производственных портфелей ПрС.

С использованием разработанных методов, моделей и инструментальных средств разработана архитектура и создана проблемно-ориентированная информационная среда, которая может быть интегрирована в существующую информационную инфраструктуру предприятия и может реализовывать необходимую для управления портфелем проектов информационную поддержку.

**Реализация и внедрение.** Результаты диссертации использованы при реализации государственной программы «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» и национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в Пермском крае, учебном процессе кафедр «Информационные технологии и автоматизированные системы» и «Микропроцессорные средства автоматизации» при преподавании дисциплин «Информационно-аналитическая поддержка инновационной деятельности» для студентов направления 27.03.05 «Инноватика», «Моделирование и инструментальные методы управления социальными системами» для магистрантов направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» и «Статистические методы интеллектуального анализа данных» направления 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», а также для выработки рекомендаций по управлению производственным портфелем промышленных предприятий и организации их деятельности под потребности рынка, при выполнении работ в интересах промышленных предприятий РФ.

Результаты диссертационного исследования внедрены на Научно-производственном предприятии «СтэлсПромМаш» (г. Пермь), предприятии «ЭНТЕЛ-Интеграция» (г. Москва), Региональном центре инжиниринга (г. Пермь), Пермском национальном исследовательском политехническом университете, Пермском центре научно-технической информации - филиал ФГБУ «Российское энергетическое агентство «Министерства энергетики РФ».

Содержание исследования соответствует Государственным программам РФ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», «Цифровая экономика Российской Федерации», «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности».

**Методы исследования.** В работе применялись положения теории систем, теории управления, системного анализа и исследования операций, теории принятия решений, теории вероятностей, методы экономико-математического моделирования, методы машинного обучения и когнитивного моделирования, математической статистики, структурного анализа, нечёткая логика. Для апробации алгоритмов разрабатывалось программное обеспечение

с использованием методов объектно-ориентированного программирования и методологии структурного анализа и проектирования.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Концепция управления портфелем проектов производственных систем, ориентированных на постоянный выпуск новых продуктов с учётом специфики производственной системы, проектов и среды, в которых они существуют, и динамики их изменения.

2. Комплекс моделей и методик поддержки принятия управленческих решений и планирования для эффективного управления портфелями инновационных проектов производственных систем в условиях диффузии проектов, неопределённости внешней среды и взаимной связи параметров производственной системы и проектов, включающих:

– модели и методику непрерывной актуализации портфеля проектов производственной системы;

– модель формирования эффективного множества объёмно-календарных планов для заданного состава портфеля проектов;

3. Методы и алгоритмы обработки и анализа информации, представленной в виде временных рядов, для решения задач прогнозирования, получения коридоров возможных отклонений значений, величины горизонта планирования и оценок рисков планирования:

– параметрический метод прогнозирования значений параметров заданных временными рядами учитывающий динамику их изменения, степень взаимного влияния других параметров и диффузию проектов;

– метод определения достоверного горизонта планирования;

– алгоритмы определения величины риска, связанной с использованием прогнозов, и представления значений прогнозов в нечёткой форме.

4. Методика построения модели производственной системы, обеспечивающая объединения моделей подсистем производственной системы в единую модель управления на её основе взаимодействием подсистем ПрС.

5. Комплекс программных средств и процедура их использования для эффективного управления портфелями проектов производственных систем и выработки управленческих решений, обеспечивающих учёт их специфики и позволяющих рассматривать инновационные проекты без ограничений, связанных со спецификой проектов и производственных систем.

6. Результаты экспериментальных исследований эффективности разработанной концепции управления портфелями инновационных проектов производственных систем на ретроспективных данных.

**Обоснованность и достоверность.** Предложенные в диссертации новые модели, методы и алгоритмы обоснованы, строго аргументированы и критически сопоставлены с другими известными результатами. Достоверность полученных результатов обеспечивается применением научной методологии, методологии эмпирического анализа, подробным обсуждением адекватности исходных предположений и выдвигаемых гипотез, математическим

обоснованием и верификацией полученных решений на реальных данных. Результаты подтверждаются проведением вычислительных экспериментов, сопоставлении полученных результатов с имеющимися ретроспективными данными, а также использованием полученных методов и моделей при решении практических задач. Они не противоречат и расширяют выводы, полученными другими авторами.

#### **Связь исследования с другими проектами. Апробация работы.**

Основные разделы исследования выполнены согласно тематике государственного задания №26.12335.2018/12.1 «Разработка концепции цифровых платформ для исследований и разработок, а также разработка и утверждение долгосрочной программы их создания и внедрения в сети научных, образовательных организаций и технологических компаний Российской Федерации» (2018 г.), гранта Правительства Пермского края № С-26/058 «Разработка программного обеспечения и экономико-математических моделей для поддержки процессов управления инновационными проектами в производственных системах» (2016-2018 гг.), гранта фонда Hanns Seidel Stiftung «Использование данных прогнозов для управления инновационными проектами» (2011-2012).

**Апробация научных результатов работы:** основные результаты работы докладывались на XIII всероссийском совещании по проблемам управления (ВСПУ–2019) (г. Москва, 2019), международной научной конференции «Математические Методы в Технике и Технологиях (ММТТ-32)» (г. Санкт-Петербург, 2019), международной конференции «Applied Innovation in IT» (г. Кётен, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020), международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (г. Санкт-Петербург, 2017, 2018), международной конференции «Modelling, Simulation and Applied Mathematics» (г. Бангкок, 2017), международной конференции «Applied Mathematics, Simulation and Modeling» (г. Пекин, 2016), всероссийской школе-семинаре молодых учёных «Управление большими системами» (г. Ижевск, 2009; г. Пермь, 2010; г. Магнитогорск, 2011; г. Уфа, 2013), международной конференции «International-Business-Information-Management-Association Conference» (г. Каир, 2009; г. Вена, 2013), научно-технической конференции «Управление большими системами» (г. Москва, 2011).

**Личный вклад.** Автор разработал основные теоретические положения, выносимые на защиту; разработал методы и алгоритмы, вошедшие в структуру концепции. Автором ставились и решались задачи проведения экспериментов и разработки программного обеспечения. Вклад автора в основные опубликованные работы был определяющим. Все представленные в диссертационном исследовании результаты получены лично автором.

**Публикации.** Основные результаты по теме диссертации изложены в 64 печатных работах, 17 из которых опубликованы в изданиях, входящих в международные индексы научного цитирования WoS и SCOPUS, 10 в журналах, входящих в перечень изданий рекомендованных ВАК РФ, 3 моногра-

фиях, 2 разделах в коллективных монографиях, 1 учебном пособии, 6 свидетельствах о регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения из списка использованной литературы из XXX наименований, а также X приложений. Объём диссертации составляет XXX страниц машинописного текста, общий объём диссертации составляет XXX страниц.

## II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определена тематика исследований; обосновывается актуальность исследований, проведённых в рамках данной диссертационной работы; сформулирована цель; ставятся задачи работы; представлены выносимые на защиту научные положения, сведения об апробации, реализации и внедрении результатов работы, сведения о публикациях; сформулированы научная новизна и практическая значимость представляемой работы. Приведены сведения об объёме и структуре работы.

**Первая глава** посвящена введению основных понятий, определению границ и класса рассматриваемых ПрС и проектов, изложению концептуальных основ и методологии управления портфелями проектов при реализации их в ПрС в условиях рынка.

Планирование и управление проектами и ПрС базируется на выборе показателей управления; принципе непротиворечивости целей подсистем ПрС и реализуемых в ней проектов; принципе инвариантности и совместном характере состояний в точках принятия решений; принципе комплементарности (взаимодополнения) реализуемых в системе проектов и выпускаемой продукции; принципе необратимости принятых управленческих решений, принципе информационной поддержки деятельности ПрС, а также оперативной и достоверной информации.

Для того чтобы реализовать эти принципы, необходимо реализовать функции планирования, организации, мотивации, контроля, координации. Учитывая изменчивый характер внешней среды (рынка и портфеля проектов) и самой ПрС, будем их реализовывать, опираясь на принцип управления по предсказываемому возмущению. При этом необходимо учитывать, что система не может постоянно менять набор реализуемых в ней проектов и выпускаемой продукции в связи с риском возникновения такого явления, как инновационный регресс. Поэтому для включения или исключения из производственной программы проект должен пройти проверки – фильтры.

Деятельность ПрС можно разделить на процессы производства (операции), реализацию проектов и выпуск изделий. Операционный процесс означает решение текущих задач производства и реализации продукции. Процесс планирования связан с реализацией инноваций, решением перспективных задач для будущего производства (передача конкуренции из сферы производства в сферу инноваций). ПрС выступает связующим звеном для процессного

(операции) и проектного (инновации) подходов. Их доходность обеспечивается рыночной долей и структурой затрат, которые обеспечивают сбалансированное производство товаров. Таким образом, ориентируясь на максимизацию прибыли, необходимо находить наибольшее число эффективных проектов и реализовывать их в максимально сжатые сроки.

В условиях работы на открытый рынок ПрС существуют в среде неопределённости условий действий (неопределённости факторов среды и процессов); они сталкиваются с повышенным уровнем ответственности при принятии управленческих решений, многофакторностью и многопараметричностью протекающих процессов, связанных с разной степенью взаимодействия параметров и влияния факторов на разных стадиях и фазах реализации проектов; значительным объёмом информации, затрудняющем обзоримость ПрС; существованием пространственной и временной взаимосвязи между элементами проектов; необходимостью ПрС переключаться на различные типы поведения при изменении внешних условий.

В ПрС, ориентированных на инновации, инвестиции в инновации обеспечивают дополнительную ценность с определённой задержкой времени. ПрС должна следовать определённым функциональным отношениям, взаимосвязям между подсистемами, параметрами и реализуемыми проектами, такими как выпуск и продажа, производственные затраты и так далее.

Процесс поддержки принятия управленческих решений не сводится к единичному поиску оптимальных или хороших решений, а является итерационным процессом, который сам требует формализации процессов для обоснования выбора того или иного решения во времени; такая постановка проблемы объясняется тем, что движение к целевым показателям не является одношаговым процессом, а представляет собой траекторию взаимозависимых состояний. Целевые показатели изменяются во времени и могут представлять собой множество величин, связанных различными типами отношений; такое положение дел характерно для проектов, которые реализуются в конкурентной рыночной среде и являются приоритетными (проекты, необходимые для существования ПрС и влияющие на скорость их развития). В связи с этим процесс управления проектами рассматривается как процесс пересмотра и обновления списка реализуемых проектов и ресурсов, выделяемых на их реализацию, а задача управления проектами в ПрС связана с задачей управления производительностью и эффективностью.

Для описания процесса функционирования ПрС  $\Psi$  представим её в виде кортежа  $\Psi = \{W, q^{(0)}, Q, J\}$ , в котором выделяются следующие **параметры управления**:  $W = \{w_1, w_2, \dots\}$  — производственный портфель, складывающийся из проектов  $w$ ; **управляемые параметры**:  $Q = \{X, Y\}$  — множество состояний ПрС, характеризующихся объёмами выпуска продукции  $X$  и конфигурацией ПрС  $Y$ ,  $J = \{NPV, R, t\}$  — множество возможных переходов между возможными состояниями ПрС, характеризующимися величиной чисто-

го дисконтированного дохода ( $NPV$ ) и рисками, связанными с переходами ( $R$ ); **ограничения**, связанные с текущим состоянием ПрС  $q^{(0)}$ .

Управляющее воздействие можно сформировать на основе моделирования. Для этого необходимо рассмотреть ПрС. Рассматриваемая система является «открытой по среде» и «открытой по конечной цели». Управление осуществляется за счёт изменения состояния ПрС  $Q$  путём управления портфелем реализуемых в ней проектов.

Развитие методов автоматизированного анализа и управления деятельностью ПрС становится невозможным без учёта вариативности и многофакторности процесса реализации портфеля проектов в ПрС, учёта инертности процессов и синхронизации работы её подсистем и окружения в условиях стохастического непрерывного потока новых проектов, неопределённости рынка и поведения конкурирующих ПрС (см. рис. 1), а задача управления портфелем проектов сводится к построению модели ПрС для формирования конечного множества возможных состояний, формирования множества проектов для производственной корзины, определения точек принятия решений и горизонта планирования.

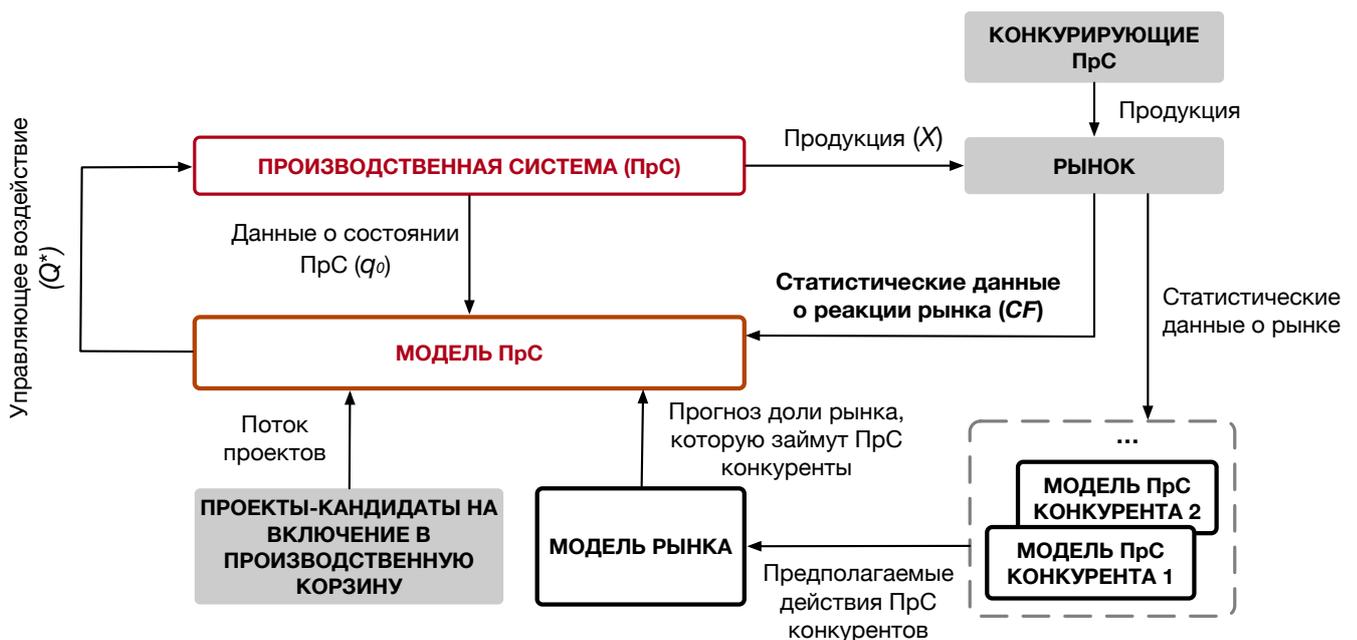


Рис. 1 — Концептуальная схема управления ПрС на основе актуализации портфеля проектов

Задача поиска решения для ПрС является разрешимой, если множества значений параметров  $Q$ ,  $W$ ,  $J$  и их дополнения являются конечными множествами. Это возможно, если работать с ограниченным множеством проектов  $W$ , рассматривать ограниченное множество состояний  $Q$ , дискретное время  $t$  с заданным горизонтом планирования (ввести точки во времени  $i$ , в которые происходит поиск решения и корректировка управляющего на ПрС воздействия).

Решением задачи в этом случае становится ранжирование множества возможных переходов  $J$  между возможными состояниями ПрС  $Q$  во времени на основе векторного критерия  $J(NPV, R, t) = (NPV(X, \mathbb{I}, CF, t), R(X, \mathbb{I}, t))$ , в котором  $CF$  — денежный поток, поступающий в ПрС с рынка,  $t$  — время, (см. рис. 2, на котором  $i$  номер точки принятия решения в рассматриваемом периоде времени от  $t_n$  ( $i = 0$ ) — время начала планирования до  $t_k$  ( $i = \Gamma$ ) — время окончания планирования),  $X$  — объёмно-календарный план,  $\mathbb{I}$  — объём инвестиций, необходимый для реализации плана  $X$ .

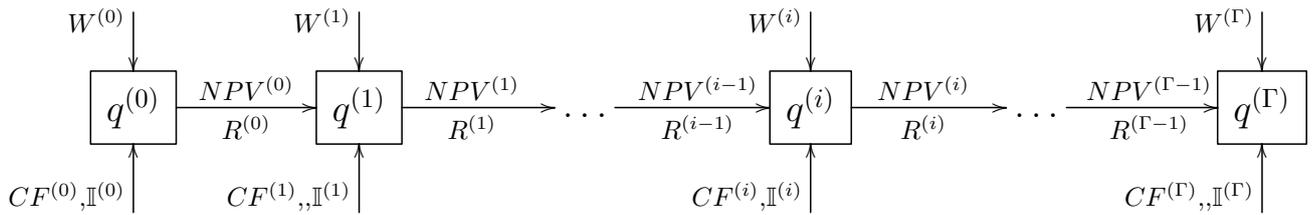


Рис. 2 — Множество поиска решений при управлении эффективностью ПрС как траекторий во времени ( $q_i$  — множество возможных состояний на  $i$  шаге планирования)

**Утверждение 1.** Пусть задано множество наборов последовательностей состояний (траекторий), которое необходимо структурировать  $J = J_l \cup J_u, J_l \cap J_u = \emptyset$ . Определённое значение класса из множества известных классов  $S_l$  поставлено в соответствие траекториям в  $J_l$ . Траектории в  $J_u$  не размечены.  $S_l$  является неизвестным подмножеством классов из полной коллекции:  $S = S_l \cup S_u, S_l \cap S_u = \emptyset$ . Тогда **ранжирование решений** заключается в определении категорий для значений из  $S_u$  и нахождении функции отображения  $F$  посредством описания преобразования сущностей из  $J$  в категории  $S, F : J \rightarrow S, \forall J$ .

Решение задачи управления будет сводиться к определению множества значений векторов  $NPV, R$  их ранжировании  $S$ . Тогда задача может быть структурирована, как представлено на рис. 3.

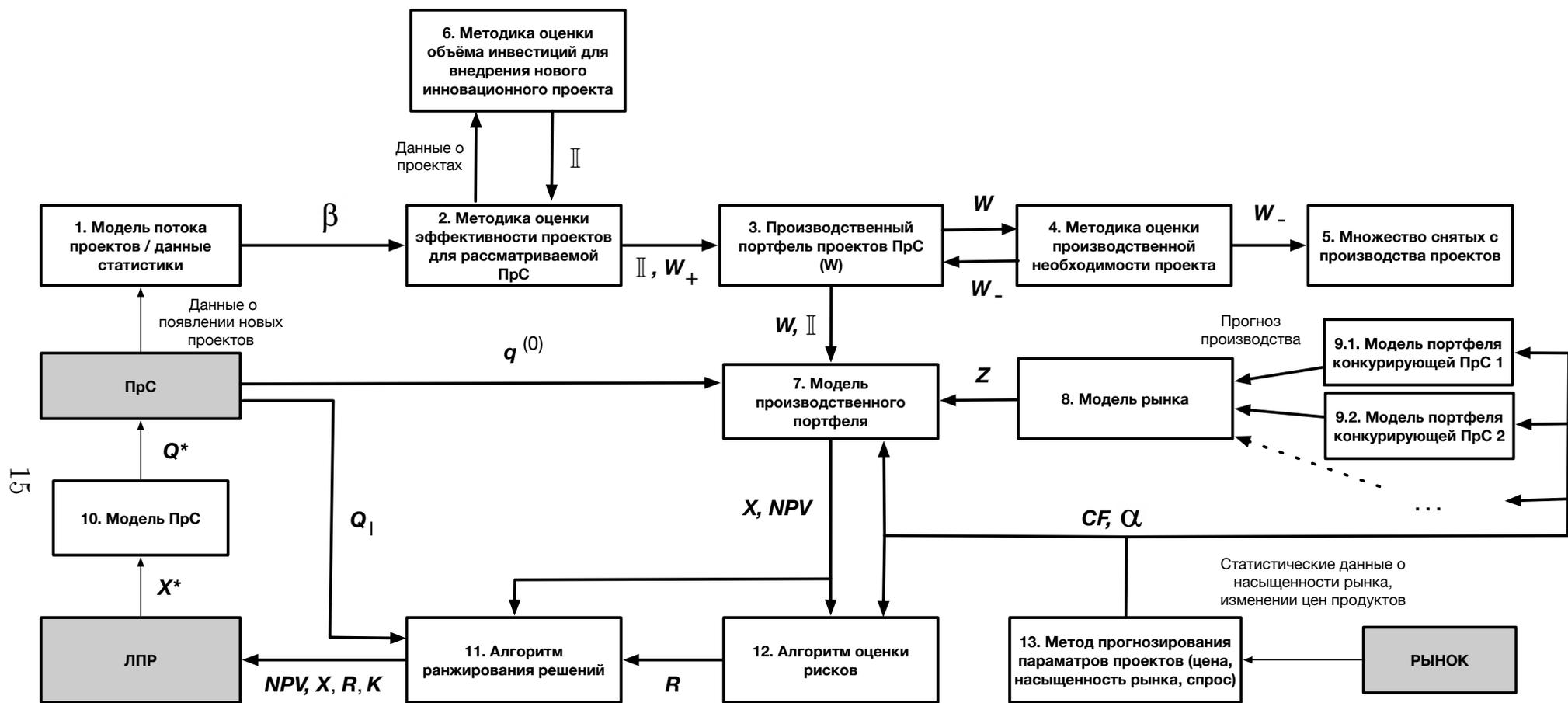


Рис. 3 – Концептуальная модель управления портфелем проектов ПрС ( $W_+$  – множество добавляемых в корзину проектов,  $W_-$  – множество исключаемых из корзины проектов,  $Z$  – вектор оценок долей рынка, занимаемых конкурирующими ПрС по каждому из виду продукции из портфеля проектов  $W$ ,  $X^*$  – последовательность объёмно–календарных планов на период, равный горизонту планирования  $\Gamma$ ,  $Q^*$  – последовательность состояний ПрС на период, равный горизонту планирования  $\Gamma$ ,  $\alpha$  – спрос на проекты,  $\beta$  – поток проектов),  $Q_i$  – размеченные траектории (предыдущий опыт выбора и отказа от траекторий))

Во **второй главе** рассматриваются принципы построения моделей для управления портфелем проектов ПрС.

Реализация указанной методологии требует учёта изменения во времени внутренней и внешних сред ПрС. Это говорит о том, что для решения задачи выработки управляющего воздействия как последовательности действий, приводящих к последовательности событий, необходимо наличие у моделей свойства адаптивности, что в свою очередь требует развития методов работы с наборами данных, задаваемых временными рядами.

Фактором развития ПрС является деятельность, связанная с реализацией новых и прекращением выпуска старых проектов. Такая стратегия позволяет произвести модернизацию технологий и организацию процессов производства. Производственная программа определяет перечень проектов для реализации ( $W$ ), обеспеченность ресурсами, рассчитываются технико-экономические и финансовые индикаторы и параметры. Для каждого проекта формируются функции объёма продаж (спроса) и рыночной стоимости на основе данных прогнозирования и ретроспективных данных. Определяются значения затрат и прибыли, формируются ограничения, исходя из возможностей по ресурсам и мощностям.

Для рассмотрения процесса появления и выхода на рынок инновационных проектов выделим несколько множеств состояний и взаимосвязей между ними: ( $\mathbb{B}$ ) — множество проектов кандидатов, ( $\mathbb{D}$ ) — множество ПрС, ( $\mathbb{E}$ ) — множество рынков.

Выбирая конкретную ПрС, можно построить структурную схему для её окружения (см. рис. 4) и рассматривать процесс управления как последовательность нахождения состояний (рис. 2). Как можно увидеть на рис. 4, управление состоянием ПрС связано с состоянием внешней среды (множество проектов ( $\mathbb{B}$ ), а также множеством рынков ( $\mathbb{E}$ )). Учитывая, что  $\mathbb{I}^{(i)}$  — это инвестиции в проекты,  $CF^{(\mathbb{D})^{(i)}}$  — ресурсы, которые необходимо найти для перехода в новое состояние, то, если ресурсы рассматривать как финансовые ресурсы или перевести все виды ресурсов в денежное выражение, тогда можно записать уравнение баланса  $CF^{(i+1)} = CF^{(\mathbb{D})^{(i+1)}} + \mathbb{I}^{(i)}$ .

Общие затраты на организацию выпуска инновационной продукции в ПрС складываются из расходов на приобретение оборудования, программных средств, оплату труда, патентное и информационное обеспечение, детали и материалы, финансирование внешних работ и сопутствующих проектов. Такие проекты характеризуются зависимостью от технико-экономических или технологических факторов.

Объём инвестиций, который необходимо потратить на реализацию проектов в ПрС, представлен выражением  $\mathbb{I} = \sum_{w=1}^W \mathfrak{I}_w$ , где  $w$  — продукт из производственной корзины ПрС. В этом выражении

$$\mathbb{I}_w = \begin{cases} \mathfrak{I}_w, & \text{если изделие } w \text{ уже выпускалось ранее,} \\ I_w, & \text{если выпуск изделия } w \text{ начинается впервые,} \end{cases}$$

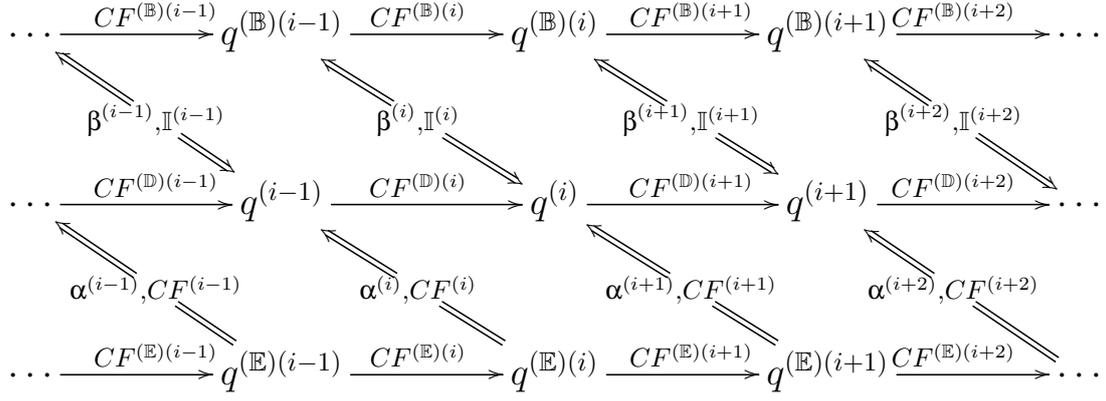


Рис. 4 — Окружение рассматриваемой ПрС без учёта влияния конкурирующих ПрС

где  $\mathfrak{J}_w = \sum_{k \in K_w} \mathfrak{J}_{k,w}(x_{k,w})$  — стоимость повторного запуска в производство проекта  $w$  (складывается из стоимостей повторного запуска на каждой из производственных линий  $k$ , на которых возможно его производство  $K_w$ ),  $I_w^{(i)}$  — объём инвестиций на проект  $w$ ,  $I_w = e^{\frac{b\vartheta n}{\kappa}} \sum_{i=T_n}^T \frac{(1-\tau)(R_{3w} \cdot H_w \cdot x_w^{(i)} + R_{\text{ш}w} \cdot H_w \cdot x_w^{(i)} - H_{f,w})}{(1+\vartheta)^i}$ , где  $T_n$  — время, затрачиваемое на НИОКР,  $\tau$  — ставка налога на прибыль,  $H_w$  — переменные затраты на одну единицу выпуска нового изделия  $w$ ,  $H_{f,w}$  — часть постоянных затрат, приходящихся на новое изделие  $w$ , произведение  $R_{3w} \cdot H_w \cdot x_w^{(i)}$  — представляет собой операционный доход, а  $R_{\text{ш}w} \cdot H_w \cdot x_w^{(i)}$  — рентный доход, обусловленный конкурентным преимуществом ПрС,  $e^{\frac{b\vartheta n}{\kappa}}$  — специальный мультипликатор (корректирующий множитель),  $b$  — коэффициент, который отражает степень неточности планируемых инвестиционных решений и определяется экспертом,  $\vartheta$  — оценка конструктивной сложности изделия,  $x_w$  — искомое количество выпускаемой продукции  $w$ ,  $\vartheta$  — уровень планируемой доходности,  $\kappa$  — инновационный потенциал ( $0 \leq \kappa \leq 1$ ).

Аналогичным образом может быть введена величина оценки инвестиций в замену/модификации оборудования и технологий  $CF^{(D)}$ , приводящих к увеличению производственных мощностей, производительности или позволяющих выпускать новые виды изделий  $w$ . То есть  $U_{k,w}, \forall k$ , где  $U_{k,w}$  — производственная мощность по выпуску изделия  $w$  на производственной линии  $k$ . В случае, если инвестиционная деятельность предприятия не планируется более чем на один шаг, то  $CF^{(D)(i+2)} = 0$ .

$CF^{(i+1)} = \sum_{w=1}^W \alpha_w^{(i+1)} \cdot C_w^{(i+1)}$ , где  $C_w$  — прогноз цены единицы продукции  $w$ . Использование прогнозов позволяет, с одной стороны, снизить неопределённость в задачах планирования, с другой стороны, вносит риски, связанные с ошибками прогнозирования.

Реализация модели (её структура) и получение решения определяется особенностями производства и процесса принятия решения на конкретном предприятии и состоит из задач планирования и обеспечения производственной деятельности. Учитывая требование того, что получаемое множество решений составляет конечное множество, получаем ограничение на способ формализации задач.

Задача оптимального планирования портфеля проектов может быть записана как задача планирования производства с учётом взаимосвязи с соседними узлами графа (см. рис. 4), у которого множество вершин составляют состояния портфелей проектов ( $\mathbb{B}$ ), ПрС и рынков ( $\mathbb{E}$ ), а множество связей составляют потоки ресурсов ( $CF$ ). Специфика постановки задачи связана с особенностями организации производства рассматриваемой ПрС, а описанные зависимости, связанные с определением баланса потоков ресурсов, позволяют определить минимальные значения отдельных параметров. Однако эти значения могут быть превышены в связи с тем, что ПрС является активным элементом и может создавать дополнительную ценность.

Если принять, что для производства единицы продукции  $w$  требуется  $L_{l,w}$  материала типа  $l$ , а стоимость перехода с выпуска товара  $w_1$  на товар  $w_2$  равна  $m_{w_1,w_2}$ , тогда задача управления выпускаемой продукцией на основе динамического портфеля проектов на горизонт планирования ( $\Gamma$ ) будет выглядеть следующим образом (максимизация  $NPV$ ):

$$\sum_{i=0}^{\Gamma_1} \frac{\sum_{w=1}^{W^{(i)}} \left( C_w^{(i+1)} \cdot \sum_{k=1}^K x_{k,w}^{(i+1)} - \mathbb{I}_w^{(i+1)} \right) - \sum_{k=1}^K \sum_{w_1=1}^{W^{(i)}} \sum_{w_2=1}^{W^{(i)}} \left( m_{w_1,w_2} \cdot \theta(x_{k,w_1}^{(i)}, x_{k,w_2}^{(i+1)}) \right)}{(1+d)^i} \rightarrow \max,$$

$$\sum_{w=1}^{W^{(i)}} \sum_{k=1}^K x_{k,w}^{(i+1)} \cdot L_{l,w} \leq V_l^{(i)}, \forall l,$$

$$x_{k,w}^{(i+1)} \leq U_{k,w}^{(i+1)}, \forall k \in K_w,$$

$$x_{k,w}^{(i+1)} = 0, \forall k \notin K_w,$$

$$\sum_{k=1}^K x_{k,w}^{(i+1)} \leq \alpha_w^{(i+1)} \cdot Z^{(i+1)w}, \forall w,$$

$$\mathbb{I}^{(i+1)} = \sum_{w=1}^{W^{(i)}} \mathbb{I}_w^{(i+1)},$$

$$CF^{(i+1)} = \sum_{w=1}^{W^{(i)}} \sum_{k=1}^K C_w^{(i+1)} \cdot x_{k,w}^{(i)},$$

$$CF^{(i+1)} = CF^{(\mathbb{D})^{(i+1)}} + \mathbb{I}^{(i)},$$

$$\begin{aligned}
x_{k,w}^{(i+1)} &\geq 0, \forall w, k, \\
W^{(i+1)} &= \left( W^{(i)} \cap \overline{W_-^{(i+1)}} \right) \cup W_+^{(i+1)}, \\
C_w^{(i+1)} &= g_{C_w}^{(i+1)}(C_w^{(i)}, A_w^{(i)}, \Pi_w^{(i)}), \forall w \\
\alpha_w^{(i+1)} &= g_{\alpha_w}^{(i+1)}(A_w^{(i)}, C_w^{(i)}, \Pi_w^{(i)}), \forall w,
\end{aligned}$$

где  $W_+$  — множество проектов для включения в производственную корзину ПрС;  $W_-$  — множество проектов для исключения из производственной корзины ПрС;  $d$  — ставка дисконтирования;  $g$  — функция прогнозирования;  $C_w^{(i)} = (C_w^{(i)}, C_w^{(i-1)}, \dots, C_w^{(i-i^*)})$ ,  $A_w^{(i)} = (\alpha_w^{(i)}, \alpha_w^{(i-1)}, \dots, \alpha_w^{(i-i^*)})$  — вектора исторических значений, в которых  $i^*$  — количество используемых для прогнозирования значений,  $\Pi_w$  — вектора исторических значений других параметров, используемых для прогнозирования значений параметров проекта  $w$ ;  $t_{k,w}(x)$  — время выпуска  $x$  единиц продукции  $w$  на линии  $k$ ;  $\mathbf{l}$  — номер решаемой задачи планирования;  $Z_w^{(i)}$  — доля рынка, на которую претендует ПрС на  $i$  шаге для продукта  $w$  ( $0 \leq Z_w \leq 1$ ,  $Z_w = 1 - \sum_{j=1}^n z_{w,j}$ , где  $z_{w,j}$  — доля рынка  $j$  ПрС по продукту  $w$ );  $V_l$  — объем материала  $l$  на складе (если снять это ограничение, то, исходя из найденного  $x_w^{(i+1)}$ , можно определить потребность),

$$\theta(x_{k,w_1}^{(i)}, x_{k,w_2}^{(i+1)}) = \begin{cases} 1, & ((x_{k,w_1}^{(i)} = 0) \wedge (x_{k,w_1}^{(i+1)} > 0)) \vee ((x_{k,w_2}^{(i)} = 0) \wedge (x_{k,w_2}^{(i+1)} > 0)), \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Для решения задачи необходимо введение начальных условий для момента начала планирования (состояния  $i = 0$ ):

$W^{(0)}$  = Множество выпускаемых проектов ко времени начала планирования;

$$x_{k,w}^{(0)} = \begin{cases} \text{существующий объём выпуска, } \forall k, w, \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

$\mathbb{I}^{(1)}$  = Объём средств, которые планируется вложить в новую продукцию;

$CF^{(\mathbb{D})^{(1)}}$  = Объём средств, которые планируется вложить в производство.

Задача управления портфелем проектов при взаимодействии с внешней средой смещается в область формирования множеств потенциальных проектов, возможных модификаций и управления инвестиционной деятельностью ПрС с учётом ситуации на рынке.

**Утверждение 2.** Для каждой ПрС существует такой поток проектов  $\beta$ , а также характеристики проектов, системы  $(\tau_{w^{(i)}}, t_{w^{(i)}}, m)$  и рынка  $(\alpha_w, \forall w \in W^{(i)})$ , при которых система: 1) не может быть эффективной; 2) перестанет обрабатывать все проекты, поступающие на её вход. Тогда существует такое  $\beta$ , при котором для заданных характеристик проек-

тов и системы,  $\forall w \in W^{(i)}$  система остаётся экономически эффективной ( $NPV > 0$ ) для горизонта планирования  $\Gamma$ .

В этой задаче управляемой величиной становятся проекты, которые будем просеивать перед включением их в производственную корзину, и время их внедрения, определяемое на основе задачи объёмно-календарного планирования. Для первичного отбора проектов необходимо провести их фильтрацию. Входной и выходной фильтры включают в себя оценку чистого дисконтированного дохода  $NPV > 0$  и экспертную оценку.

Таким образом, для включения проекта  $w$  в  $W_+$  необходимо провести оценку  $NPV$  на среднесрочную перспективу:

$$\sum_{j=i}^{\Gamma} \left( \frac{(C_w^{(j)} \cdot \sum_{k=1}^K (x_{k,w}^{(j)}) - \mathbb{I}_w^{(j)})}{(1+d)^{(j-i)}} \right) - \mathbb{I}_w^{(\Gamma)} > 0.$$

Для проектов, претендующих на исключение ( $W_-$ ), необходимо выполнение следующих условий: 1) эффективный объём производства будет равен нулю ( $x_{k,w}^{(j)} = 0, \forall j : i < j \leq \Gamma$  для проекта  $w$  на шаге  $i$ ); 2) вложенные в его реализацию средства уже были возвращены:

$$\sum_{j=0}^{i+1} \left( \frac{(C_w^{(j)} \cdot \sum_{k=1}^K (x_{k,w}^{(j)}) - \mathbb{I}_w^{(j)})}{(1+d)^j} \right) - \mathbb{I}_w^{(\Gamma)} \geq 0, \forall w \in W^{(i)}.$$

Учёт особенностей ПрС и проекта при их взаимодействии осуществим на основе решения задачи классификации используя для этого информацию об успешно и неуспешно внедрённых ранее в осматриваемой ПрС проектах.

**Утверждение 3.** Пусть задано множество проектов  $W$ , характеризующееся множеством значений параметров  $P_w, \forall w$ . Тогда **выбор проектов** для рассматриваемой ПрС заключается в определении категорий для значений из  $S_u$  и нахождении функции отображения  $F$  посредством описания преобразования сущностей из  $W$  в категории  $S, F : W \rightarrow S, \forall w$ .

Решение задачи классификации сводится к определению множества значимых параметров  $P_w, \forall w$ . Множество этих параметров для разных ПрС и отраслей может быть разным.

Особенностью, связанной со временем, является то, что каждому шагу расчёта  $i$  соответствует промежуток времени  $\Delta t = t^{(i+1)} - t^{(i)}$ , который является переменной величиной.

Шаг времени является величиной, зависимой от тех параметров, на которые не может оказывать влияние лицо, принимающее решения. Такими параметрами являются внешние по отношению к ПрС факторы, связанные с влиянием рынка по каждому из типов продукции в продуктивном порт-

феле (точки перехода между этапами проекта), моментами времени появления новых проектов, временем подготовки производства для выпуска проекта ( $\tau_{w,k} \forall w, k$ ), временем выпуска проекта ( $t_{w,k} \forall w, k$ ), а также требования регламентов к протекающим внутренним процессам (регламенты технического обслуживания оборудования, выходы оборудования из строя, недопоставки ресурсов) и особенностей изменения характеристик и дополнительной информации, характеризующей текущее состояние системы  $q^{(i)}$ .

В связи с этим возникает необходимость определения такого времени шага  $i$ , при котором будут учтены инертность протекающих в ПрС процессов и особенности реализации проектов, позволяющие исключить явление инновационного регресса:

$$\Delta t_i = \arg \max_{\tau_{w^{(i)}}, t_{w^{(i)}} \leq \Delta t_i \leq t_{\Gamma}} (NPV_{(i)} - NPV_{(i-1)}), \forall w \in W^{(i)}, k.$$

Определённый в результате решения вышеприведённой задачи объём производства по каждому из типов продукции будет выступать исходными данными для решения других связанных задач (см. рис. 5) на основе технологических карт и регламентов, что позволяет решать внутренние задачи управления деятельностью ПрС. При этом для синхронизации процессов необходимо получение этих значений на период, опережающий срок поставки материалов, комплектующих и оснастки оборудования, время переналадки оборудования, отправки заявок на потребление энергии и так далее.

Рассмотрение других моделей привязано к моментам времени, соответствующим состояниям системы в моменты времени, соответствующие шагам планирования  $i$ , времени смены объёмов выпуска и изменения портфеля проектов. Конкретный набор рассматриваемых задач определяется особенностями производства и ПрС (задачи планирования закупок, планирование последовательности работ на сборочных производствах, утилизации, управления энергоснабжением, производственными процессами переменной длительности (химические производства) и другие). Решение всех задач является зависимым от времени (взаимосвязь

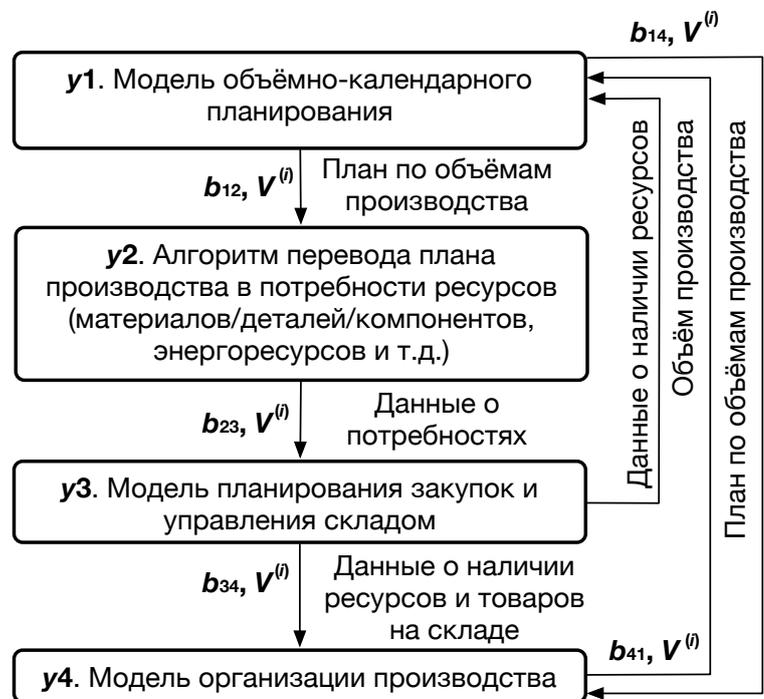


Рис. 5 — Модель ПрС (Y)

и синхронизация протекающих процессов), принимаемых инвестиционных решений (принятие решений со сквозными экономическими показателями). Таким образом, не только решение задачи организации производственного процесса зависимо от планирования, но и сама эта задача зависима от организации процессов, протекающих внутри ПрС.

Использование прогнозов позволяет произвести объединение моделей в виде рекуррентной зависимости на основании общих переменных (см. рис. 5):

$$V^{(0)} = \text{текущие значения параметров ПрС,}$$

$$V^{(i+1)} = - \left( B \cdot \mathbb{Y}(V^{(i)}) \cdot B^T \right)^{-1} \cdot B \cdot \mathbb{Y}(V^{(i)}) \cdot \mathbf{E},$$

где  $V$  — вектор параметров ПрС,  $B$  — матрица инцидентности, показывающая взаимосвязи между элементами модели  $\mathbb{Y}$ ,  $\mathbf{E}$  — единичная матрица или матрица дополнительных воздействий и отклонений (моделирующая форс-мажорные ситуации).

В третьей главе рассмотрены методы работы с временными рядами для получения значений прогнозов, вопросы оценки рисков, связанных с использованием прогнозов и определением горизонта планирования.

Если величина риска ( $r$ ) вычислена для определённого набора параметров проекта с учётом всех факторов, влияющих на этот риск, то риск рассматривается как функция многих переменных:  $r = r(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n)$ , где,  $X_j$  — параметры. Тогда в случае, если риск вычисляется для первого параметра, то  $r_1 = r(X_1)$ . Значения остальных параметров фиксируются.

Будем вычислять риск по формуле:  $r = \left( 1 - \frac{\min(X_j, X_j^*)}{\max(X_j, X_j^*)} \right)$ ,  $\forall j$  для которых  $X_j > 0$  и  $X_j^* > 0$ , где  $X_j$  — запланированная величина без учёта факторов риска;  $X_j^*$  — уточнённое значение.

Параметры  $X$ , с которыми происходит работа при решении обозначенных задач управления и планирования, представляются в виде временных рядов (зависимости значения параметра от внутреннего шага  $i$  или времени  $t$ ).

Решение задач, связанных с прогнозированием значений этих параметров, возможно только при использовании статистических данных. Разобьём их на две выборки — тренировочную (которая используется для построения модели прогнозирования) и тестовую (которая является последним во времени участком ретроспективных данных), которая после построения модели и получения необходимых оценок по точности и времени достоверного прогнозирования добавляется к тренировочной выборке и используется для уточнения модели.

Для определения величины риска, связанной с прогнозированием, будем использовать выражение (показывающее насколько далеко значения отстоят друг от друга):  $r(g_j) = 1 - r^*(g_j)$  где  $r^*(g_j) = \frac{\min(X_j, g_j)}{\max(X_j, g_j)}$ ,  $\forall X_j$  и  $g_j > 0$ ,  $g_j$  — прогнозное значение параметра  $j$ ;  $X_j$  — значение из тестовой выборки для

параметра  $j$ . Учёт влияния других факторов происходит при использовании параметрических методов прогнозирования.

Полученные оценки риска, таким образом, не учитывают риски предыдущих этапов (шагов управления  $i$ ) и риски, связанные с одновременным использованием данных прогнозов для нескольких параметров.

При рассмотрении прогнозов двух независимых параметров  $g_1$  и  $g_2$  для получения их общей оценки риска будем использовать выражение  $r(g_1, g_2) = r(g_1) + r(g_2) - r(g_1) \cdot r(g_2)$ . Такая оценка может рассматриваться как интегральный риск рассматривающий риски в совокупности.

Для получения величины оценок рисков для последовательности значений прогнозов эти значения стоит рассматривать как совместные события. В этом случае величину оценки риска на заданный шаг управления  $i$  можно вычислить нарастающим итогом, используя выражение  $r(g_{1_1} + g_{1_2}) = r(g_{1_1}) + r(g_{1_1}) \cdot r(g_{1_2})$ . Для определения следующих значений оценки риска будем использовать формулу  $r(g_{1_i} + g_{1_{i+1}} + \dots + g_{1_n}) = \sum_{i=1}^n \prod_{k=1}^i r(g_{1_k})$ .

Приведённая оценка величины риска позволяет определить её значение на заданный период планирования (шаг  $i$ ). Очевидно, что значение оценки риска будет сильно зависеть от точности прогноза и удалённости во времени рассматриваемого шага планирования (рис. 6).

Можно наблюдать, что, начиная с некоторого шага  $i$ , величина оценки риска начинает резко расти, что позволяет определить горизонт прогнозирования для каждого метода. Значение горизонта планирования  $\Gamma$  определяется на основе оценки риска для независимых параметров.

Практическую ценность имеет значение горизонта планирования  $\Gamma$  большее, чем время до следующей точки принятия решений  $t^{(i+1)}$  или нескольких точек принятия решений. В этом случае задача планирования производственного портфеля будет решаться несколько раз для нескольких шагов  $i$  (последовательно наступающих будущих состояний). Для выполнения этого условия необходимо, чтобы значение  $\Gamma$  было как можно больше, что актуализирует задачу получения максимально точных прогнозов.

Практическую ценность имеет значение горизонта планирования  $\Gamma$  большее, чем время до следующей точки принятия решений  $t^{(i+1)}$  или нескольких точек принятия решений. В этом случае задача планирования производственного портфеля будет решаться несколько раз для нескольких шагов  $i$  (последовательно наступающих будущих состояний). Для выполнения этого условия необходимо, чтобы значение  $\Gamma$  было как можно больше, что актуализирует задачу получения максимально точных прогнозов.

Значение прогнозируемого параметра  $V_j$  будем искать в виде  $V_j = g_j(t) + \epsilon_j$ , где  $g_j(t)$  — функция, которой мы будем заменять статистические

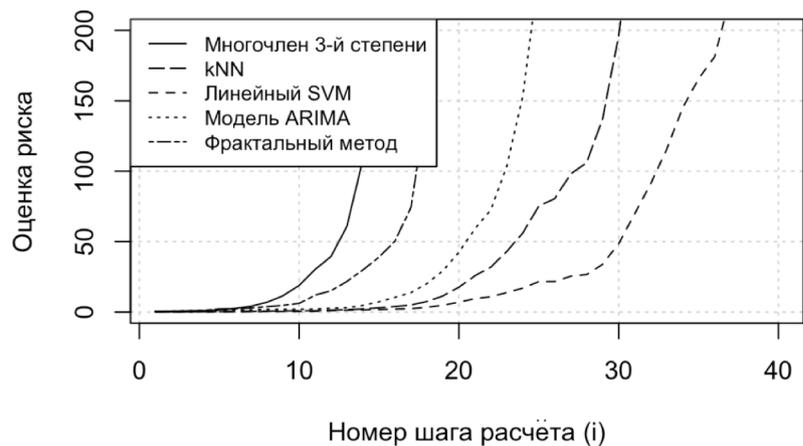


Рис. 6 — Значения оценок риска при использовании различных методов прогнозирования объёма спроса

данные и использовать для предсказания этих значений для будущих периодов  $j$ -го параметра,  $\epsilon_j$  — величина ошибки для  $j$ -го параметра.

Для описания величины  $\epsilon_j$  предполагаем, что она может быть описана одним из существующих распределений. Для проверки того, какому распределению принадлежит ошибка, будем использовать тест Колмогорова-Смирнова (в некоторых случаях может потребоваться использование его расширения — метода Кейпера или метода максимального правдоподобия). Гипотезу с принадлежностью тому или иному распределению можно считать значимой, если вероятность принадлежности ей больше 0.5. Таким образом можно выбрать распределение, для которого вероятность принадлежности максимальна и больше 0.5. Работа с ретроспективными данными показывает, что наиболее часто отклонение может быть описано такими распределениями, как нормальное распределение, нецентральное нормальное распределение, нецентральное распределение Стьюдента, распределение Джонсона. Для данных распределений известно функциональное описание плотности вероятности. Это позволяет использовать их для получения функции принадлежности и перевода данных прогнозирования в нечёткую форму. Например, при соответствии  $\epsilon_j$  нормальному закону распределения для перевода  $V_j$  в нечёткую форму следует использовать Гауссову функцию:  $\mu_j(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\left(\frac{\Phi_j - g_j(t)}{2 \cdot \sigma^2}\right)^2}$ , где  $\mu_j(t)$  — функция принадлежности,  $g_j(t)$  — значение прогноза для  $j$  параметра,  $\Phi_j$  — диапазон отклонений прогнозируемой величины.

Используемые в качестве исходных для модели производственного портфеля прогнозные значения параметров цены и объёма спроса на рынке подвержены влиянию периодических составляющих, трендов, закономерностям изменения по инновационным или S-образным кривым, а также влиянию самой ПрС на рынок и поведению конкурирующих ПрС на рынке.

Значение прогнозной функции будем искать в виде:  $g_j(t) = \left( g_{j, \text{периодическое}}(t) + g_{j, \text{тренд}}(t) + g_{j, \text{остаток}}(t, T_j) \right) \oplus g_{j, \text{взаимовлияния}}(t) - g_{j, \text{диффузии}}(t)$ , где  $\oplus$  — алгоритм объединения параметрического и непараметрического методов прогнозирования, который описан ниже.

Каждая из составляющих прогнозируется отдельно и в общем виде может отсутствовать или не использоваться для построения прогноза.

Периодическая составляющая ( $g_{j, \text{периодическое}}(t)$ ) может состоять из ряда составляющих ( $g_{j, \text{периодическое}}(t) = \sum_{i=1}^n g_{j, i, \text{периодическое}}(t)$ ) соответствующих полученных на таких принципах как: номер дня в месяце; день недели; номер месяца, квартала, года. Найденную составляющую  $g_{\text{периодическое}}(t)$  вычтем из значений статистических данных, тем самым выделим ее из и сможем перейти к поиску описаний для оставшихся составляющих.

Трендовая составляющая ( $g_{j, \text{тренд}}(t)$ ) описывается инновационными и S-образными кривыми. Инновационной кривой описываются экономические параметры (прибыль, объём продаж). Технические и технологические параметры описываются S-образной кривой (стоимость разработки или внедрения

новой технологии, индекс производительности, степень зрелости технологии или процесса и так далее). Иногда инновационную и S-образную кривые не различают, и тогда последняя считается частным случаем первой.

Учѐт и выявление указанных трендов требует рассмотрения статистических данных за очень большой период времени (таких данных может не быть); можно использовать только один этап развития инновационной кривой, объединять товары в группы, использовать данные о товарах аналогах или не учитывать трендовую составляющую при недостатке статистических данных.

Для описания инновационной кривой выделяют четыре этапа развития: выход на рынок, рост, зрелость и спад. Переход с этапа на этап характеризуется особыми точками. Первая точка — это точка выхода на рынок, её координаты всегда можно принять равными нулю ( $g_{j_0} = 0, t_0 = 0$ ). Точки  $(g_{j_1}, t_1), (g_{j_2}, t_2), (g_{j_3}, t_3)$  определяются, исходя из ключевых показателей рассматриваемого параметра.

Для учёта особенностей инновационной кривой она строится как кусочно-заданная функция. В работе приведены примеры с использованием наиболее часто применяемых функций:  $g_{j_1}(t) = e^{a_0 \cdot t}, 0 < t < t_1$  — для этапа выхода на рынок;  $g_{j_2}(t) = a_1 + a_2 \cdot t, t_1 < t < t_2$  — для этапа роста;  $g_{j_3}(t) = a_3 + a_4 \cdot t + a_5 \cdot t^2, t_2 < t < t_3$  — для этапа зрелости. Характеристические коэффициенты кривых  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  выступают неизвестными.

Из условий совпадения значений в точках стыковки кривых, гладкости составной функции (равенства производных) и граничного условия (начальное или конечное значение кривой или введение дополнительной точки  $(g_{j_c}, t_c)$ , которая соответствует горизонту планирования) получаем разрешимую систему.

При использовании дополнительной точки на участке  $g_{j_3}(t)$ , после достижения максимального значения, неизвестные коэффициенты ( $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ ) находятся из системы по формулам:  $a_1 = \frac{g_{j_2} - g_{j_1}}{t_2 - t_1}, a_2 = y_1 - \frac{g_{j_2} - g_{j_1}}{t_2 - t_1} \cdot t_1,$   
 $a_5 = \frac{g_{j_c} - g_{j_2} + a_1 \cdot (t_2 - t_c)}{(t_2 - t_c)^2}, a_5 = a_1 - 2 \cdot a_5 \cdot t_2, a_3 = g_{j_2} - a_1 \cdot t_2 - a_5 \cdot t_2^2.$

Для описания S-образных кривых чаще всего используют кривые Перла, Гомперца, логистические кривые и кривую Вейбулла, коэффициенты для которых находятся методом наименьших квадратов. Если рассмотреть кри-

вую Перла  $g_j = \frac{a^*}{1 + a_1 \cdot e^{-a_2 t}}$ , где  $g_j$  — прогнозируемый параметр;  $a^*$  — максимально достижимое значение параметра;  $a_1, a_2$  — положительные коэффициенты, влияющие на вид кривой;  $t$  — время, неизвестными являются коэффициенты  $a_1$  и  $a_2$ , то для нахождения неизвестных коэффициентов и избежания получения трансцендентных уравнений представим уравнение в следующем виде:  $g_j \cdot (1 + a_1 \cdot e^{a_2 t_i}) = a^*$ . Далее воспользуемся методом наименьших квад-

ратов для полученного выражения:  $f(a_1, a_2) = \sum_{j=1}^n (g_j \cdot (1 + a_1 \cdot e^{a_2 \cdot t_i}) - a^*)^2 \rightarrow \min$ , где  $n$  — количество заданных значений.

Наиболее сложным является прогнозирование остаточных значений ( $g_{j, \text{остаток}}$ ), так как об этой составляющей отсутствует дополнительная информация. Именно эта составляющая вносит наибольшую адаптивность в значения прогнозов, поэтому задача сводится к выбору метода прогнозирования, сначала исходя из выбора метода с максимальным горизонтом прогнозирования  $\arg \max_{\Gamma} \sum_{i=1}^{\Gamma} V_j(i) - g_{j, \text{периодическое}}(i) - g_{j, \text{тренд}}(i) - g_{j, \text{остаток}}(i)$ , а затем выбора минимального значения количества ретроспективных данных, используемых для обучения модели  $T_j$ , при котором величина горизонта прогнозирования не уменьшится. В процессе работы окно данных  $T_j$ , используемое для обучения, смещается по мере поступления новых данных, что позволяет реализовать свойство адаптивности.

Для учёта взаимовлияния ( $g_{j, \text{взаимовлияния}}(t)$ ) в работе показано, что, независимо от используемого для прогнозирования метода, его точность может быть повышена за счёт совместного рассмотрения изменения значений параметров ПрС. Для этого были использованы когнитивные карты  $(v, \omega)$ , где  $v$  — множество вершин, соответствующих параметрам  $V$ ;  $\omega$  — множество связей и их весов, матрица смежности ориентированного графа  $\omega = |\omega_{j_1, j_2}|$ . Новые значения для вектора  $v$  вычисляются по рекуррентной формуле  $v_{j_1}^{(i+1)} = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{j_2} \omega_{j_1, j_2} \cdot v_{j_2}^{(i)}}}$ . Чтобы учесть закономерности изменения значений факторов и результаты, полученные при использовании других методов прогнозирования, скорректируем новые значения  $v_j$  для  $j$ -го параметра, принимая во внимание эти данные. Для этого используем алгоритм, приведённый на рис. 7.

- Шаг 1. Создаём когнитивную карту.
- Шаг 2. Привязываем когнитивную карту к шкале времени.
- Шаг 3. Выбираем начальные значения (начальный шаг  $i = 0$ , значения для  $\omega$  и  $v^{(0)}$ ).
- Шаг 4. Получаем новые значения для  $v^{(i+1)}$ .
- Шаг 5. Дополняем тренировочную выборку для построения моделей прогнозирования  $v_j$  значениями  $v_j^{(i+1)}$ , полученными с использованием когнитивной карты, дообучаем модель.
- Шаг 6. Вычисляем значения для  $v_j^{(i+1)}$  с использованием полученных моделей получения прогнозов для каждого параметра.
- Шаг 7. Определённые в результате этого расчёта значения берём в качестве исходных для следующего шага расчёта когнитивной карты ( $i = i + 1$ ).
- Шаг 8. Если  $i < \Gamma$ , возвращаемся на шаг 4, в противном случае останавливаем работу алгоритма.

Рис. 7 — Алгоритм уточнения значений прогнозов на основе когнитивных карт

Точность прогнозов с учётом взаимовлияний на основе когнитивных карт может быть повышена, если получить функциональное описа-

ние для значений весовых коэффициентов когнитивной карты. Для этого из рекуррентной формулы выразим их значения  $\omega_{j_1, j_2}$ :  $\sum_{j_1} \omega_{j_1, j_2} \cdot v_{j_2}^{(i)} = -\ln \left( \frac{1 - v_{j_1}^{(i+1)}}{v_{j_1}^{(i+1)}} \right)$ .

Используя данное выражение при наличии статистических данных для количества интервалов на единицу больше, чем максимальное количество связей у одного узла, получаем разрешимую относительно  $\omega_{j_1, j_2}$  систему. При многократном решении для разных интервалов  $i$  (на имеющейся в наличии статистической базе) значения весовых коэффициентов ( $\omega_{j_1, j_2}$ ) будут изменяться. Имея набор значений  $\omega_{j_1, j_2}$  для разных периодов времени, их значения можно экстраполировать на будущие периоды времени. Изменения, присущие коэффициентам  $\omega_{j_1, j_2}$ , отражают скрытые закономерности параметров и факторов. Такой подход позволяет повысить точность прогнозирования остаточной оставляющей ( $g_{j, \text{остаток}}(i)$ ) и увеличить горизонт планирования значений параметров  $V$  на 30%.

Составляющая, связанная с диффузией, позволяет учесть плавный вывод на рынок новой продукции. Для оценки степени проникновения продукции на общий рынок будем использовать физическую аналогию для определения величины, на которую необходимо снижать значение прогноза для решения задачи планирования:  $G(v, i) = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot D \cdot i}} \cdot e^{-\frac{v^2}{4 \cdot D \cdot i}}$ , где  $D$  — коэффициент диффузии, который определяется эмпирическим путём, исходя из статистических данных по продуктам аналогам, или экспертным путём, опираясь на репутацию ПрС и её предыдущий опыт по выводу продукции на рынок,  $i$  — шаг расчёта (для учёта смещения по времени выхода товара аналога необходимо уменьшить это значение на величину запаздывания выхода аналога в шагах расчёта), — объём спроса или ёмкость рынка.

Для определения величины влияния на прогнозные значения необходимо определить величину  $g_{\text{диффузии}}(v, i) = \sum_i a_0^*(v^{(i)}) \cdot \Delta v^{(i)} \cdot G(v - v^{(i)}, i)$ , которую будем вычитать из данных прогноза (величину проникновения), в которой  $\Delta v^{(i)} = v^{(i+1)} - v^{(i)}$ ,  $a_0^*(v^{(i)})$  — величина насыщения рынка продуктами аналогами на шаге  $i$ .

Значение величины  $a_0^*$  может быть оценено с использованием S-образной кривой. Зная, что насыщенность рынка описывается этой кривой, будем оценивать значение величины, к которой они приближаются. Получив эту кривую и используя её в качестве прогнозной кривой, для разви-

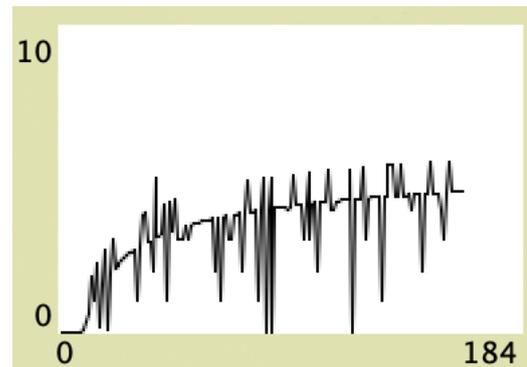


Рис. 8 — Объем производства на основе прогнозирования спроса с учетом диффузии продукции на рынке

тия ситуации, можно оценить и скорость распространения товаров аналогов. Для этого будем измерять эту скорость в долях для каждого шага расчета. В результате мы определим значение  $D$  ( $0 < D \leq 1$ ). Эта величина может иметь значения, изменяющиеся во времени.

В результате использования предложенного алгоритма и решения задачи планирования объёмов производства под прогноз спроса график объёмов производства будет выглядеть, как приведено на рис. 8.

В четвёртой главе рассмотрен метод решения получаемых задач в динамической постановке на основе данных прогнозирования как последовательности взаимосвязанных состояний с использованием методов нечёткой логики для повышения точности, выбора траектории реализации портфеля проектов ПрС.

В результате решения задачи прогнозирования мы получаем функции  $g_j(t)$  и соответствующие им функции принадлежности  $\mu(g_j(t))$ . Решение будем искать в виде таблично заданной функции от шага  $i$ .

Приведённая во второй главе задача может быть решена в нечёткой форме, если функции принадлежности преобразовать в трапециевидную форму. В этом случае необходимо определить размер верхней грани трапеции, которая зависит от степени уверенности в точности полученного прогноза. В результате получим решение, которое может быть проиллюстрировано рис. 9.

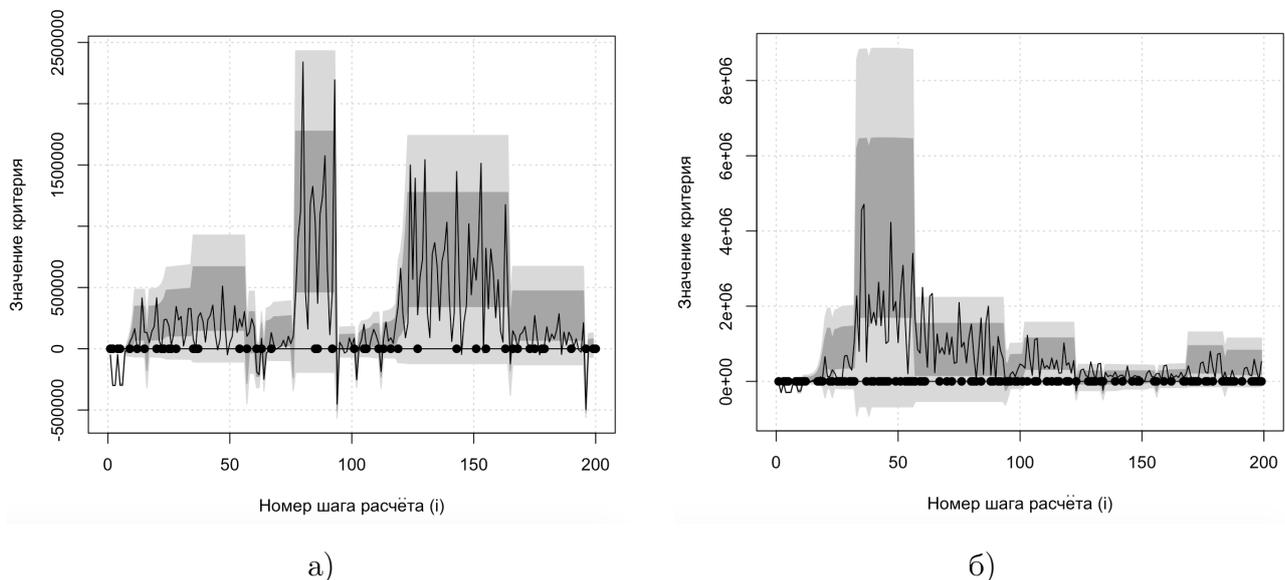


Рис. 9 — Изменение значения критериальной функции в нечёткой постановке после решения объёмно-календарного планирования и реальные значения прибыли для двух разных потоков проектов  $\beta$  (чёрными точками обозначены моменты появления новых проектов в производственной корзине  $W$ )

Описывающие значения спроса и цену значения прогнозов в нечёткой форме описываются несимметричными трапециями, поэтому точки наиболь-

шей вероятности не соответствуют только одной комбинации объёмов выпуска ( $X^{(i)}$ ) на заданный момент времени. Использование нечётких чисел также приводит к тому, что критерий и ограничения переходят в нечёткую форму и могут в некоторых случаях нарушаться, что будет сигнализировать о необходимости проведения изменений производственной базы, в некоторых случаях графиков поставок, периодов технического обслуживания оборудования и так далее. Переход в нечёткую форму исключает необходимость проведения дополнительных исследований, связанных с коридором возможных отклонений и вероятностью попадания в определённые интервалы значений, так как это учитывается в самой форме задания и методе решения. Однако, возникает задача выбора стратегии для фиксации решения (рис. 10а), определения диапазонов возможных изменений значений в связанных задачах (рис. 10б и рис. 5). Выбор решения может основываться на ретроспективных данных, показывающих опыт успешной и неудачной реализации проектов на предыдущих этапах. Для этого эти сведения необходимо представить в виде траекторий  $J$  для предшествующих началу этапа планирования моменту времени ( $i = 0$ ).

**Утверждение 4.** Если две траектории  $J_1$  и  $J_2$  расположены близко друг к другу, тогда должны быть соответствующие им выходы  $S_1, S_2$ , находящиеся в тех же отношениях.

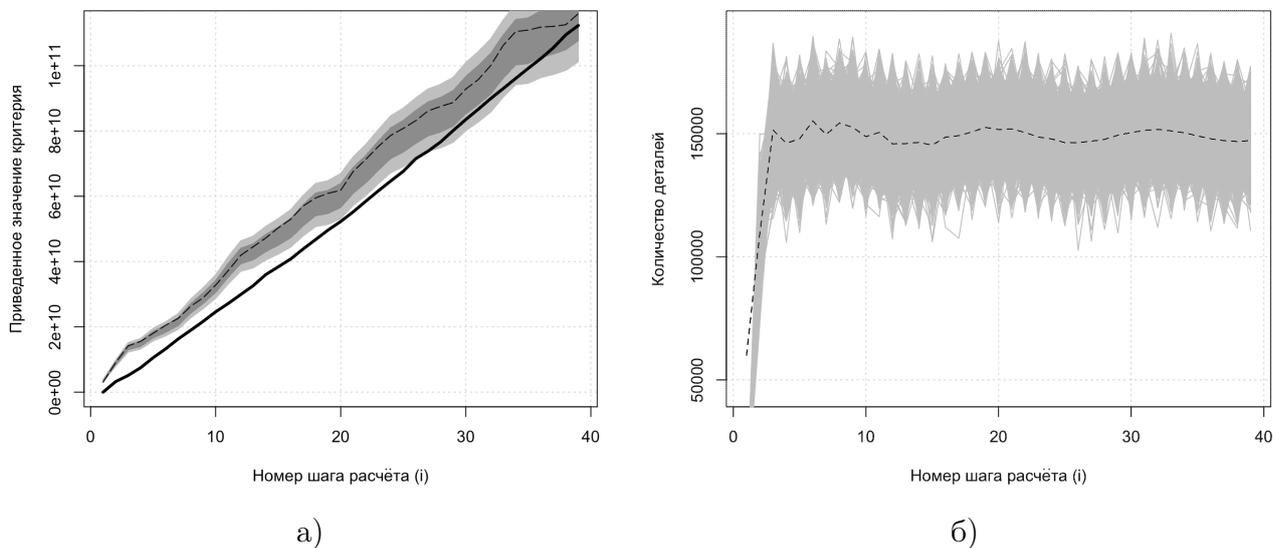


Рис. 10 — Примеры расчёта: а) нормированные значения критерия нарастающим итогом при использовании результатов прогнозирования, заданных в нечёткой форме в сравнении с историческими данными (чёрная сплошная линия), б) прогнозирование потребностей одной из деталей с учётом прогнозного плана производства и возможных отклонений объёмов выпуска

Если в пространстве данных существуют отклонения траекторий в направлении какого-либо класса, то допустимо делать обобщения индивидуаль-

ных траекторий в рамках общей модели. Нечёткие решения при этом показывают множество близких траекторий.

Для выбора траектории необходимо формирование множества траекторий при решении задачи объёмно-календарного планирования и формирование обучающей выборки с учётом динамики изменения значений за рассматриваемый период планирования. Формирование обучающей выборки можно осуществлять на основе экспертной оценки поведения ПрС в прошедшие периоды.

Использование методов машинного обучения позволяет найти вероятность принадлежности траектории к классу успешно реализуемых. Такое решение позволяет ранжировать рассматриваемые траектории, которые связаны с реализацией производственного портфеля.

Формирование множества траекторий, которые мы будем ранжировать, формируется из рассматриваемых вариантов производственных портфелей и их планируемых изменений до горизонта планирования.

Сформировав множество возможных траекторий на основе рассматриваемых вариантов появления проектов, их типов и моментов реализации, рассмотрим каждый момент времени в будущем (до горизонта планирования  $\Gamma$ ) как множество возможных состояний. При этом если возникают ситуации, когда при рассмотрении появления проектов во времени существуют моменты, когда в разных вариантах производственной корзины имеются аналогичные проекты, возможен переход с одной траектории на другую (соответствующую другой последовательности реализации проектов). Такая ситуация возникает, например, при рассмотрении реализации одного и того же производственного портфеля с учётом явления диффузии и без. Вероятности того, что система попадёт в каждое из состояний, определяются функцией принадлежности.

При решении задач оптимального управления с учётом фактора времени и заданным шагом времени  $\Delta t(i)$  решение будет представлять собой таблично заданную функцию. Согласно теореме Байеса, вероятность успешного перехода в новое состояние (к новому решению) будет зависеть от предыдущего состояния (состояния, в котором мы находимся). Исходя из этого, для выбора траектории развития проекта следует рассматривать возможное множество решений, оптимальных или близких к ним. Получаемое множество решений (траекторий развития) — условно можно представить в виде дерева для каждого из искомым значений параметров, которое можно рассматривать как байесовскую сеть.

Таким образом, при горизонте планирования  $\Gamma$  и количестве решений  $N^{**}$  на каждом шаге мы получим  $\prod_{i=0}^{\Gamma} N^{**}$  вероятностей для листьев полученного дерева, которые должны удовлетворять следующим условиям  $\sum_{j=1}^{N^{**}} P(X_{(j)}^{(1)}) = 1$ ,  $\sum_{j_1=1}^{N^{**}} \sum_{j_2=1}^{N^{**}} P(X_{j_1 j_2}^{(2)}) = 1$ , и так далее для каждого шага решения.

Вероятность перехода из состояния  $X^{(0)}$  в состояние  $X^{(\Gamma)}$  будет определяться суммой вероятностей перехода к следующему состоянию, и это значение будет определять вероятность связи текущего состояния с рассматриваемыми вершинами (решающими вершинами).

Таким образом можно оценить вероятности достижения ряда последовательных состояний  $q^{(1)}, q^{(2)}, \dots, q^{(i)}, \dots, q^{(\Gamma)}$ . Если вероятность  $P(X^{(i)})$  — вероятность того, что мы находимся в состоянии  $q^{(i)}$ , и состояние полностью соответствует ожидаемому (определяется на основании предыдущих этапов), то вероятность достижения каждого последующего решения определяется цепным правилом:

$$P(X^{(i+1)}, \dots, X^{(\Gamma)}) = \prod_{j=i+1}^{\Gamma} P(X^{(j)} | X^{(j-1)}, \dots, X^{(0)}).$$

В результате получаем множество конкурирующих портфелей проектов для каждой точки принятия решения и вероятность перехода в данное состояние из каждого состояния на предыдущем этапе (см. табл. 1). Это позволяет исключить некоторые состояния и возможности перехода из одних состояний в другие связанные ограничениями задачи объёмно-календарного планирования (ограничения ПрС).

Таблица 1 — Пример матрицы вероятностей состояний для шагов времени без учёта их взаимозависимости во времени

Номер шага планирования ( $i$ )														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...
Вероятность, с которой система попадет в рассматриваемое состояние														
0,74	0,55	0,58	0,60	0,60	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,45	0,05	0,01	...
0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,59	0,02	0,03	0,01	0,26	0,14	...
0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,59	0,03	0,02	0,02	0,01	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Количество возможных состояний на шаге														
16	39	38	32	33	34	41	36	32	32	30	43	56	58	...

Полученные в результате решения значения позволяют нам записать решение в виде (рис. 2). Таким образом, эксперт для выбора решения  $J^{(i)}$  на каждом шаге работает с множеством состояний, их разбиением на классы  $S^{(i)}$  и соответствующим им значениями вероятностей  $P$ .

Когда наиболее перспективными являются рынки инновационной продукции, на таких рынках нельзя говорить о стабильности производственных процессов в связи с коротким жизненным циклом такой продукции, большим количеством модификаций и составных частей, повышенной энерго- и ресурсоёмкости изделий.

При учёте фактора времени мы рассматриваем функционирование системы как цепочку состояний. Эти состояния могут как наступить, так и

нет (тогда система пойдёт альтернативным путём), поэтому расчёт и оценку состояния необходимо повторять в моменты планирования ( $1$ ) и шагах реализации выбранного решения ( $i$ ), если отклонение оказалось выше предполагаемого.

**Пятая глава** посвящена рассмотрению вопросов алгоритмизации, реализации и использования полученных в работе моделей в рамках существующей корпоративной информационной системы, а также вопросам использования разработанных программных средств при решении задач планирования и управления производственной деятельностью, а также оценке эффективности получаемых решений.

Рассмотренные в работе задачи для их совместного решения потребовали создания и разработки программных средств, использование которых требует интеграции в существующую информационную инфраструктуру предприятия, см. рис. 11.

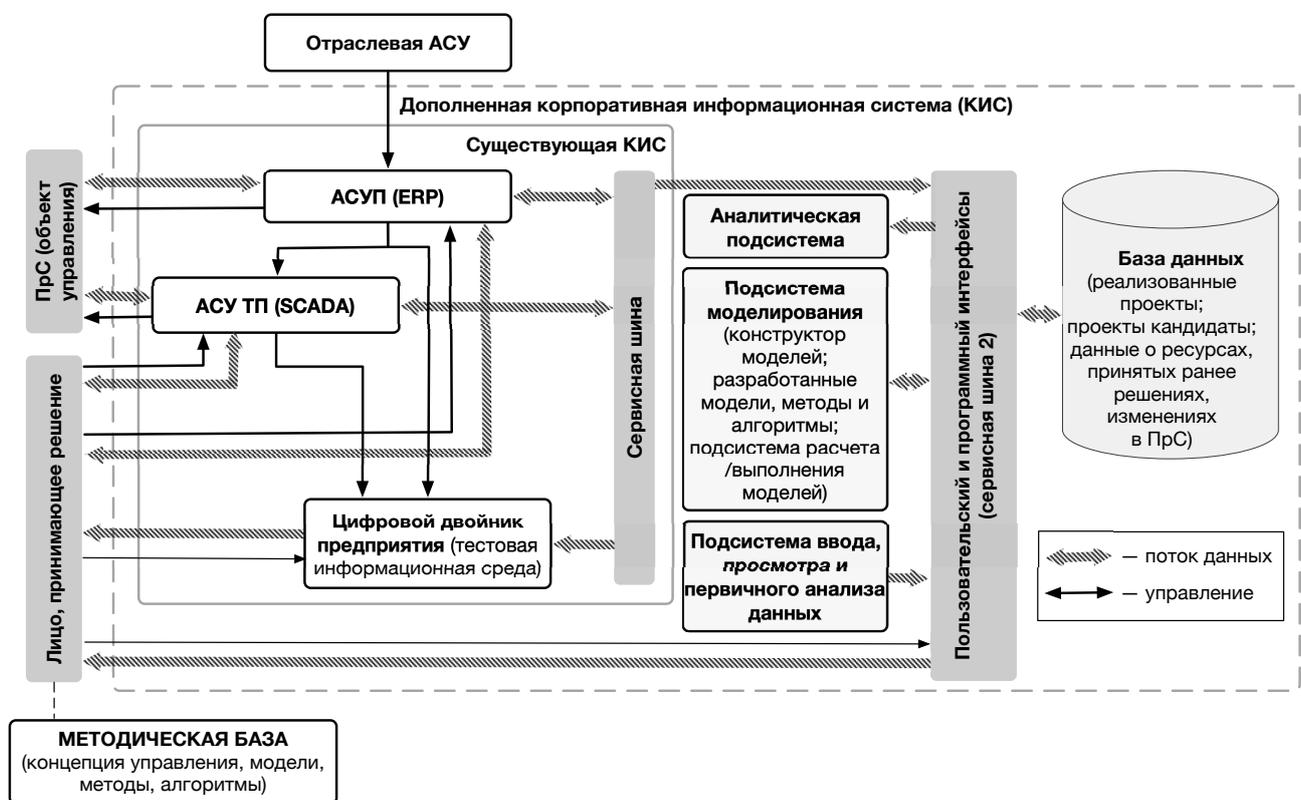


Рис. 11 — Структура информационного ландшафта предприятия при использовании разработанной концепции, моделей, методов и программных средств

Наиболее важной частью является реализация моделей (подсистема моделирования), позволяющая производить многочисленные расчёты. Для реализации этой возможности был выбран подход на основе блочного типа (каждый элемент модели представляет собой «чёрный ящик»). В этом случае модель может быть составной, в которой отдельные блоки обмениваются данными и решают при этом общую задачу, реализуя отдельные операции.

Реализация такого подхода требует описания взаимосвязей элементов, для чего был использован язык JSON, описание указания на взаимосвязи между блоками и описание взаимосвязей между переменными блоков. Для реализации функционала отдельных блоков используется язык R. На реализацию подсистемы моделирования было получено Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ («Программа анализа и моделирования данных (DASS)»). Другими реализованными в ходе диссертационного исследования подсистемами являются: аналитическая подсистема (Data Warehouse of Intellectual Property (DWIP InnoNet)); подсистема ввода, просмотра и первичного анализа данных (Technology Transfer System Editor (TTSE InnoNet) и ПУ МИП ПНИ-ПУ). Были реализованы типовые модели: модели прогнозирования значения параметров; прогностическая модель объёмно-календарного планирования на основе портфеля проектов, модель для планирования закупок и другие.

Информационная система реализует функции управления на основе алгоритмов и методов, полученных в ходе диссертационного исследования. Использование прогнозов, свойства адаптивности моделей, а также получение множеств решений, позволяющих переходить с одной траектории на другую в случае возникновения отклонений от плана расширяет функционал корпоративных информационных систем (в частности таких классов информационных систем, используемых в настоящее время для решения отдельных частных случаев рассмотренной проблемы, как APS (Advanced Planning & Scheduling), CSRП (Customer Synchronized Resource Planning), WFMS (Workflow Management System)) на основе уже собираемых данных. Внедрение разработанных решений в информационный ландшафт предприятия, выступающего источником данных для решения рассмотренных в работе задач, позволяет организовать работу системы как системы поддержки принятия решений для управления портфелем реализуемых в ПрС проектов, тем самым, дополняя функционал систем бизнес аналитики возможностями планирования на тактическом уровне и оперативного управления портфелем проектов ПрС, которые могут потребоваться для корректировки планов в случае нештатных производственных ситуаций.

Реализация информационной системы была осуществлена с использованием СУБД MS SQL Server, Postgre и MS Analysis Service, программное обеспечение реализовано в системах программирования Delphi и QT C++, модели реализованы на языке R.

Принцип использования полученных моделей и методов, реализованных в виде информационных решений, приведён на eEPC диаграмме (см. рис. 12). Как видно из диаграммы, использование полученных информационных решений возможно как полностью, так и частями.

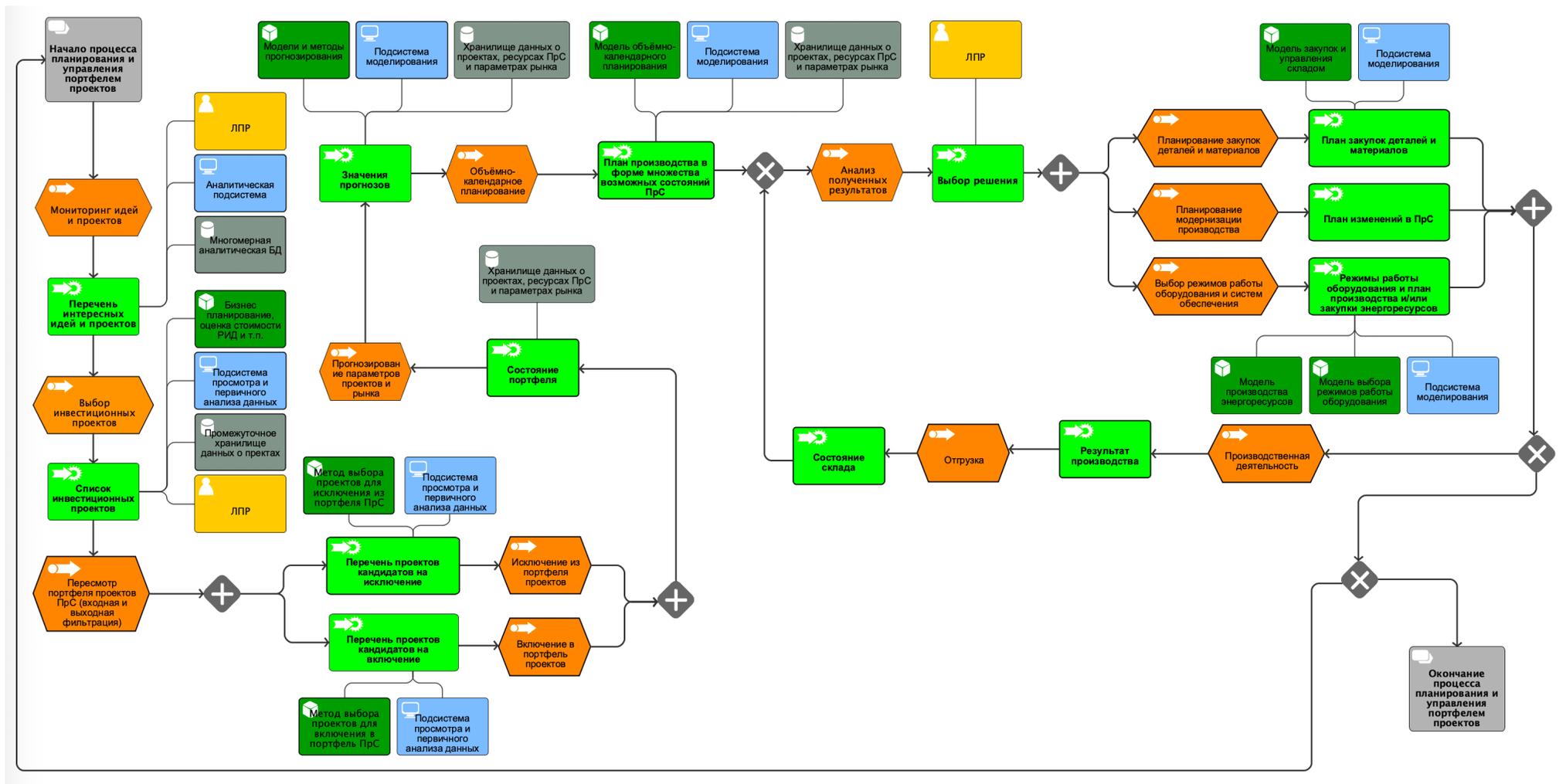


Рис. 12 — eEPC диаграмма использования информационных решений на базе разработанных моделей и методов

Практическая апробация разработанных в диссертационном исследовании моделей, методов и алгоритмов была произведена на базе разработанной информационной системы на ретроспективных данных ПрС, для чего было рассмотрено не только комплексное решение задачи планирования, но и были рассмотрены связанные с ней задачи обеспечения производственной деятельности под уже сформированный план (планирование закупок под прогноз спроса продукции, ресурсное обеспечение и энергообеспечение под план производства). На рассмотренных примерах показаны преимущества получаемых решений за счёт использования прогнозов, совместного решения задач, учёта фактора инертности.

Для оценки эффективности получаемых решений оценивался экономический эффект (объём упущенной выгоды, экономия при организации процесса производства) по сравнению с ретроспективными значениями: 
$$\text{Эффект}_{\text{экономика}} = \frac{\sum_{i=0}^{\Gamma} (J_i - J_{p,i})}{\sum_{i=0}^{\Gamma} J_{p,i}} \cdot 100\%$$
, где  $J_{p,i}$  — ретроспективные значения оцениваемого критерия для  $i$ -го шага решения задачи,  $\Gamma$  — горизонт планирования.

Управление временем приводит к экономическим эффектам. Как показали расчёты на реальных исторических данных, при решении задачи управления продуктовым портфелем (планирования производственной деятельности) возникает комплексный эффект как от задачи планирования продуктового портфеля и объёмов выпуска, так и от согласованности действий систем обеспечения производственной деятельности, см. табл. 2.

Таблица 2 — Оценка повышения эффективности на ретроспективных данных в %

Мин. оценка	Мин. вероятная оценка	Наиболее вероятное значение	Макс. вероятная оценка	Макс. оценка	Горизонт планирования
<i>Управление портфелем проектов и обеспечение производственной деятельности под объёмы выпуска</i>					
10%	15%	37%	39%	41%	Месяц(ы)
<i>Сокращение времени выхода на окупаемость</i>					
0%	70%	120%	160%	200%	Месяцы
<i>Обеспечение производственной деятельности под данные о плане</i>					
5%	7%	29%	31%	37%	Декада(ы)/дни

Кроме этого можно сделать вывод, что эффект в системах обеспечения возникает и в том случае, если объём производства не корректируется (например, в условиях стабильного графика производства) за счёт учёта инертности протекающих в системе процессов, согласования их с процессами, протекающими в других подсистемах ПрС, и выработки превентивного управляющего воздействия.

В заклЮчении приведены основные результаты работы.

В приложениях приводятся справочные материалы, некоторые используемые в работе статистические данные, а также документы, подтверждающие использование полученных моделей, методов, алгоритмов и программного обеспечения в хозяйственной деятельности.

### III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Диссертационное исследование решило научную проблему важного хозяйственного значения, заключающуюся в формировании и обосновании принципов управления производственными портфелями и применения моделей управления процессами, протекающими в ПрС, позволяющими синхронизировать внешние и внутренние процессы на основе данных статистики и прогнозов значений параметров в условиях вариативности возможных значений и неопределённости поведения внешней среды во времени, что позволяет повысить эффективность функционирования существующих ПрС и сформировать предпосылки для перехода к виртуальным производственным системам. Основные научные и практические результаты в рамках поставленной цели состоят в следующем:

1. Разработана концепция управления портфелями инновационных проектов в условиях диффузии проектов с учётом вариативности параметров производственных систем и неопределённости внутренних и внешних факторов на основе использования моделей с упреждением, дискретным переменным временем шага в нечёткой постановке. Применение полученных результатов позволяет вводить сквозные экономические показатели и прогнозную аналитику для синхронизации времени реакции подсистем производственной системы, сокращения времени реакции системы на изменения на рынке, внедрения и времени выпуска продукции.

2. Разработаны модели, методика и алгоритмы динамического формирования производственного портфеля проектов производственной системы с учётом необходимых ресурсов в условиях неопределённости. Полученные модели, методика и алгоритмы, которые позволяют исключить явление инновационного регресса при управлении портфелем проектов ПрС, сокращают время производства и внедрения проектов, а также время окупаемости проектов до 200%.

3. Разработана модель объёмно-календарного планирования для заданного портфеля проектов в условиях неопределённости внешних и внутренних факторов и фактора времени. Применение модели позволяет повысить эффективность управления ПрС на 10-30% за счёт оптимизации портфеля проектов.

4. Разработаны методы и алгоритмы упреждающей аналитики для оценки значений параметров внешней среды с учётом диффузии инновационных проектов и отсутствия достоверных сведений о реакции рынка на из-

менения состава портфеля проектов ПрС. Использование полученных методов позволило увеличить горизонт достоверного прогнозирования изменения значений параметров проектов в среднем до 30%, а также получать данные прогнозов в нечёткой форме и оценивать риски их использования.

5. Разработана методика построения и формализации моделей и алгоритмов системы поддержки принятия решений по ресурсно–технологической поддержке оптимальных режимов функционирования ПрС при заданной структуре портфеля проектов в условиях ограниченных ресурсов и неопределённости внешней среды, позволяющая поднять экономическую эффективность производственной системы на 5-35% за счёт сокращения инертности реакции подсистем ПрС.

6. Разработана проблемно-ориентированная информационная система управления портфелями проектов ПрС на основе предложенных моделей, методов и алгоритмов. Проведена её апробация на ретроспективных данных ПрС. Полученная информационная система, методы и алгоритмы внедрены в деятельность ООО «ЭНТЕЛ-Интеграция» (г. Москва), ООО НПО «СтелсПромМаш» (г. Пермь), в Пермском центре научно-технической информации — филиал ФГБУ «РЭА «Минэнерго России», Регионального центра инжиниринга Пермского края.

На основе сказанного можно сделать вывод, что все поставленные в работе **задачи** были **решены**, а **цель** диссертационного исследования, связанная с развитием механизмов и методов, приводящих к повышению эффективности функционирования ПрС, **достигнута**. Разработанные в диссертационном исследовании модели и методы в совокупности составляют теоретические основы построения систем поддержки принятия управленческих решений при решении задач планирования производственной деятельности ПрС, работающих в условиях открытого рынка и позволяющих исследовать широкий класс задач без отраслевых ограничений. Реализация в виде информационной системы позволяет использовать результаты исследования в практической деятельности и повысить объективность принимаемых решений.

#### IV. СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

##### Публикации в изданиях входящих в Web of Science и SCOPUS

###### *Статьи в журналах*

1. Mylnikov L., Sidorov A. Issues of Heat Supply Quality Improvement Based on Ambient Air Temperature Forecasts and Account of the Heat Supply System Particularity//FME Transactions. — 2020. — Vol. 48, No 1, pp. 53–62. (SCOPUS 2020 Q3)

2. Mylnikov L.A., Kulikov M.V., Krause B. The selection of optimal control of the operation modes of heterogeneous duplicating equipment based on statistical models with learning//International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET).—2018.—Vol. 9, Issue 9, pp. 1516–1526. (SCOPUS 2018 Q3)

3. Mylnikov, L., Fayzrakhmanov, R. Production planning with parameters on the basis of dynamic predictive models: Interconnection and the inertness of their interaction // European Research Studies Journal. — 2018. — Vol. 21. — №2. — pp. 265–281. (SCOPUS 2018 Q2)

4. Mylnikov L. A., Kuetz M. Electric Power Supply Subsystem and its Role in Solving Production System Management and Planning Issues // International Journal of Energy Economics and Policy. — 2017. — Vol. 7. — № 5. — pp. 191–200. (SCOPUS 2017 Q1)

5. Mylnikov L., Kuetz M. The risk assessment method in prognostic models of production systems management with account of the time factor // European Research Studies Journal. — 2017. — Vol. 20. — № 3. — pp. 291–310. (SCOPUS 2017 Q2)

6. Fayzrakhmanov R. A., Mylnikov L. A. The foundations of modeling management processes for innovation projects in production-economics systems // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. — 2016. — Vol. 50. — № 3. — pp. 85–90. (WoS)

7. Mylnikov L. A. Particularities of solving the problems of support for managerial decision making in production and economic systems using the statistical data // International Journal of Economics and Financial Issues (IJEFI). — 2016. — Vol. 6. — № 8S. — pp. 321–331. (SCOPUS 2016 Q3)

8. Mylnikov L., Fayzrakhmanov R., Kurushin D. Information support of project management processes in the network of research organizations and technological companies // Astra Salvensis. — 2016. — Vol. 6. — pp. 603–612. (SCOPUS 2016 Q4)

9. Mylnikov L. A. A system view of the problem of the modeling and control of production innovations // Scientific and Technical Information Processing. — 2012. — Vol. 39. — № 2. — pp. 93–106. (SCOPUS 2012 Q3)

10. Mylnikov L. A., Trusov A. V. On an approach to the design of a logical model of innovation project data // Scientific and Technical Information Processing. — 2011. — Vol. 38. — № 3. — pp. 201–206. (SCOPUS 2011 Q4)

*Статьи в сборниках научных конференций*

1. Mylnikov L., Vershinin D., Faizrahmanov R. The modelling methodology of the new product release on the open market based on the production systems and rival products interaction dynamics//Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. — 2020. — Vol. 8, Issue 1, pp. 63–70.

2. Mylnikov L. Management and Information Support Issues in the Implementation of Innovation Projects in Production Systems//Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. — 2019. — Vol. 7, Issue 1, pp. 55–63.

3. Mezhov S., Mylnikov L. Specifics of Project Management on Industrial Innovation//Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. — 2018. — Vol. 6, Issue 1, pp. 103–108.

4. Mylnikov L., Vershinin D., Fatkhullin D. The Use of Optimal Management Tasks for Verification and Adjustment of New Product Release Planning in Discrete Production Systems // Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. — 2018. — Vol. 6, Issue 1, pp. 67–75.

5. Seledkova A. V., Mylnikov L. A., Bernd K. Forecasting characteristics of time series to support managerial decision making process in production-and-economic systems // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM 2017). — SPb, Russian Federation : Institute of Electrical, Electronics Engineers Inc., July 2017. — pp. 853–855.

6. Mylnikov L. Risk Evaluation in Manufacturing Organization Tasks for Product Technological Projects and Establishment of Project Portfolio for Production Systems // Proceedings of the 2016 International Conference on Applied, Mathematics, Simulation and Modeling. — Vol. 41. — Beijing, China, May 2016. — pp. 399–402.

7. Mylnikov L., Amberg M. The Forecasting of Innovation Projects Parameters // Vision 2020: Innovation, Development Sustainability, and Economic Growth. — Vol. 1–3. — Vienna, Austria : IBIMA, June 2013. — pp. 1017–1029.

8. Amberg M., Mylnikov L. Innovation project lifecycle prolongation method // Innovation and Knowledge Management in Twin Track Economies: Challenges & Solutions. — Cairo, Egypt : IBIMA, Jan. 2009. — pp. 491–495.

### **Публикации в изданиях из списка ВАК (05.13.10)**

1. Мыльников Л.А. Управление экономической эффективностью производственных систем в условиях непрерывного потока новых проектов // Проблемы управления. — 2020. — № 6. — С. xx–xx. (в печати)

2. Мыльников Л.А., Морозов А.С., Пухарева Д.В. Выбор методов классификации и повышение их эффективности в задачах идентификации на примере выявления мошенников в магазинах полного самообслуживания // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. — 2020. — № 33. — С. 129–146.

3. Мыльников Л. А. Управление и внедрение результатов инновационных проектов в условиях динамики внешней среды и диффузии проектов // Инновации. — 2019. — №12.—С. 104–112.

4. Мыльников Л. А. Вопросы эффективного управления динамическим портфелем инновационных проектов производственных систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2019. — №2(46). — С. 10–21.

5. Мыльников Л. А., Селедкова А. Б. Способ выбора метода прогнозирования и горизонта планирования параметров с использованием оценки риска // Информационные технологии. — 2018. — Т.24. — №2. — С. 97–103.

6. Мыльников Л.А., Гергель Н.А., Кычкин А.В., Краузе Б. Использование динамических предиктивных моделей для управления техническими системами с инертностью // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. — 2018. — № 26. — С. 77–91.

7. Мыльников Л. А. Информационная поддержка в задачах управления производственными системами и проектами на основе прогностических моделей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. — 2017. — №23. — С. 73–84.

8. Коротаев В. Н., Мыльников Л. А. Вопросы развития инновационной инфраструктуры и коммерциализации научных разработок в Пермском национальном исследовательском политехническом университете // Инновации. — 2012. — № 11(169). — С. 20–27.

9. Мыльников Л. А. Микроэкономические проблемы управления инновационными проектами // Проблемы управления. — 2011. — №2. — С. 2–11.

10. Мыльников Л. А. Управление инновационными проектами на основе составного интегрального критерия // Управление большими системами. — № 29. — 2010. — С. 128–151.

11. Мыльников Л. А., Алякдиоров Р. Х. Подход к прогнозированию развития и управления жизненным циклом инвестиционных проектов // Управление большими системами. — № 27. — 2009. — С. 293–307.

12. Винокур В. М., Мыльников Л. А., Перминова Н. В. Подход к прогнозированию успешности инновационного проекта // Проблемы управления. — 2007. — № 4. — С. 56–59.

### **Монографии и разделы в коллективных монографиях**

1. Мыльников Л. А. Алгоритмы и методы машинного обучения для специалистов Data Science. — СПб.: БХВ-Петербург, 2020. — 247 С. (ISBN 978-5-9775-6733-6) (в печати)

2. Mylnikov L., Krause B., Kuetz M., Bade K., Schmidt I. Intelligent data analysis in the management of production systems: Approaches and methods/ ed. Mylnikov L. — Aachen: Shaker, 2018. — 168 p. (ISBN 978-3-8440-6038-6) (Amazon)

3. Mylnikov L. A. Digital Transformation in Smart Manufacturing // ed. by A. Petrillo, R. Cioffi, F. De Felice. — InTech, 2018. — Chap. Time factor in operation research tasks for smart manufacturing. pp. 75-92 (ISBN 978-953-51-3841-9)

4. Mylnikov L. A. Key Issues for Management of Innovative Projects // ed. by B. L. Moya, M. D. S. de Gracia, L. F. Mazadiego. — InTech, 2017. — Chap. Planning and Management Tasks of Innovation Projects in Production and Economic Systems. pp. 45–59. (ISBN 978-953-51-3467-1)

5. Мыльников Л. А. Поддержка принятия решений при управлении инновационными проектами. — Пермь: ПГТУ, 2011. — 145 С. (ISBN 978-398-00530-1)

### **Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ**

1. Модель прогнозирования значения параметров неразделенных временных рядов для параметров, описываемых инновационными кривыми [электронный ресурс] / Л.А. Мыльников, М.В. Садиахматов. — Электрон. прогр. — Пермь, 2017 — Свидетельство о ГР прогр. для ЭВМ №2017615014; заявка №2017611880 от 07 марта 2017; зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 02 мая 2017 г.

2. Прогностическая модель объемно-календарного планирования графика закупок [электронный ресурс] / Л.А. Мыльников. — Электрон. прогр. — Пермь, 2017 — Свидетельство о ГР прогр. для ЭВМ №2017614677; заявка №2017611861 от 07 марта 2017; зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 25 апреля 2017 г.

3. Программа анализа и моделирования данных (DASS) [электронный ресурс] / Л.А. Мыльников, А.А. Шелемехов, И.В. Корнев. — Электрон. прогр. — Пермь, 2016 — Свидетельство о ГР прогр. для ЭВМ №2016663608; заявка №2016661670 от 31 октября 2016; зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 13 декабря 2016 г.

4. Программа учета малых инновационных предприятий ПНИПУ (ПУ МИП ПНИПУ) [электронный ресурс] / Л.А. Мыльников, И.А. Шмидт, Д.П. Лекомцева. — Электрон. прогр. — Пермь, 2014 — Свидетельство о ГР прогр. для ЭВМ №2014617915; заявка №2014615574 от 10 июня 2014; зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 06 августа 2014 г.

5. Data Warehouse of Intellectual Property (DWIP InnoNet) [электронный ресурс] / В.М. Винокур, Л.А. Мыльников, Л.М. Черемных. — Электрон. прогр. — Пермь, 2006 — Свидетельство о ГР прогр. для ЭВМ №2006612245; заявка №2006611421 от 02 мая 2006; зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 29 июня 2006 г.

6. Technology Transfer System Editor (TTSE InnoNet) [электронный ресурс] / В.М. Винокур, Л.А. Мыльников, М.Л. Степучев, Л.М. Черемных. — Электрон. прогр. — Пермь, 2006 — Свидетельство о ГР прогр. для ЭВМ №2006610601; заявка №2005613310 от 14 декабря 2005; зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 10 февраля 2005 г.

### **Отчеты о выполнении НИР**

1. Разработка информационной системы обработки данных и поддержки принятия решений для управления инновационными проектами: отчёт о НИР (заключительный): 1291/Пермский государственный технический университет; Рук. Мыльников Л. А. — Пермь, 2008. — 59 С.— № ГР 01200851024.

2. Разработка концепции цифровых платформ для исследований и разработок, а также разработка и утверждение долгосрочной программы их создания и внедрения в сети научных, образовательных организаций и технологических компаний Российской Федерации: отчёт о НИР (окончательный) /Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Рук. Файзрахманов Р.А., исполн. Мыльников Л. А. [и др.]. — Пермь, 2018. — 58 С. — № ГР АААА–А18–118041390019–3.

### **Другие публикации**

1. Мыльников Л.А. Вопросы формирования динамического портфеля инновационных проектов в производственных системах с дискретным временем // XII Всероссийское совещание по проблемам управления. — М.: ИПУ РАН, 2019. — С. 3134–3138.

2. Мыльников Л.А. Адаптивные модели, методы и инструментальные средства в задачах управления динамическим портфелем инновационных проектов производственных систем со случайными и неопределёнными факторами взаимодействия с рынком // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф.: в 12 т. — Т.2. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. — С. 85–93.

3. Мыльников Л.А., Садиахматов М.В. Использование нечетких чисел в динамических предиктивных моделях для решения задач управления производственными системами//Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. — Т.1. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 2018. — С. 562-565.

4. Kalikh A., Mylnikov L. Formalization of the problems of marketing in managing the implementation of industrial innovation projects//European Researcher. — 2014. — № 10-2 (85). — С. 1816–1827.

МЫЛЬНИКОВ Леонид Александрович

МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ  
АКТУАЛИЗАЦИИ ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТОВ ДИСКРЕТНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Специальность:

05.13.10 — Управление в социальных и экономических системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Подписано в печать ХХ.ХХ.2020. Формат 60×90/16.  
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ №ХХХ/2020.

Отпечатано в центре «Издательство Пермского национального  
исследовательского политехнического университета».  
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.  
Тел.: (342) 219-80-33.