

Южно-Уральский государственный университет

На правах рукописи

Зеленков Юрий Александрович

**МЕТОДОЛОГИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ
КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КРУПНОГО
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Специальность

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант

Заслуженный деятель науки РФ

д.т.н., профессор

Логиновский О.В.

Челябинск - 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИТ.....	20
1.1. ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ИТ-СТРАТЕГИИ	26
1.1.1. ИТ-стратегия как обеспечение соответствия требованиям бизнеса	26
1.1.2. Разработка ИТ-стратегии на основе архитектуры предприятия	30
1.1.3. Разработка ИТ-стратегии в рамках корпоративного управления	34
1.1.4. Обзор исследований в области стратегического планирования корпоративных ИТ в России.....	39
1.2. ПРОБЛЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ИТ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ.....	45
1.3. СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ И КОНЦЕПЦИИ В ТЕОРИИ ОРГАНИЗАЦИИ	47
1.3.1. Эволюционная теория фирмы	47
1.3.2. Измерение эффективности инвестиций в ИТ	51
1.3.3. Проблема обеспечения адаптивности организации	53
1.3.4. Контекст существования подсистем организации	57
1.3.5. Модель изменений корпоративной информационной системы	58
1.3.6. Современные требования к процессу разработки новой продукции	61

1.4. ВЫВОДЫ.....	67
ГЛАВА 2. МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ОРГАНИЗАЦИИ.....	68
2.1. ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ	69
2.2. МОДЕЛЬ КОРПОРАЦИИ.....	71
2.3. МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОБ ИЗМЕНЕНИИ КОНФИГУРАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ	78
2.4. РОЛЬ ИТ В ИННОВАЦИОННЫХ ДЕЙСТВИЯХ	79
2.5. ИТ-СТРАТЕГИЯ КАК СОЧЕТАНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОВЕДЕНЧЕСКОГО ПАТТЕРНА	82
2.6. ВЫВОДЫ.....	85
ГЛАВА 3. ПАТТЕРН ПОВЕДЕНИЯ ПРИ СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЕМ ИТ.....	87
3.1.ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИТ.....	87
3.1.1. Модель и метод принятия решений	87
3.1.2. Расширенная модель архитектуры предприятия.....	91
3.1.3. Пример оценки сложности реализации ИТ инициатив	96
3.2. АДАПТИВНОСТЬ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.....	106
3.2.1. Модель адаптивной информационной системы	106
3.2.2. Методы обеспечения адаптивности корпоративной ИС	109
3.2.3. Обеспечение адаптивности корпоративной ИС за счет использования гибких методов разработки	111
3.2.4. Обеспечение адаптивности корпоративной ИС за счет использования технологической платформы.....	113

3.2.5. Обеспечение адаптивности корпоративной ИС на основе предоставления бизнес-сервисов	126
3.2.6. Организация ИТ-службы, ориентированная на поддержание адаптивности корпоративной ИС.....	128
3.3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ.....	131
3.3.1. Метод оценки эффективности внедрения ИС на основе энтропии параметров бизнес-процессов.....	131
3.3.2. Пример анализа эффективности реализации ИС	136
3.3.3. Определение доли процессов, заканчивающихся с одинаковым результатом.....	137
3.4. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ АДАПТИВНОСТИ ИС	139
3.5. ВЫВОДЫ.....	142
ГЛАВА 4. ФОРМИРОВАНИЕ ИТ-СТРАТЕГИИ КАК ПЕРСПЕКТИВЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОДУКТОВЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ	145
4.1. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ПРОДУКТОВ И ОТКРЫТЫЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ	145
4.2. КЛЮЧЕВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПОВЫШЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ....	147
4.2.1. Анализ ключевых компетенций в проектировании и производстве газотурбинных двигателей.....	149
4.2.2. Анализ перспектив использования инженерных расчетов для повышения ключевых компетенций	152

4.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСОВ С ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ СОРАЗРАБОТЧИКОВ.....	164
4.4. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОРПОРАТИВНЫМИ ИТ.....	169
4.5. ВЫВОДЫ.....	174
ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДОЛОГИИ В ОАО «НПО «САТУРН».....	178
5.1. ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИТ В ОАО «НПО «САТУРН»	178
5.2. ВИРТУАЛЬНАЯ СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОАО «НПО «САТУРН»	183
5.3. ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ РАБОЧИХ ГРУПП	187
5.4. МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКАЯ СРЕДА ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ.	190
5.5. КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	196
5.6. ВЫВОДЫ.....	216
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	218
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	222
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИБЛИЖЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА.....	246
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ПРИЛОЖЕНИЮ 1	273

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Усложняющаяся динамика международного и отечественного рынков ставят труднейшие задачи даже перед теми российскими предприятиями, в том числе машиностроительной отрасли, которые в состоянии предложить рынку современные востребованные продукты. В частности, консолидация предприятий оборонно-промышленного комплекса под эгидой государства («Объединенная авиастроительная корпорация» - ОАК, «Объединенная двигателестроительная корпорация» - ОДК, «Вертолеты России» и др.) ставит одной из своих главных целей снижение конкуренции на внутреннем рынке страны, а также устранение дублирования промышленных функций и конструкторско–производственных компетенций. Тем не менее, сохраняется жесткая конкуренция на внутреннем и, тем более, на внешнем рынках с зарубежными компаниями, которые, как правило, лучше управляются, используют более современные и производительные технологии, имеют возможность оперативно адаптировать свой продуктовый ряд к потребностям покупателей. Только повышение внутренней эффективности отечественных корпораций за счет создания новых систем управления и модернизации производственных процессов на базе новейших информационных технологий позволит сохранить российскую промышленность и обеспечить конкурентоспособность и необходимое разнообразие выпускаемой ею продукции.

Система управления современным крупным промышленным предприятием или корпорацией должна строиться на основе проектно-программного подхода, поскольку они не имеют четко обозначенных границ, однозначно определенных схем деятельности, единого места принятия решений. Для реализации такого подхода производственной компании необходимо создать некий аналитический блок (пусть даже не оформленный в виде отдельного подразделения), который бы позволял осуществлять мониторинг и анализ динамики всех бизнес-процессов на

предприятия, обнаруживать проблемы и «узкие места» в работе, а также обеспечивал бы формирование стратегического и оперативного прогноза развития любых ситуаций и корпорации в целом. Информационные технологии (ИТ) являются важнейшим инструментом поддержки этой аналитической деятельности. В то же время ИТ позволяют принципиально изменить процессы создания продуктов и услуг (проектирование, производство, послепродажное обслуживание), что ведет к сокращению временных затрат, материальных и финансовых ресурсов и т.д., а в итоге к повышению внутренней эффективности организации.

Таким образом, создание и институционализация стратегии развития ИТ (далее ИТ–стратегия), описывающей перспективы использования различных информационных систем (ИС), развития архитектуры предприятия и организационно-методического обеспечения управления ИТ, является важнейшим инструментом построения современной эффективной промышленной компанией.

Существующие методы стратегического планирования развития ИТ предполагают в той или иной степени следование корпоративной стратегии более высокого уровня – бизнес–стратегии компании. Однако в большинстве случаев, подобной бизнес–стратегии (хотя бы слабо обоснованной и неформализованной) промышленные предприятия или корпорации не имеют. Это объясняется высоким уровнем турбулентности внешней среды за счет изменения требований потребителей, действий конкурентов и партнеров, актов регуляторов рынка, дрейфа социальных факторов и пр. Поэтому любая корпоративная стратегия имеет дело не с непредсказуемыми, а с неизвестными факторами. Все это выдвигает требования к адаптивности предприятия, понимаемой, как способность обнаруживать изменения во внешней среде и эффективно реагировать на эти изменения. Очевидно, что данное требование должно распространяться и на ИС компаний, поскольку они фактически поддерживают сложившуюся практику ведения бизнеса в организации.

В связи с вышеизложенным тема диссертационной работы, посвященная созданию методологии стратегического управления развитием корпоративной информационной системы крупного промышленного предприятия в современных условиях, является весьма актуальной.

Объектом исследования диссертационной работы являются корпоративные информационные системы.

Предметом исследования диссертационной работы является стратегия развития корпоративных ИС в современных условиях нестабильности внутреннего и внешнего рынков.

Цель работы состоит в разработке методологии стратегического управления развитием корпоративной информационной системы крупного промышленного предприятия в современных условиях, а также ее практическом внедрении при создании информационной системы в машиностроительном предприятии ОАО «НПО «Сатурн».

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ известных методов разработки ИТ–стратегии предприятий и организаций, рассмотрено их соответствие современным концепциям менеджмента и теории организации, определены требования к методологии стратегического развития ИТ в условиях неопределенности; сформулирована задача представления ИТ–стратегии как комбинации разделяемой точки зрения на роль ИТ внутри компании (перспективы) и шаблона реакции на внешние воздействия (паттерна);
2. Исследована динамика поведения промышленных предприятий, ведущих хозяйственную деятельность в условиях нестабильности отечественного и мирового рынков; разработана модель поиска новых принципов поведения; пред-

ложена классификация инновационных действий организации; исследована роль ИТ в инновациях различного типа;

3. Сформулирован и исследован паттерн стратегического поведения организации, включающий оценку сложности реализации новой инициативы в области ИТ, измерение эффекта от ее реализации и методы поддержания адаптивности корпоративной ИС. Предложены модель адаптивной ИС и стратегическая модель обеспечения адаптивности корпоративной ИС. Разработано организационно-методическое обеспечение в виде рекомендаций по организационной структуре управления ИТ;
4. Предложена модель формирования ИТ-стратегии как перспективы на основе рассмотрения продуктовых инноваций и новых бизнес-моделей;
5. Сформирована методика интегральной оценки эффективности инвестиций в ИТ, и соответственно, эффективности принятой ИТ-стратегии;
6. Проведен анализ современных тенденций в организации процесса разработки новой продукции для машиностроительной отрасли, сформулированы соответствующие требования к корпоративным ИС; построена модель сценариев развития ИС предприятия, вступающего в инновационные альянсы по разработке новых продуктов и решающего задачу интеграции с информационными системами партнеров; проведен анализ влияния ИТ на ключевые компетенции предприятия для отрасли газотурбинного двигателестроения; разработан метод многокритериальной оптимизации, обеспечивающий снижение затрат машинного времени при вычислительном эксперименте;
7. На основе созданной в диссертационной работе методологии стратегического управления развитием корпоративной информационной системы предприятия разработана и внедрена в ОАО «НПО «Сатурн» виртуальная среда проектирования новых продуктов, включающая системы 3D параллельного инжиниринга, инженерного анализа на базе суперкомпьютерных технологий и сбора, обработки и хранения данных испытаний; созданы соответствующая организаци-

онная структура ИТ–подразделения и ИТ–инфраструктура для реализации этой цели, разработаны и внедрены необходимые программные системы, продемонстрирована эффективность результатов их внедрения на примере ОАО «НПО «Сатурн»;

8. Основные положения диссертации о принципах и подходах к формированию ИТ-стратегии использованы при анализе существующих систем и разработке ИТ-стратегии в Центральном институте авиационного моторостроения (ЦИАМ) им. П.И. Баранова.

Методы исследования. Основные результаты работы получены и обоснованы с применением методов системного анализа и общей теории систем, новой институциональной теории, эволюционной экономической теории, теории организационного развития, теории социотехнических систем, теории сложности, теории информационных систем и теории процесса разработки новых продуктов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Эволюционная модель предприятия, включающая модель поиска новых принципов поведения и классификацию инновационных действий;
2. Модель формирования стратегии развития ИТ, сочетающая подходы на основе перспективы (с учетом роли и влияния ИТ на деятельность компании) и паттерна (принцип поведения относительно новых ИТ–инициатив);
3. Паттерн стратегического поведения, включающий:
 - метод принятия решений о реализации ИТ–инициатив, направленных на повышение операционной эффективности;
 - метод измерения эффективности реализации ИТ–инициатив, направленных на повышение операционной эффективности;
 - модель адаптивной ИС и исследование способов поддержания адаптивности, рекомендации по организации ИТ службы, ориентированной на поддержание адаптивности корпоративной ИС;

4. Модель формирования стратегической перспективы, связанной с использованием ИТ в организации, на основе анализа потенциальных продуктовых инноваций и новых бизнес-моделей;
5. Модель интегральной оценки эффективности инвестиций в ИТ на основе анализа затрат, приходящихся на одного сотрудника, использующего в своей работе корпоративные ИС;
6. Результаты анализа современных тенденций в организации процесса разработки новой продукции, состав требований к ИС промышленного предприятия и результаты внедрения основных положений диссертации в ОАО «НПО «Сатурн» и ЦИАМ им. П.И. Баранова.

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие новые теоретические и практические результаты:

1. На основании положений эволюционной экономики и новой институциональной теории предложена эволюционная модель предприятия (организации), включающая модель поиска новых принципов поведения и классификацию инновационных действий.
2. Сформулирован новый подход к стратегическому развитию ИТ, сочетающий взгляды на нее как на перспективу (разделяемая точка зрения на роль ИТ внутри компании), так и как на паттерн (принцип поведения относительно новых ИТ–инициатив). Разработан паттерн стратегического поведения, включающий модель оценки сложности реализации ИТ–инициатив, количественную метрику измерения эффекта от реализованных ИТ–инициатив и модель обеспечения адаптивности ИС.
3. Предложенная оригинальная модель оценки сложности реализации ИТ–инициатив базируется на классификации трансформационных и транзакционных затрат, на снижение которых направлена рассматриваемая инициатива, что обеспечивает связь ИТ–стратегии и ИТ–архитектуры. При этом в дополнение к традиционным аспектам рассмотрения ИТ–архитектуры (бизнес-процессы, данные, приложения, техническая архитектура) в процесс планиро-

вания также включен домен методов управления ИТ, что позволяет синхронизировать внедрение различных практик управления с проектами по внедрению собственно ИС/ИТ. Также предложенная модель отличается тем, что описание технической архитектуры сегментировано по различным направлениям (сеть, рабочее место, центр обработки данных и т.д.) применительно к потребностям машиностроительного предприятия, работающего в сфере высоких технологий и обеспечивающего поддержку полного жизненного цикла своей продукции.

4. Вновь созданный метод измерения эффекта от внедрения ИС базируется на информационной энтропии случайной величины, которой является результат выполнения бизнес-процесса, поддерживаемого ИС, и позволяет оценить уровень неопределенности управляемой организационной системы.
5. Предложенная новая модель адаптивной ИС включает структурные параметры, обеспечивающие адаптивность, и операционные, которые позволяют количественно измерить достигнутый уровень адаптивности.
6. Исследованы ранее недостаточно изученные различные способы поддержания адаптивности ИС, при этом учтены как технологические, так и социальные компоненты системы.
7. Предложенная стратегическая модель поддержания адаптивности корпоративной ИС базируется на следующих принципах: выделении ИТ-сервисов, создание и развитие которых может осуществляться независимо; формировании плана повышения зрелости ИТ-сервисов; учете того, что сервисы корпоративной ИС поддерживаются и развиваются независимыми группами разработчиков, использующими гибкие (agile) методы разработки; положении о том, что все сервисы реализуются на основе корпоративной технологической платформы, которая развивается в соответствии с планом повышения зрелости сервисов (каждая подсистема (сервис) корпоративной ИС рассматривается как комбинация нескольких слоев, которые изменяются в различных масштабах времени, и связи между которыми сведены к минимуму).

8. Оригинальная модель формирования стратегической перспективы развития и использования ИТ в организации опирается на анализ возможных продуктовых инноваций, потенциальное использование новых бизнес-моделей, которые формулируют новые требования к информационной инфраструктуре предприятия;
9. Предложенная модель интегральной оценки эффективности инвестиций в ИТ и, соответственно, ИТ-стратегии организации в целом основана на исследовании динамики накопленного ИТ-капитала и затрат на ИТ-персонал, приходящихся на одного пользователя корпоративной ИС;
10. На основе анализа влияния ИТ на ключевые компетенции предприятия, специализирующегося в области газотурбинного двигателестроения, предложены концепция виртуальной среды проектирования и метод многокритериальной оптимизации позволяющий сократить число вычислений за счет автоматизированного построения приближенных моделей.

На рис. В.1 показана связь предложенных в данной работе моделей и методов (выделены серым цветом) с известными моделями других исследователей.

Обоснованность и достоверность научных положений, основных выводов и результатов диссертации обеспечивается за счет использования научных положений современной теории управления, методов математического моделирования и теории оптимизации, теории информационных систем, а также тщательного анализа состояния результатов исследований в проблемной области, подтверждается практической реализацией разработанных моделей и методов. Основные теоретические положения и практические результаты диссертационной работы апробированы в печатных трудах и докладах на российских и международных научных и профессиональных конференциях.

Практическая ценность работы подтверждается результатами внедрения предложенных моделей и методов в ОАО «НПО «Сатурн», в частности они позволили:

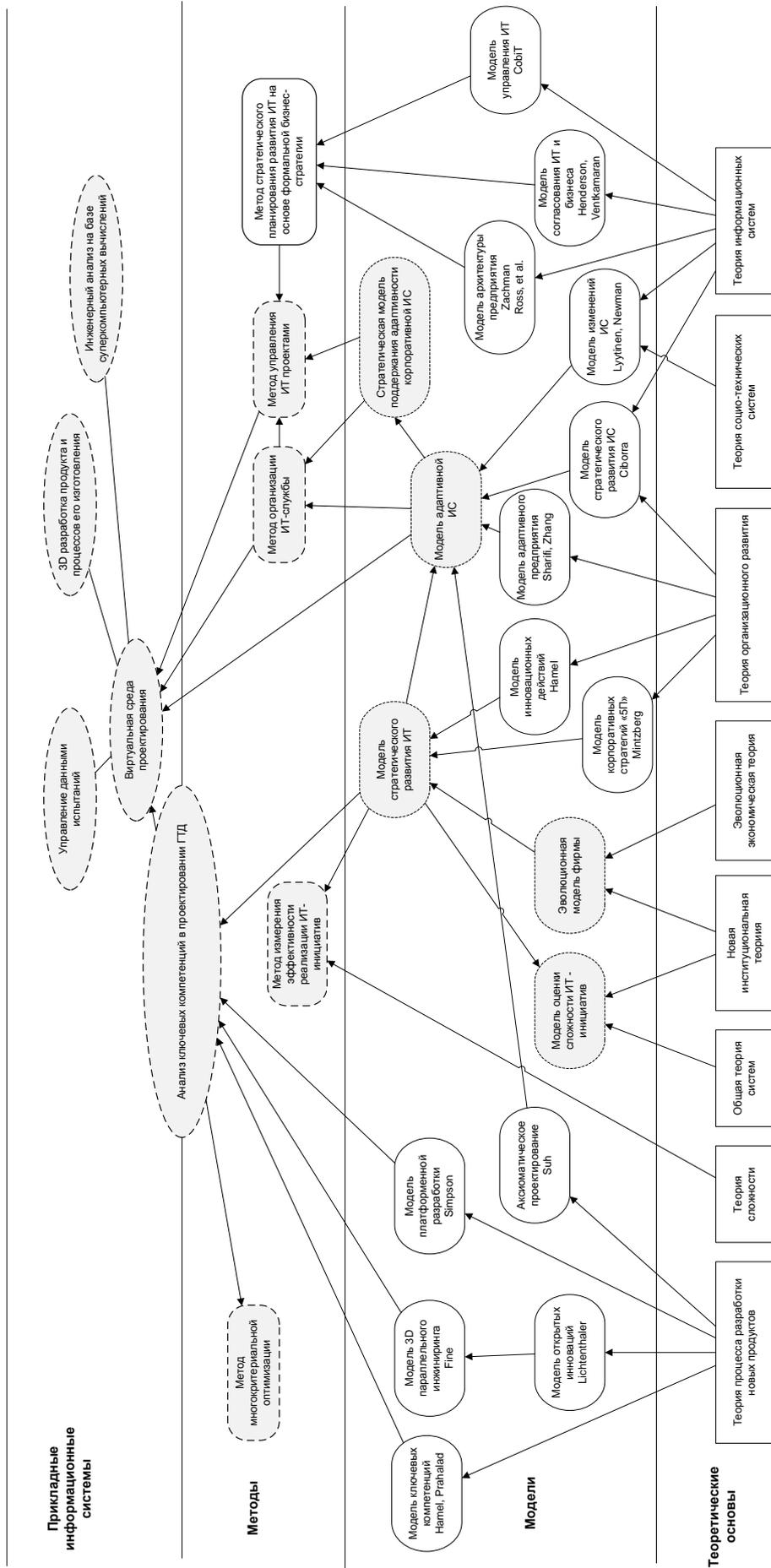


Рис. В.1. Связь разработанных моделей и методов с известными моделями

1. Выработать единый взгляд руководства компании на перспективы использования ИТ в бизнесе компании, институционализировать правила принятия решений по поводу ИТ-инициатив.
2. Создать эффективную виртуальную среду проектирования газотурбинных двигателей (ГТД), которая позволила сократить затраты времени на разработку новых изделий более чем в 2 раза. При этом обеспечена удобная пользователям интеграция с аналогичными системами соразработчиков в международных проектах.
3. Повысить эффективность работы ИТ-специалистов. За 2001-2010 годы численность ИТ - дирекции ОАО «НПО «Сатурн» была сокращена на 30% при одновременном возрастании объема поддерживаемой и развиваемой ИТ - инфраструктуры в 3-4 раза (по некоторым направлениям более чем в 10 раз). Накопленный ИТ-капитал, приходящийся на одного информационного сотрудника уменьшился на 40%, соответствующие затраты на ИТ-персонал на 55%.

Предложенная методология создания ИТ-стратегии была также использована в ЦИАМ им. П.И. Баранова при анализе текущего положения дел в области информационной поддержки управленческих, научно-исследовательских и производственных процессов института, определению перспектив модернизации и развития различных информационных систем. Полученные на основе использования результаты дают основание сделать вывод о положительном эффекте применения указанной методологии при выполнении работ по стратегическому развитию информационных систем института.

По материалам диссертационной работы в 2012 г. был подготовлен и проведен мастер-класс по стратегическому управлению ИТ на предприятии на Высших курсах ИТ-директоров (проект Союза ИТ-директоров России при поддержке International Academy of CIO и НИУ Высшая школа экономики). Кроме того, разработанная в диссертации методология, отдельные модели и методы использованы в учебном процессе в Рыбинском государственном авиационном технологиче-

ском университете и Ярославском государственном университете, подготовлены два учебно-методических пособия. В 2013 г. по материалам диссертационной работы при поддержке оргкомитета национальной премии IT-лидер была выпущена монография о стратегическом управлении ИТ в условиях неопределенности.

Область применения результатов. Результаты диссертационной работы могут быть использованы для управления стратегическим развитием ИТ в организациях различного типа и различной формы собственности.

Апробация и внедрение результатов. Основные результаты докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях:

1. Всероссийская научно-техническая конференция «Моделирование и обработка информации в технических системах» (Рыбинск, 2004),
2. II Международная научно-техническая конференция «Авиадвигатели XXI века» (Москва, 2005),
3. XV Международная конференция по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2007) (Алушта, Украина, 2007),
4. Всероссийская суперкомпьютерная конференция «Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач» (Новороссийск, 2008),
5. III Международная научно-техническая конференция «Авиадвигатели XXI века» (Москва, 2010),
6. Международная суперкомпьютерная конференция «Научный сервис в сети Интернет: экзафлопсное будущее» (Новороссийск, 2011),
7. 6th International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems CONFENIS 2012 (Ghent, Belgium, 2012),
8. XII Международная конференция «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM/PDM» (Москва, 2012).

Также результаты работы докладывались и обсуждались на совещании Научного совета ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (2010), заседании кафедры САПР МГТУ им. Н. Баумана (2011), научно-техническом совете Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова (2012), заседании кафедры «Информационно-аналитическое обеспечение управления в социальных и экономических системах» ЮУрГУ (2013) и на следующих профессиональных и научно-практических конференциях:

1. Intel European HPC Roundtable (Мюнхен, Германия, 2005);
2. 3-я открытая всероссийская конференция «Преподавание информационных технологий в России» (Рыбинск, 2005);
3. 3-ий ежегодный саммит «Корпоративные ИТ Стратегии в России» (Москва 2006);
4. Круглый стол «Конкурентные преимущества бизнеса средствами ИТ» (Тель-Авив, Израиль 2006);
5. 4-ый ежегодный съезд российских ИТ директоров. (Москва, 2006);
6. Форум ИТ-лидер – 2006 «Ключевые аспекты бизнеса: безопасность и доступность данных». (Москва, 2006);
7. Exploring the Evolution of Corporate IT in Russia and CIS: Turning Tactics into Strategy (Прага, Чешская республика, 2007);
8. Круглый стол «Цена непрерывности бизнеса» (Стамбул, Турция, 2008);
9. Третья ежегодная конференция «Управление бизнес-процессами на предприятии: концепции, технологии, инструменты" (Москва 2008);
10. Всероссийский форум «Интеллектуальные ресурсы регионов России» (Ярославль, 2008);
11. «ИТ - решения для предприятий авиастроительной отрасли» (Москва, 2009);
12. «Business Process Management: ключевые шаги к успеху» (Москва, 2009);
13. «Datacenter Dynamics Moscow 2009 conference» (Москва, 2009);

14. Региональное совещание по развитию суперкомпьютерных и грид-технологий в Челябинской области (Челябинск, 2010);
15. Конференция IDC IT Infrastructure Management Roadshow 2010 "Управление ИТ - инфраструктурой: новые задачи, новые возможности" (Москва, 2010);
16. Четвертая профессиональная конференция "Информационные технологии в авиационном бизнесе (ИТАБ 2010)" (Москва, 2010);
17. Первый Московский Суперкомпьютерный Форум (Москва, 2010);
18. XIV Международная научно-практическая конференция «ИТ - бизнес в металлургии, машиностроении, ТЭК и химии» (Москва, 2011);
19. 6-ая ежегодная международная конференция «ЦОД-2011» (Москва, 2011);
20. 3-я международная научно-практическая конференция «Эффективные технологии управления производством» (Москва, 2011);
21. «Рынок SaaS: Перспективы развития» (Москва, 2011);
22. Международная конференция Cloud and mobility 2012 (Москва, 2012);
23. Заседание клуба ИТ-директоров Центрального федерального округа (Ярославль, 2012);
24. Управление информационными технологиями как бизнесом (Калининград, 2012);
25. Оптимизация ИТ-инфраструктуры: инновации и тренды (Москва, 2012);
26. 10-ый Съезд российских ИТ-директоров Russian CIO Summit (Москва, 2012);
27. Форум ИТ-лидер – 2012 «Мир будущего глазами лидеров экономики». (Москва, 2012);
28. Вторая конференция «Информационные технологии на службе оборонно-промышленного комплекса России» (Москва, 2013);
29. IDC CIO Summit 2013 (Вена, Австрия, 2013);
30. IV конференция «ИТ-стратегии бизнеса» (Москва, 2013);
31. ИТ-стратегия 2013 (Москва, 2013).

Публикации. По теме диссертации автором опубликована 41 печатная работа (в том числе 15 работ в рекомендованных ВАК изданиях [1-15], 9 работ в трудах и сборниках тезисов докладов международных и всероссийских научных конференций [16-24], 14 публикаций в прочих изданиях [25-38]), монография [39], подготовлено два учебно-методических пособия [40,41].

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 275 страниц машинописного текста, 63 рисунка, 23 таблицы, а также список литературы из 230 наименований.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИТ

Современные условия ведения бизнеса характеризуются постоянным изменением внешней среды, непрерывным возрастанием ее неопределенности. Этот вопрос находится в центре внимания многих исследований в рамках теории организации. В частности П.Друкер [42] считает, что поиск перемен и превращение их в новые возможности для компании – основная задача современного менеджмента. Нестабильность окружения накладывает ограничения и на стратегическое планирование бизнеса.

Применительно к корпоративным информационным системам (ИС) ряд аналогичных концепций предложил К.Сиборра [43]. В частности, он выделил подход к развитию ИС, названный им *bricolage* или импровизация – постепенное улучшение уже существующих систем, вовлечение работников операционного уровня в этот процесс, обучение через действие, метод проб и ошибок. В результате создаются уникальные операционные практики, которые не могут быть легко декодированы и воспроизведены конкурентами. Данный подход противоречит более традиционному представлению об инновациях за счет внедрения ИС, предполагающему радикальную замену существующих компетенций новыми на основе предварительного анализа, проекта и плана. На обширном фактическом материале Сиборра и его последователи показали, что даже, если проект внедрения ИС планируется в соответствии со вторым способом, реализуется он в соответствии с первым [43-45].

Как известно, существуют два взгляда на ценность, которую дают компании информационные технологии (ИТ). Согласно первой точке зрения, ИТ не дают долговременного конкурентного преимущества. Наиболее ярким выразителем

этого взгляда является Н. Карр [46], который утверждает, что все ИС и ИТ достаточно легко воспроизводятся при наличии соответствующих финансовых возможностей. Тем не менее, очевидно, что отказ от использования ИС/ИТ ставит компанию в заранее проигрышную позицию по сравнению с конкурентами. Поэтому Н. Карр предлагает следующие основные принципы, которыми необходимо руководствоваться при инвестициях в ИТ:

- стараться расходовать меньше;
- следовать за лидерами и не повторять их ошибок;
- заранее просчитывать инновационные риски;
- сфокусироваться на устранении недостатков, а не на преувеличении гипотетических возможностей.

Альтернативная точка зрения, активным сторонником которой является Э. Бриньолфсон, утверждает, что использование информационных технологий непосредственно или косвенно приводит к взрывному росту эффективности компании. Исследования Бриньолфсона и его коллег [47] показывают, что компании с высоким уровнем инвестиций в ИТ получают больше, чем просто приобретение новых технологий. Они фактически инвестируют в новые формы существования корпорации, улучшение бизнес-процессов, более эффективное распространение информации, децентрализацию принятия решений, устранение неключевых продуктов и компетенций, повышение квалификации персонала. Например, анализ публичных отчетов 179 зарубежных компаний [48] позволяет сделать вывод, что принятие решений на основе данных (DDD – data driven decision making) способствует повышению эффективности на 5-6% (в данном случае эффективность понимается как комплексная характеристика, включающая прибыльность компании, ее рыночную ценность, способность реагировать на изменения внешней среды, и выражается через финансово-экономические показатели). Управление перечисленными характеристиками относится к области стратегического менеджмента, поэтому ИТ можно рассматривать как стратегический ресурс.

Обзор современного состояния научных подходов к оценке эффективности инвестиций в ИТ приведен в сборнике [49]. Там отмечено, что эффекты от использования информационных технологий выявляются и успешно оцениваются только тогда, когда ИТ встроены в технологические процессы, например, заменяют человеческий труд более производительными компьютерами. Предпринимательские эффекты от инвестиций в ИТ, связанные с изменением процессов, комбинацией ИТ с другими инновациями, прежде всего организационными, представляют наибольший интерес для организаций, но механизмы формирования таких эффектов не очевидны.

В настоящее время понимание роли ИТ в повышении эффективности организации базируется на следующих ключевых идеях. ИТ являются технологией общего назначения [50], т.е. могут быть ключевыми функциональными компонентами различных систем. Главная особенность технологии общего назначения заключается в том, что она сама по себе не повышает производительность, но способствует созданию новых прикладных технологий, которые и влияют на эффективность. Современная организация может рассматриваться как комплекс комплиментарных активов [51], т.е. они дополняют друг друга таким образом, что увеличение инвестиций в один актив, вызывает рост эффективности другого, поэтому их необходимо развивать совместно. Таким образом, для повышения эффективности организации необходимо одновременно развивать дополняющие друг друга ИТ-сервисы, организационные практики и человеческий капитал. Изменения в комплиментарных активах появляются в процессе «со-изобретения» новых применений технологии, включая необходимые для этого изменения в организационной деятельности [52]. Данные концепции формируют качественную модель возникновения эффекта от ИТ, но в практической деятельности очень важно опираться на количественные показатели, однако, общепринятые методики в настоящее время отсутствуют.

В работе [51] перечислены следующие эффекты, возникающие в машиностроительных корпорациях при внедрении новых ИТ:

- Прямое сокращение производственных затрат, вызываемое внешними факторами (в данном случае ИТ). Например, сокращение затрат на сбор и обработку данных позволяет сократить стоимость разработки новой продукции;
- Косвенное влияние на элементы корпоративной стратегии, проявляющееся в том, что рост эффективности любого подмножества процессов предприятия инициирует рост эффективности и процессов, не входящих в это подмножество. Так при внедрении САД-систем появляются цифровые модели продукции, которые позволяют перейти к использованию автоматизированной разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ (САМ – системы), что, в свою очередь, открывает возможность создавать гибкое производство и тем самым сокращать затраты на оборудование.

Однако при этом возникает проблема выбора ИТ, которые необходимо реализовывать в условиях конкретной корпорации. В [51] показано, что отношение предпочтения (способность сравнивать различные наборы альтернатив) при таком выборе не является выпуклым, в частности, там построена модель корпорации на базе супермодульных функционалов.

Таким образом, задача построения стратегического плана развития информационных систем и технологий (далее ИТ–стратегии), являющегося частью стратегии ведения бизнеса, является важнейшим инструментом построения эффективного предприятия.

Понятие «стратегия» достаточно общее и не всегда понимается одинаково. И. Ансофф [53] определяет стратегию как набор правил для принятия решений, которыми организация руководствуется в своей деятельности. Согласно определению аналитиков исследовательской компании Gartner [54], стратегия формули-

рует четкую миссию, видение и цели, создает варианты для достижения этих целей и определяет план их достижения.

Деятельность по разработке ИТ–стратегии также можно определить как процесс идентификации потенциальных способов использования информационных технологий, которые организация должна реализовать для достижения своих целей [55]. Поскольку для обеспечения эффективного использования ИТ необходимы соответствующие специалисты, очевидно, что в процессе такой идентификации и построения соответствующих планов должны рассматриваться и вопросы организации ИТ– службы (оргструктура, процедуры внедрения и сопровождения систем, поддержание компетентности и т.д.).

В [56] на основе анализа публикаций в ведущих научных журналах за последние 20 лет выделены три концептуальных подхода к ИТ–стратегии:

- ИТ–стратегия как использование ИС для поддержки бизнес–стратегии, основным инструментом при таком подходе является «обеспечение соответствия требованиям бизнеса» (IT and business alignment в зарубежной литературе);
- ИТ–стратегия как план реализации ИТ функций, основной инструмент ее создания – управление ИТ (IT governance);
- ИТ–стратегия как общая точка зрения на роль ИС в организации, очень часто такой подход опирается на архитектуру предприятия (enterprise architecture).

В работе [56] так же установлена связь выделенных концепций с широко известными принципами формирования стратегии Г. Минцберга [57]: план, прием, паттерн, позиция и перспектива (пять «П»). Выделенные концепции представляют собой, соответственно, позицию (отношение организации к внешней среде), план (набор осуществляемых намерений) и перспективу (разделяемый способ восприятия внешнего мира внутри организации). Минцберг и его коллеги [57] также отмечают, что выраженные вслух намерения (позиция и планы на ее основе) формируются на основе укоренившихся, формально не декларируемых перспективы

и устойчивых характеристик поведения (паттернов). Согласно Минцбергу [58], два принципа (стратегия как план и как принцип поведения) совершенно равноправны: организации разрабатывают планы на будущее и выводят принципы поведения (паттерны) из своего прошлого, которые постепенно изменяются вместе с новыми ситуациями.

В [56] также отмечено, что недостатком концепции «ИТ–стратегия как позиция» является ее ориентация на определение целей и задач «сверху–вниз». Из этого следует вывод, что ее необходимо дополнить механизмами определения стратегии «снизу–вверх», которые реализуются в виде паттернов. Таким образом, задача выделения паттернов стратегического поведения важна не только с точки зрения общего менеджмента, но и в контексте проблемы формирования ИТ–стратегии.

Как уже было отмечено, существует несколько практических подходов, которые в той или иной степени охватывают весь круг вопросов при разработке ИТ–стратегии (рисунок 1.1). Первое направление получило название «обеспечение соответствия потребностям бизнеса» (Business and IT Alignment). Его задача понимается либо как обеспечение со стороны ИТ поддержки бизнеса, либо как реализация в бизнесе новых возможностей, которые предлагают современные ИТ. С этим подходом тесно связан проблема оценки зрелости ИТ инфраструктуры компании. Второй подход к разработке ИТ–стратегии базируется на концепции и методиках архитектуры предприятия (Enterprise Architecture). Наконец, в рамках корпоративного управления ИТ (IT Governance) также ставятся задачи, связанные с ИТ–стратегией. Рассмотрим последовательно эти направления.

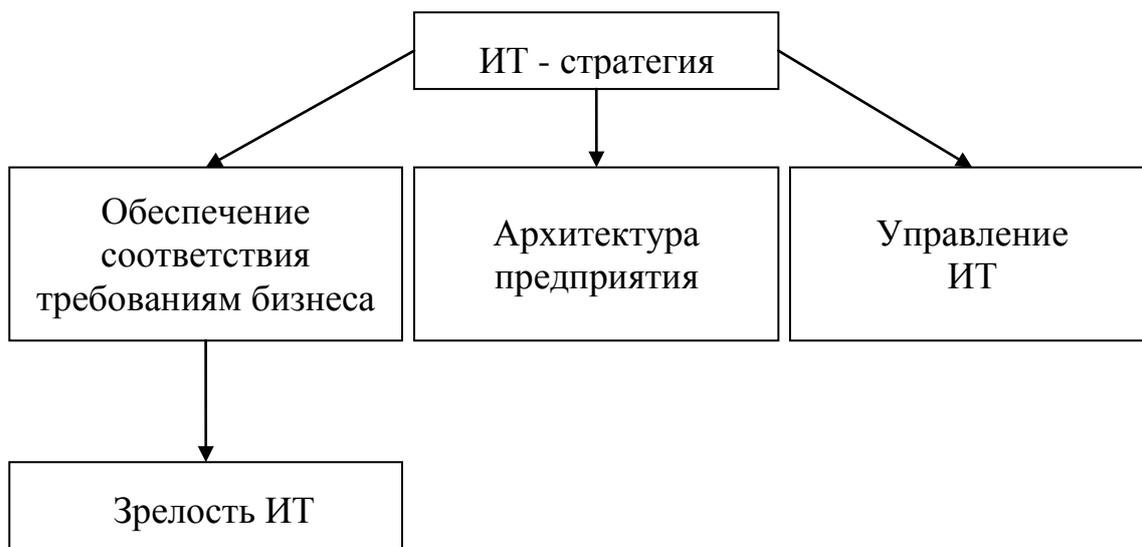


Рис. 1.1 Современные направления в разработке ИТ–стратегии

1.1. ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ИТ-СТРАТЕГИИ

1.1.1. ИТ-стратегия как обеспечение соответствия требованиям бизнеса

Одной из основополагающих теоретических работ по данному вопросу является статья Дж.Хендерсона и Н. Венкатрамана [59], где предложена стратегическая модель соответствия (The Strategic Alignment Model – SAM). Эта модель предполагает, что установление соответствия ИТ и бизнеса может быть достигнуто за счет выравнивания четырех областей: бизнес–стратегия, ИТ–стратегия, организационная инфраструктура и процессы предприятия, ИТ–инфраструктура и процессы. Первые две области рассматриваются как «внешний фокус», а вторые две – как «внутренний фокус». «Направление» выравнивания характеризует стратегическую роль ИТ–подразделения, а также определяет методы стратегического планирования и критерии эффективности (рисунок 1.2). Например, использование последних достижений ИТ для создания новых возможностей ведения бизнеса (движение от ИТ–стратегии через бизнес–стратегию к изменению организацион-

ной инфраструктуры и процессов) превращает ИТ–менеджера в архитектора бизнеса, а ИТ–подразделение в полноправного поставщика продукции. Более подробно четыре направления «выравнивания» областей описаны в таблице 1.1.

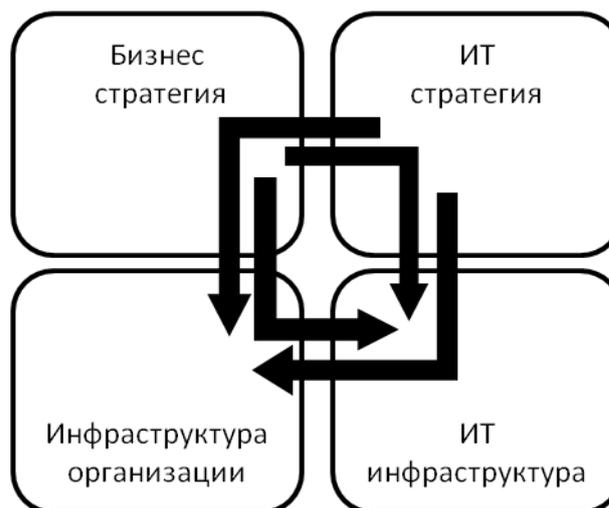


Рис. 1.2 Стратегическая модель соответствия

Известен ряд расширений SAM, например модель AIM (Amsterdam Information Model), используемая в правительстве и учебных организациях Нидерландов [60]. Основная критика SAM сводится к тому, что она определяет «что» делать, но не указывает «как» это делать. Существует также проблема оценки качества выравнивания ИТ и бизнеса (в зарубежной литературе используется термин *maturity* – зрелость). Один из способов решения этой проблемы предложен Дж. Лафтманом [61], который рассматривает шесть критериев соответствия ИТ и бизнеса:

- зрелость коммуникаций между ИТ и бизнесом,
- качество измерения эффективности ИТ (ценности приносимой ИТ в компанию),
- качество общего управления ИТ,
- уровень вовлеченности ИТ в решение бизнес–проблем,
- зрелость ИТ–архитектуры,

- уровень компетентности ИТ–персонала.

Таблица 1.1. ИТ–стратегии на базе стратегической модели соответствия

Название стратегии	Выполнение стратегии	Потенциал технологий	Потенциал конкуренции	Обеспечение сервиса
Вид связи доменов				
Роль топ менеджмента	Лидер	Технический визионер	Бизнес визионер	Установление приоритетов
Роль ИТ менеджмента	Функциональный менеджер	Технический архитектор	Бизнес архитектор	Сервис менеджер
Фокус ИТ	Реакция на запросы	Добавление ценности бизнесу	Создание ценности для бизнеса	Бизнес в бизнесе
Критерии оценки ИТ	Финансовые	Доля ИТ в конечном продукте	Продукт, производимый ИТ	Удовлетворение заказчиков
Метод стратегического планирования	Реинжиниринг ИТ планирования	ИТ стратегия	Бизнес стратегия	Планирование, реинжиниринг

В работе [61] предложено описание пяти уровней зрелости процесса согласования ИТ–стратегии со стратегией бизнеса. Для каждого уровня зрелости даны характеристики по всем перечисленным шести критериям.

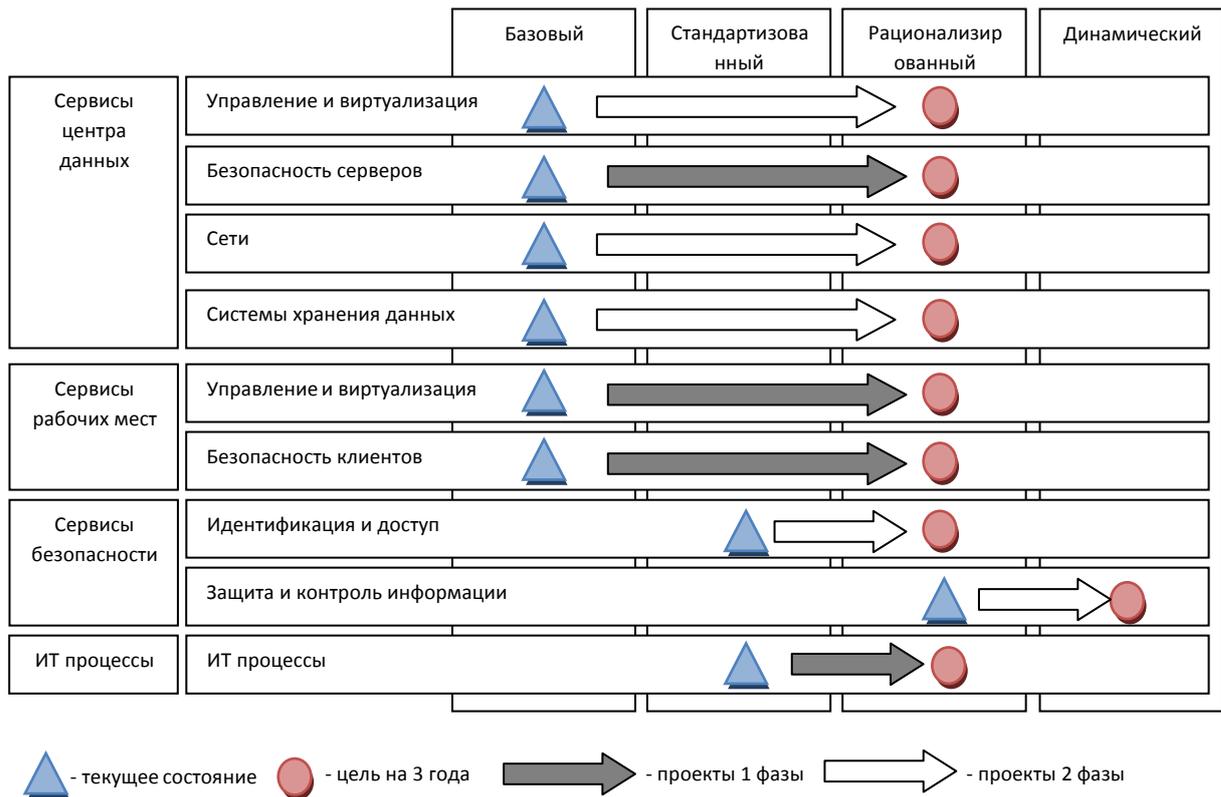


Рис. 1.3 Пример ИТ–стратегии как плана повышения зрелости

Известна также модель зрелости ИТ инфраструктуры и операций, предложенная компанией Gartner [62]. Отметим, что на основании модели зрелости также могут быть построены стратегические планы развития ИТ, как, например, предлагается в работе [63], где описана модель компании Microsoft. Здесь введены 4 уровня развития инфраструктуры (базовый, стандартизованный, рационализированный и динамический), различающиеся уровнем адаптируемости под изменяющиеся требования со стороны бизнеса. Соответственно, для каждого инфраструктурного сервиса может быть составлен план повышения его гибкости, по-

добно тому, как это представлено на рисунке 1.3. Отметим, однако, что такое представление скорее является вспомогательным инструментом стратегического планирования развития ИТ.

1.1.2. Разработка ИТ-стратегии на основе архитектуры предприятия

Под архитектурой предприятия понимается строгое описание его структуры, ее декомпозиции на подсистемы, связей между подсистемами и с внешней средой, а также используемая терминология и руководящие принципы проектирования и развития предприятия [64]. Впервые понятие архитектуры предприятия было введено Дж.Захманом в 1987 г. [65]. К настоящему моменту данная область достаточно хорошо исследована, предложено несколько моделей описания архитектуры предприятия (TOGAF [66], DoDAF [67] и т.д.). Следует отметить, что все эти модели предполагают рассмотрение нескольких архитектурных доменов, как правило, это архитектура бизнес–процессов, данных, приложений и техническая архитектура.

Согласно подходу, базирующемуся на архитектуре, необходимо спроектировать целевую архитектуру предприятия, которая должна соответствовать его будущей бизнес–архитектуре. ИТ–стратегия в этом случае будет представлять набор действий (проектов) по созданию целевой архитектуры (рисунок 1.4).

Наиболее последовательно современный архитектурный подход к созданию ИТ–стратегии сформулирован в последних исследованиях сотрудников Слоановской школы менеджмента при Массачусетском технологическом институте Дж.Росс, П.Уэйла и Д.Робертсона [68]. Согласно этой работе предлагается выполнить три шага:

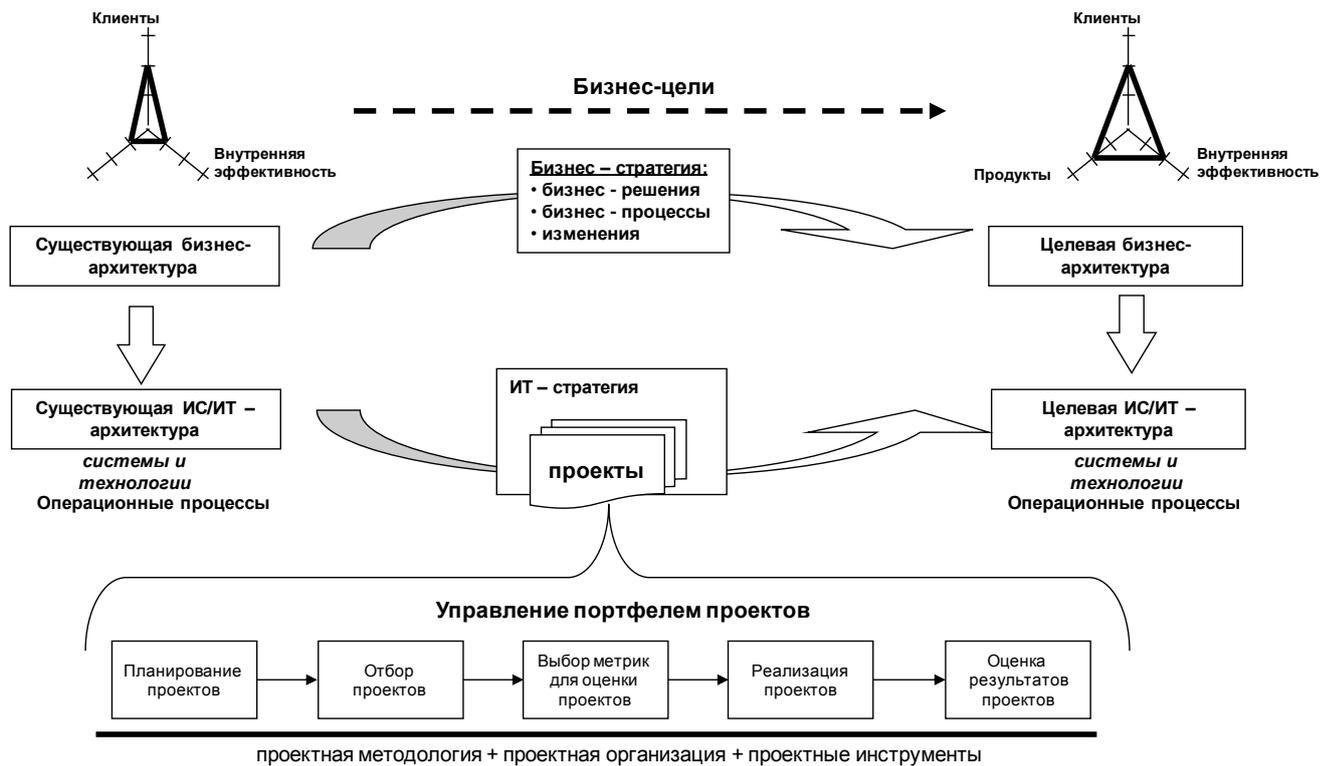


Рис. 1.4 ИТ–стратегия на основе архитектуры предприятия

1. Сформулировать операционную модель, которая определяется видением того, как корпорация будет обеспечивать достижение стратегических целей, и зависит от степени интеграции и стандартизации бизнес-процессов.

2. Разработать архитектуру предприятия, поддерживающую операционную модель,

3. Повышать зрелость архитектуры предприятия (определены четыре уровня зрелости: бизнес–силос, стандартизация технологий, оптимизированное ядро и модульность бизнеса).

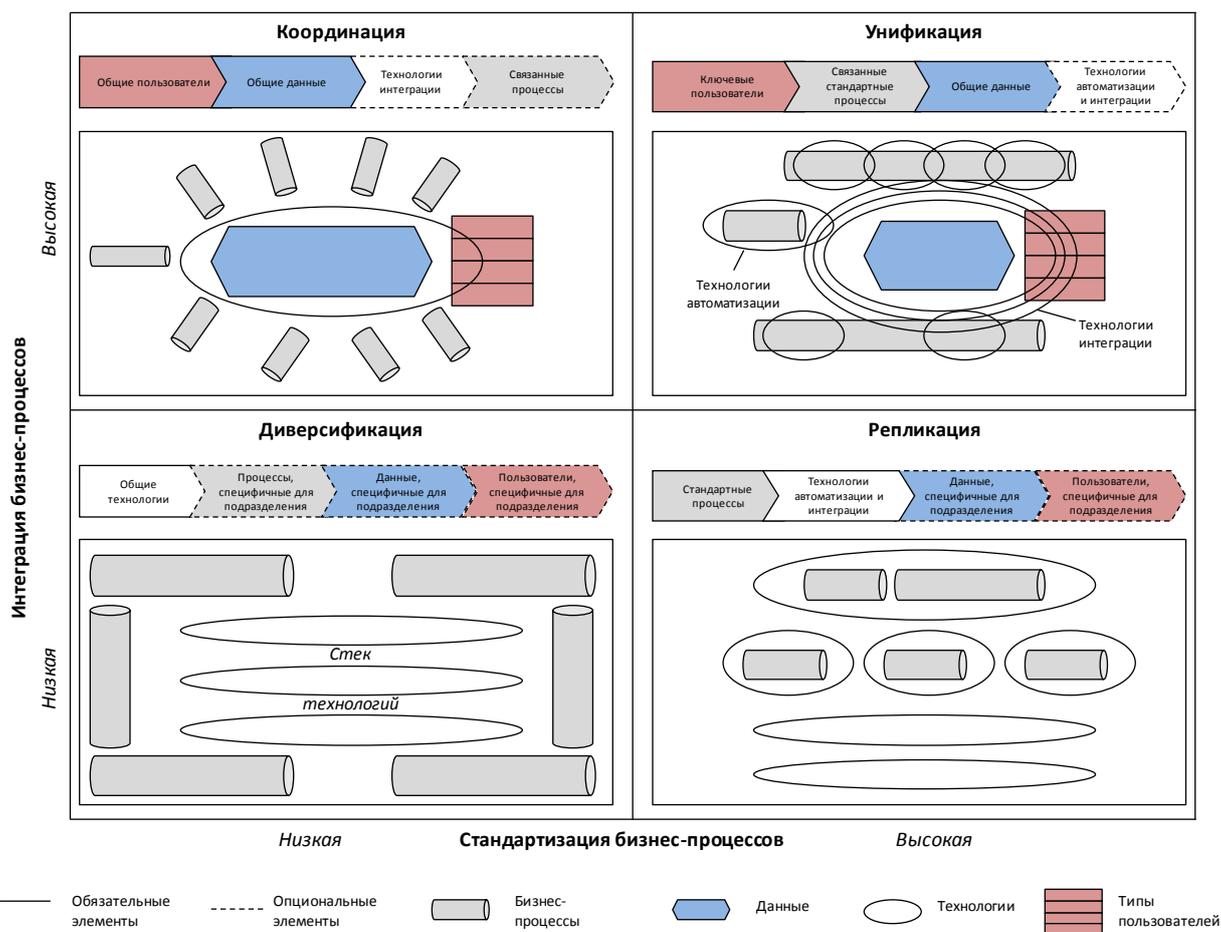


Рис. 1.5 Операционные модели и порождаемые архитектуры

В [68] рассмотрены четыре операционных модели, определяемые уровнем стандартизации и интеграции бизнес-процессов (диверсификация, репликация, координация и унификация), для каждой из них предложен свой вид архитектуры предприятия (рисунок 1.5). В верхней части каждой модели показаны факторы, влияющие на определение основных элементов архитектуры. Среди таких факторов рассматриваются пользователи систем, бизнес-процессы, данные, ключевые технологии автоматизации и интеграции (ERP – системы, middleware и т.д.), причем степень влияния на архитектуру (и обязательность их учета) для разных операционных моделей отличаются. В нижней части диаграммы для каждой модели схематично представлена порождаемая архитектура предприятия. Так, архитектура, соответствующая модели координации (низкая стандартизация бизнес-

процессов, при их высокой интеграции) опирается на общие данные и общих пользователей. А архитектура, соответствующая модели репликации (низкая интеграция бизнес-процессов, при их высокой стандартизации) опирается на стандартные процессы и технологии их автоматизации.

Оценке зрелости архитектуры посвящена другая работа П.Уэйла и Дж. Росс [69], где выделены четыре стадии использования ИТ с точки зрения обеспечения простоты и гибкости (так называемая модель MIT – Массачусетского технологического института, использованная при разработке упоминавшихся выше моделей Gartner и Microsoft):

1. локализация существующих решений под свои требования,
2. стандартизация ИТ решений в целях сокращения затрат на ИТ, но операционные процессы компании при этом остаются не оптимальными;
3. оптимизация в целях сокращения операционных бизнес затрат и повышения качества для потребителей. Очень часто большие ERP системы реализуются именно на этой стадии;
4. повторное использование. Цифровая платформа поддержки бизнес-процессов используется для включения работников в процесс инноваций. Модульность позволяет кастомизировать платформу для процессно-ориентированных фирм и расширять продуктовую линию для фирм, ориентированных на данные (финансы, ИТ сервисы и т.д.).

Эти стадии соответствуют жизненному циклу фирмы (создание, быстрый рост и т.д.), поэтому «пропустить» ни одну из них невозможно.

В цитируемых работах П.Уэйла и Дж. Росс приводится обширный статистический материал. В частности, на основании исследования 1508 фирм (это 53% всех фирм США), получены данные распределения компаний по вышеперечисленным стадиям: 25% - 46% - 27% - 2%. Не менее любопытными являются результаты исследования соотношения ИТ-бюджетов компаний, находящихся на

разных стадиях использования ИТ. Если принять размер бюджета ИТ-компании, находящейся на первой стадии, за 100%, то для второй, третьей и четвертой стадий эти размеры будут, соответственно, 84% , 92% и 145%. Эти цифры отражают общий вектор изменения отношения к ИТ. На ранних стадиях ИТ рассматриваются как неизбежный центр затрат, поэтому все усилия направлены на их сокращение. На поздних стадиях ИТ используются как инструмент повышения общей эффективности компании, отсюда увеличение затрат на их развитие и поддержку. Отметим, что подобные эффекты описаны и в уже упоминавшихся исследованиях эффективности инвестиций в ИТ Э.Бриньолфсона.

1.1.3. Разработка ИТ-стратегии в рамках корпоративного управления

Третьим направлением в разработке ИТ–стратегии является разработка процедур корпоративного управления ИТ (IT Governance). Это сфокусированная на ИТ часть корпоративного управления, которая определяется как «ответственность высшего руководства и совета директоров и заключается в обеспечении управления, организационных структур и процессов, гарантирующих, что информационные технологии поддерживают и дополняют стратегию организации и ее цели» [70]. Широко известной моделью IT Governance является CobiT [70], где применительно к корпоративным ИТ рассматриваются следующие области: определение направлений для внедрения новых решений и предоставления сервисов (PO), приобретение новых решений и их реализация в виде сервисов (AI), предоставление и поддержка сервисов (DS), мониторинг и оценка всех процессов (ME). Для каждой области выделены основные процессы, для процессов предложены метрики и модель оценки зрелости. Отметим, что в CobiT ИТ–подразделение рассматривается как часть архитектуры предприятия, которая создается в соответствии с ИТ–целями, которые, в свою очередь, выводятся из бизнес–целей и бизнес–стратегии (рисунок 1.6), но конкретных рекомендаций по организации ИТ–службы не дается.

Одна из самых больших трудностей - это трансляция целей бизнеса в ИТ-цели. Поэтому в CobiT 4.1 приведены описания наиболее распространенных бизнес-целей, ИТ-целей и ИТ-процессов и таблицы связей между ними.

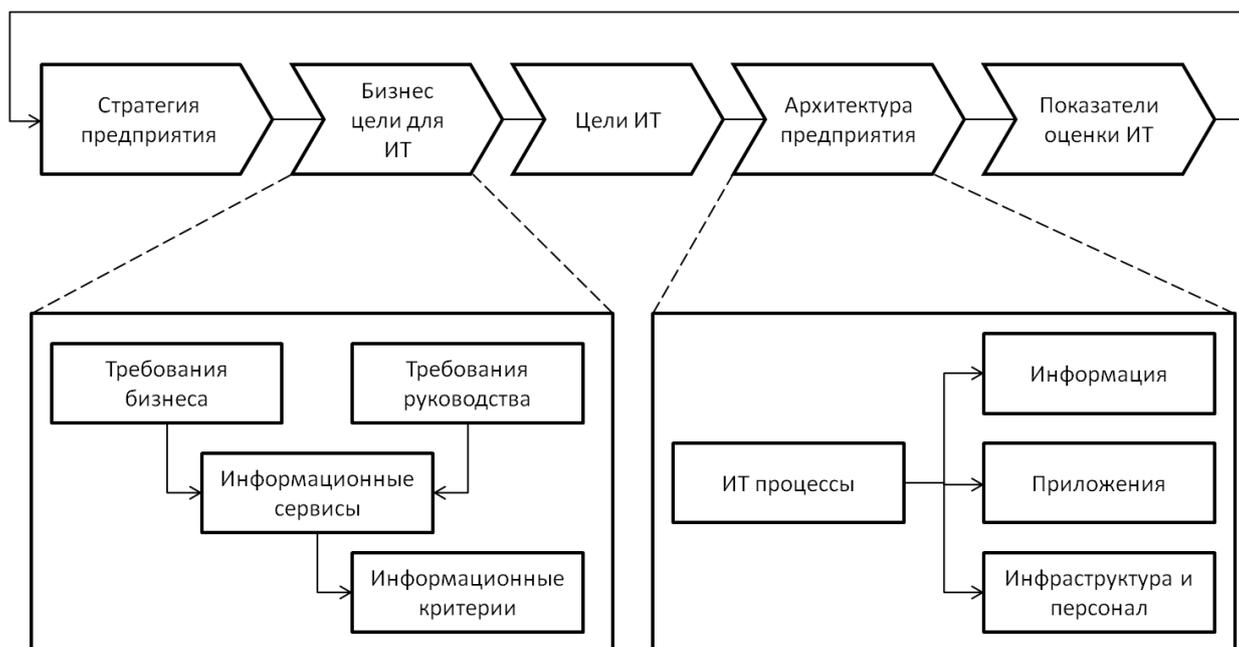


Рис. 1.6 Последовательность шагов при разработке ИТ-стратегии в соответствии с CobiT 4.1

Можно сказать, что наряду со стандартом ISO/IEC 27002, определяющим требования к информационной безопасности, CobiT определяет «что» нужно делать для управления ИТ. Руководством по тому «как» это нужно делать служит стандарт ITIL V3, определяющий процедуры планирования, развертывания и поддержки ИТ-сервисов. IT Governance Institute (разработчик CobiT) предлагает также и взаимное отображение всех упомянутых стандартов [71].

Более общая модель, связывающая различные стандарты ISO и передовые практики ИТ приводится в книге [72] (рисунок 1.7), там же предложен ряд метрик на основе подхода «шесть сигма».

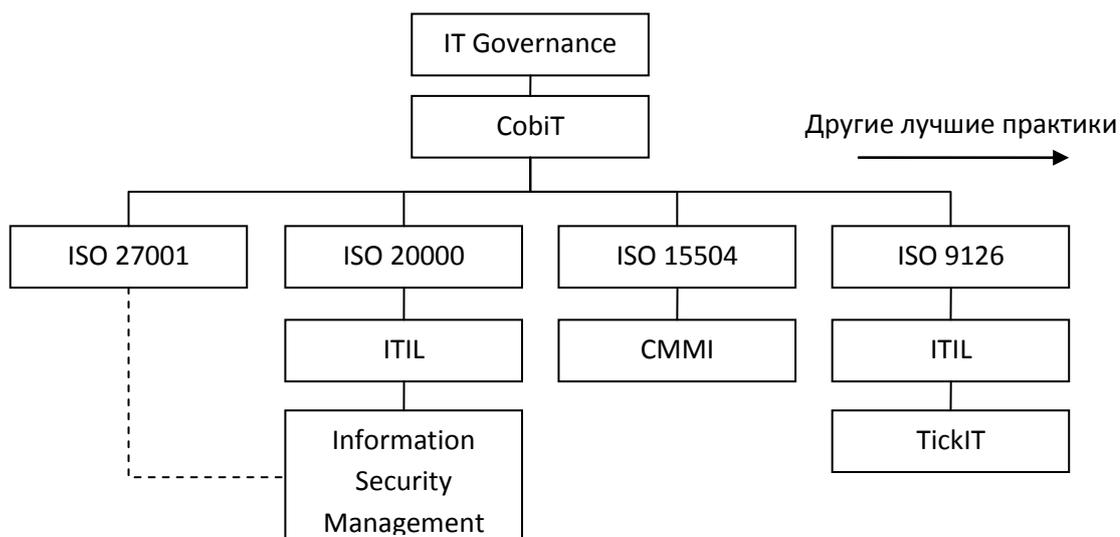


Рис. 1.7 Взаимосвязь стандартов ISO и передовых практик управления ИТ

Среди других подходов к управлению ИТ следует упомянуть модель Слоановской школы менеджмента [73] (имеется русский перевод данной книги [74]), разработчиками которой являются уже упоминавшиеся П.Уэйлл и Дж. Росс. В данной работе ими рассмотрены различные архетипы управления и их использование для принятия решений, касающихся ИТ. Выделены следующие архетипы управления:

- бизнес-монархия – решения принимает топ менеджер,
- ИТ-монархия – решения принимают ИТ специалисты,
- федерализм – каждое подразделение принимает решения независимо,
- феодализм – координация корпоративного центра и бизнес-подразделений с привлечением или без ИТ специалистов,
- дуополия – ИТ группа и какая-либо другая группа например, топ менеджменты или руководители подразделений,
- анархия – решения принимаются отдельными специалистами или малыми группами независимо.

Таблица 1.2. Распределение ответственности за принятие решений в зависимости от архетипов управления.

Архетипы управления	Решения				
	Общие принципы развития ИТ	ИТ архитектура	Стратегия по развитию ИТ инфраструктуры	Потребности в бизнес-приложениях	Инвестиции в ИТ
Бизнес монархия	27	6	7	12	30
ИТ монархия	18	73	59	8	9
Феодализм	3	0	2	18	3
Федерализм	14	4	6	30	27
Дуополия	36	15	23	27	30
Анархия	0	1	1	3	1
Не известно	2	1	2	2	0

В таблице 1.2 приведены данные в процентах о частоте использования тех или иных механизмов принятия решений по результатам исследования 258 компаний в 23 странах. Ячейки, соответствующие наиболее распространенным архетипам управления, выделены заливкой.

Приведенные данные показывают, что не существует общепринятых практик разделения ответственности за выбор бизнес-приложений или, тем более, управление инвестициями в ИТ. Но, тем не менее, данная таблица позволяет оп-

ределить соответствие управленческих практик конкретной компании общеотраслевым. В цитируемой работе также приведены матрицы распределения ответственности для трех лучших компаний.

Рассмотренные здесь подходы к разработке ИТ-стратегии не включают результаты более ранних исследований, выполненных в 1970-1990 годах, которые представлены в сборнике [75].

Отметим также, что все процитированные исследования касаются только весьма общих (т.е. стратегических) вопросов управления ИТ. Конкретные решения, например, по оптимальной организационной структуре ИТ департамента, реализации тех или иных процессов должны приниматься в практической деятельности. Тем не менее, в зарубежных журналах постоянно публикуются статьи, посвященные подобным, более частным, вопросам. Например, в статье [76] предложена теоретическая «жизнеспособная модель управления ИТ», базирующаяся на модели жизнеспособной системы С.Бира [77], и описана соответствующая организационная структура.

В книгах [78,79] описываются практические методы стратегического планирования развития ИТ в организации, построенные на базе рассмотренных выше идей. Среди работ, описывающих практические аспекты использования концепции «архитектура предприятия», можно также упомянуть книги [80-83], сборники статей [84-87] дают общее представление о зарубежных исследованиях в области корпоративных информационных систем, в [88-89] рассматривается вопрос ценности, которую организация может извлечь из использования ИТ.

Следует отметить, что за рубежом издается также значительное число научных журналов, посвященных исключительно исследованию роли ИС и ИТ в деятельности организаций различного типа (MIS Quarterly, Communications of the ACM, Information Systems Research и др.), этой теме также уделяется значительное внимание в журналах, посвященных общим вопросам менеджмента (Manage-

ment Science, Harvard Business Review, Decision Sciences и т.д.), проводятся и публикуются наукометрические исследования (см., например, [90, 91]), ежегодно проводится более 20 научных конференций.

1.1.4. Обзор исследований в области стратегического планирования корпоративных ИТ в России

В отечественных исследованиях проблеме разработки ИТ–стратегии уделяется гораздо меньше внимания. Очевидно, во времена существования СССР это можно было объяснить отсутствием понятия «стратегия бизнеса» вообще – все стратегии определялись государственной системой планирования. В это время проводились исследования по проблемам построения автоматизированных систем управления (см., например, [92]), которые в основном были посвящены применению методов системного анализа к деятельности организации.

Существенным шагом стало формирование теории организационных систем (Бурков В.Н., Новиков Д.А. и др.) [93], которая развивает положения теории активных систем [94], рассматривающей механизмы функционирования социально-экономических образований, обусловленные проявлениями активности их участниками. Одним из ее главных достижений стало выделение видов управления организационной системой:

- институциональное управление (административное, командное, принуждающее);
- мотивационное управление (побуждающее управляемых субъектов к совершению определенных действий);
- информационное управление (основывающееся на сообщении информации и формировании убеждений, представлений и мотивов);
- управление составом организационной системы;

- управление структурой организационной системы (т.е. совокупностью информационных, управляющих, технологических и других связей между участниками).

В 1990-х и особенно в 2000-х годах стали появляться отечественные исследования проблем управления предприятием в рыночных условиях, значительное внимание в которых уделялось роли информационных технологий.

В книге В.О. Логиновского и А.А. Максимова [95] отмечено, что невозможно представить себе универсальную систему мер, придерживаясь которой руководитель предприятия всегда будет успешно решать стратегические задачи управления. Его задача - найти средства и методы, которые бы позволили сделать управление менее ситуационно зависимым и легче просчитываемым во всех аспектах управленческой деятельности. Отметим, однако, что при этом возникает опасность сокращения области рассматриваемых факторов, учет только тех параметров, которые поддаются «рациональной презентации» [96]. В обстоятельствах, когда долгосрочное планирование невозможно по причине больших неопределенностей в состоянии внешней среды или самого предприятия, на первый план управления выходят такие стратегические характеристики организации, как инновационность, предпринимательский стиль, глобальное мышление. Эти характеристики могут быть достигнуты за счет создания рыночных механизмов внутри предприятия, а именно - развитие духа предпринимательства, предоставление более широкой автономии подразделениям, снижение степени централизации процесса разработки и реализации стратегий, все это способствует увеличению стратегической гибкости, предполагающей быстрое принятие эффективных стратегических решений. Также в [95] отмечена важнейшая роль автоматизированной системы управления (АСУ) предприятия, которая служит основным инструментом поддержки принятия решений. Для этого в АСУ должны быть реализованы функции по своевременному сбору достоверной информации, а также средства последующего анализа этих данных.

Более детально интегрированные информационные системы промышленных предприятий исследованы в работе Коренной К.А., Логиновского О.В. и Максимова А.А. [97], где отмечено, что транзакционные системы, как правило, проектируются как учетные, и поэтому содержат явно мало удобных инструментов для анализа накопленной в них информации. Все это, а также другие потребности в автоматизации, приводит к тому, что на современном предприятии существует, как правило, несколько видов АСУ и систем автоматизации. Сюда относятся: ERP-, SCM- и CRM-системы, системы аналитической обработки данных (OLAP и BI), автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), системы автоматизированного проектирования (САПР), системы управления данными об изделии (Product data management – PDM). При этом функциональность основной бизнес-системы (как правило, ERP) не предусматривает простой интеграции с остальными типами систем. В [97] предполагается, что в ближайшем будущем искусственное разделение автоматизированных систем предприятий на АСУ, САПР и АСУТП, вероятно, будет преодолено во всех основных компонентах: идеологическом, информационном, программном, техническом и др. В итоге на предприятиях должна возникнуть корпоративная (комплексная) автоматизированная информационная система. Таким образом, архитектуру корпоративной информационной системы управления предприятием, отвечающую требованиям времени, можно представить как совокупность взаимодействующих друг с другом открытых подсистем, каждая из которых реализована в виде стандартной коробочной или самостоятельно разработанной информационной подсистемы определенного вида. Отметим, что проблема интеграции различных информационных систем предприятия также находится в центре внимания многих зарубежных исследователей, см. например [98].

Авторы работы [97] выделяют два информационных потока. Первый из них обслуживает движение материального потока (получение сырья, производственные операции, отгрузка потребителю). Второй информационный поток обслужи-

вает процесс управления (прогнозирование, планирование, контроль, регулирование и анализ). Соответственно, выделяются два контура управления: оперативный и стратегический, причем стратегический контур и процесс управления базируются на агрегированной информации материальных потоков, а также на данных о внешней среде, получаемых из источников вне предприятия. На основе этих выводов в [97] предложена принципиальная информационно-управленческая модель промышленного предприятия.

В [99] Логиновский В.О. и Максимов А.А. рассмотрели отличия корпоративных информационных систем (КИС) от автоматизированных систем управления предприятием (АСУП). На уровне корпорации приоритет необходимо отдавать внедрению информационных технологий в те бизнес-процессы, которые связаны с подготовкой и принятием стратегических решений руководством корпорации. Качества корпорации, которые накладывают дополнительные условия на информационную систему: разнообразие структуры и многообразие объектов управления и учета, высокая степень иерархичности организационной структуры, географическая распределенность, разнородность бизнес-моделей и методологий учета, сложность и изменчивость организационной структуры. Поэтому для того чтобы успешно конкурировать на мировых рынках, отечественные промышленные предприятия должны создать адекватные зарубежным корпорациям информационно-аналитические центры (ИАЦ), базирующиеся на возможностях, предоставляемых глобальными сетями, а также различного рода информационных источниках, характеризующих рынок промышленной продукции по самым разнообразным компонентам. Те компании, которые вовремя не почувствуют значимость такой работы, рискуют в любой момент и очень быстро отстать от своих конкурентов.

В монографии Куренной К.А. и Максимова А.А. [100] представлены несколько математических моделей, на основе которых созданы прикладные ин-

формационные системы, поддерживающие те или иные аспекты управления предприятием.

В работах Кострова А.В. и его коллег [101,102] исследованы задачи информационного менеджмента, к которым отнесены:

1. четкое соотнесение целей организации и роли информационной системы в достижении этих целей;
2. понимание особенностей и возможностей использования информационной системы в качестве инструментальной основы управления бизнес-процессами и стратегией организации;
3. совершенствование внутренних бизнес-процессов информационной системы и оценка ее эффективности;
4. целенаправленное развитие информационной системы в интересах деятельности организации.

Первой и наиболее известной отечественной публикацией собственно о стратегическом планировании ИТ является книга А. Данилина и А.Слюсаренко [103], где описан метод стратегического планирования, базирующийся на архитектуре предприятия. Стратегия при этом понимается как множество проектов, обеспечивающих последовательный переход к целевой архитектуре, сформированное при соответствующем наборе ресурсных ограничений. В целом, это совпадает с подходом, изображенным на рисунке 1.4. При этом планирование изменений в управлении ИТ не рассматривается.

Еще одной заслуживающей внимания работой является [104], где предложен метод идентификации направлений развития информационных систем и определения их приоритетов. На первом этапе заполняется «матрица согласия», позволяющая зафиксировать уровень зрелости организации с точки зрения соответствия состояния ИТ бизнес-целям и информационным потребностям. Общий вид матрицы согласия, включающей 7 разделов, приведен в таблице 1.3. Детализация

каждого раздела и описание уровней согласия (зрелости) для них приведено в цитируемой работе. Для каждой строки в матрице должен быть определен уровень согласия.

Таблица 1.3 Уровни достижения согласия между задачами компании и обеспечивающей ИТ–средой.

Составляющие согласия	Уровень согласия
Цели бизнеса	
Стратегии и архитектурные решения, определяемые целями бизнеса	
Достижение осязаемых результатов	
Управление технологиями, новыми для организации	
Совместная обработка данных и обеспечивающая сетевая инфраструктура	
Управление ресурсами и персоналом ИТ	
Управление отдельными техническими операциями и техническим обслуживанием.	

На основании заполненной матрицы согласия вычисляется мера автоматизации $M = \frac{1}{\sum_{i=1}^N P_i} \sum_{i=1}^N P_i S_i$, где $S_i = \frac{1}{3K_i} \sum_{j=1}^{K_i} x_{ij}$ - оценка согласия по i - ому разделу, $x_{ij} = 0,1,2,3$ – уровень согласия в i - ом разделе и j -ой строке, K_i – количество

строк в i -ом разделе, N – количество разделов в матрице, P_i – вес i -ого раздела. На основании значения меры автоматизации делается вывод о состоянии ИТ:

- $M \leq 0,3$ - организация находится на ранней стадии применения ИТ и еще не готова к решению вопроса о разработке ИТ–стратегии;
- $M \geq 0,7$ - организация находится в весьма зрелой стадии применения ИТ и уже нуждается не в разработке полномасштабной ИТ–стратегии, а скорее в планировании их развития, наращивания функциональности и расширения контуров внедрения;
- $0,3 < M < 0,7$ - организация, с одной стороны, имеет достаточный уровень зрелости, а с другой стороны, нуждается в определении ИТ–стратегии.

К сожалению, выбор именно таких границ для определения сценария создания и использования ИТ–стратегии в указанной работе не обоснован.

1.2. ПРОБЛЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ИТ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Из приведенного выше обзора следует, что, несмотря на различие подходов, все способы разработки ИТ–стратегии так или иначе учитывают следующие аспекты:

- согласование возможностей ИТ с целями бизнеса,
- оценка эффективности (зрелости) развития ИТ на предприятии,
- разработка архитектуры информационных систем и технологий,
- управление ИТ, включая модель процессов создания и поддержки ИТ–сервисов (не только за счет собственных ресурсов, но и с использованием любых форм аутсорсинга), организационную структуру ИТ–подразделения, развитие компетенции в ИТ.

При этом авторы всех рассмотренных исследований декларируют, что ключевой задачей является соответствие бизнес–стратегии. Однако, как отмечено Г. Минцбергом [58], в крупной корпорации крайне редко удается обнаружить априорные заявления (формализованную бизнес-стратегию), которым она действительно следует. Это объясняется тем, что стратегия имеет в основном дело не с неопределенными, а с неизвестными факторами. В то же время для непредвзятого наблюдателя наличие определенной стратегии, которая базируется на спонтанно возникающих паттернах достижения стратегических целей, очевидно. Для преодоления этого парадокса Минцберг и его коллеги предложили следующее понимание процесса формирования стратегии. В центре внимания должен находиться процесс формирования паттернов стратегического поведения, которые изменяются вместе с новыми ситуациями. Большую часть времени организация может быть описана как некая устойчивая конфигурация ее составных частей. Такие периоды стабильности время от времени прерываются трансформациями – квантовыми скачками в иную конфигурацию. Потребность в трансформации выявляется в процессе инкрементального самообучения организации.

О том, что наличие бизнес–стратегии не является обязательным условием формирования ИТ–стратегии косвенно свидетельствуют результаты исследования мнения 63 руководителей 21 британской корпорации, приведенные в [105] (таблица 1.4). Большинство из них гораздо выше оценивает вовлечение и поддержку топ–менеджмента, т.е. фактически неформальные связи с руководством.

Для более детального выяснения причин возникновения неопределенности в деятельности организации и ее влияния на инвестиции в развитие корпоративных ИТ рассмотрим ключевые результаты исследований в теории организации и теории корпоративных информационных систем. К таким результатам относятся эволюционная теория фирмы и новая институциональная теория, методы измерения эффективности организации, модель контекста организационных подсистем, модель изменений корпоративной информационной системы и т.д. Также необхо-

димом рассмотреть современные требования к процессу разработки новых продуктов, поскольку в современной инновационной экономике именно этот процесс в значительной степени определяет организационное поведение и, следовательно, требования к корпоративным ИТ.

Таблица 1.4. Факторы успеха стратегического планирования ИС.

Ранг	Фактор успеха	%
1	Вовлечение топ – менеджмента	30
2	Поддержка топ – менеджмента	24
3	Наличие бизнес–стратегии	18
4	Приоритет изучения бизнеса над изучением технологий	16
5	Хорошее управление ИС	12

1.3. СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ И КОНЦЕПЦИИ В ТЕОРИИ ОРГАНИЗАЦИИ

1.3.1. Эволюционная теория фирмы

Для уточнения проблемы формирования стратегии рассмотрим общие закономерности существования и развития организационных систем. Неоклассическая экономическая теория не дает адекватного описания этих механизмов. В противовес ей в настоящее время в экономике развивается новое направление, описы-

вающее как единое целое динамику фирмы, отрасли и рынка в целом на основе эволюционной и новой институциональной теорий [106].

Анализ трактовки фирмы различными экономическими теориями сделан в книге [107]. Там отмечено, что неоклассическая теория рассматривает фирму как передающее звено между рыночным спросом и ресурсными рынками при заданной производственной технологии. С точки зрения новой институциональной теории фирма - это способ распределения ограниченных ресурсов, альтернативный рынку, взаимодействие агентов внутри фирмы эффективнее, чем взаимодействие на рынке, так как фирмы стремятся снизить неопределенность и, соответственно, издержки осуществления сделок (транзакционные издержки). Эволюционная теория признает, что фирмы являются уникальными комбинациями специфических ресурсов и компетенций, созданных и увеличивающихся в процессе производственной деятельности через инновации и накопление знаний. Согласно этим представлениям экономическое развитие является результатом процесса нарастания сложности, вероятностного и динамического характера процессов усложнения технологий, появления новых институциональных форм и правил и т.д.

В то же время рассмотрение динамики поведения фирм и других экономических субъектов стало основой многих современных продуктивных идей в общем менеджменте, в частности, можно отметить интерактивный менеджмент Р. Акоффа [108], системное мышление Д.Гараедаги [109], стратегии обучения и конфигурации Г.Минцберга [57,58], жизненный цикл корпорации И.Адизеса [110], обновленный бизнес-реинжиниринг М.Хаммера и Дж.Чампи [111], открытые инновации и открытые бизнес-модели Г.Чесбро [112,113] и т.д. Это позволяет констатировать, что в настоящее время формируется новая синтетическая эволюционная теория менеджмента, использование которой позволяет теоретически обобщить практику современного инновационного бизнеса.

Большое влияние на распространение эволюционных идей в экономике оказал Й.Шумпетер, основные работы которого были опубликованы еще в 20-30 го-

дах XX века. Но эволюционная теория поведения фирм в законченном виде была предложена Р.Нельсоном и С.Винтером только в 80-х годах [114]. Они опубликовали ряд моделей, описывающих как реакцию фирм на изменения рыночных условий и технологические новации, происходящие в других отраслях и фирмах, так и собственные инициативы фирмы по изменению существующего равновесия («созидательные разрушения» Й.Шумпетера). Большую часть времени фирма может быть описана как некая устойчивая конфигурация ее составных частей. Такие периоды стабильности время от времени прерываются трансформациями – квантовыми скачками в иную конфигурацию. Потребность в трансформации выявляется в процессе инкрементального самообучения организации [58]. Фирмы реагируют на изменения внешних условий изменением сложившихся принципов своего поведения (Р.Нельсон и С.Винтер для обозначения таких принципов предложили термин *routine* – шаблон, рутина, устоявшаяся практика). Такие шаблоны поведения определяют регулярные и предсказуемые действия, сформированные на основе предыдущего опыта. Фактически – это способ сохранения операционных знаний в организации («память» фирмы), эти знания содержатся как в индивидуальной памяти участников организации, так и в связях между ними, а также отчасти и в определенном состоянии и расположении оборудования, зданий и сооружений. Следование поведенческим шаблонам позволяет минимизировать транзакционные издержки, причем это следование может быть как неосознанным, так и сознательным.

В книге [115] рассмотрены связанные модели эволюционной динамики на микро-, мезо- и макроэкономических уровнях.

В статье [116] сделаны важные замечания о виде принципов поведения. Для отраслей с относительно медленной динамикой это традиционные рутины, определение которых введено Нельсоном и Винтером, т.е. достаточно сложные процессы и практики. Чем выше динамика рынка, тем более простыми и менее стабильными становятся поведенческие шаблоны. Там же отмечено, что наиболее

эффективные фирмы, относящиеся к различным отраслям, демонстрируют схожесть поведенческих реакций (так называемые «лучшие практики»). Например, ключевым фактором динамичности процесса разработки новых продуктов для разных отраслей (машиностроение, разработка программного обеспечения, бытовая электроника) является наличие кросс-функциональной команды [117] и вовлечение потребителя [118]. Это означает, что эффективные организации приходят к похожим результатам, эволюционируя различными путями из разных начальных условий. В книге [119], где исследованы гибкие (responsive) организации, явно реализующие эволюционные принципы развития, отмечено, что их характерной чертой является ориентация на координацию, а не на иерархию управления, а организационная структура близка к сетевой.

Исходя из сказанного, можно сделать заключение, что наличие бизнес-стратегии, которой компания действительно следует, является скорее исключением, чем правилом. С.Спир, изучая компании, которые долгое время остаются лидерами, несмотря на все попытки конкурентов догнать их [120], пришел к выводу, что их преимущество фактически базируется на чрезвычайном быстродействии процедуры поиска новых шаблонов поведения. Это осуществляется за счет четырех способностей:

- (1) раннее обнаружение проблем с помощью имеющихся знаний,
- (2) решения проблем с целью получения новых знаний,
- (3) обмен знаниями со всей организацией,
- (4) лидерство через развитие способностей (1,2,3).

Различные варианты инновационных действий, изменяющих шаблоны поведения организации, и процессы их выбора рассмотрены в книгах [121-123].

1.3.2. Измерение эффективности инвестиций в ИТ

Важнейшим вопросом при разработке ИТ-стратегии является прогнозирование и оценка эффекта от инвестиций в информационные технологии. При этом могут быть использованы как методы общей оценки эффективности бизнеса, так и метрики специфичные для ИТ. Измерению эффективности бизнеса посвящена обширная литература. Наиболее ранние подходы, основанные на управленческом или бухгалтерском учете, предполагают оценку в виде возврата инвестиций (отметим, что вместо инвестиций могут также использоваться активы и другие объекты учета) [124]. В качестве критерия эффективности предлагается отношение вида

$$r(t) = \frac{\Delta C(t)}{I + s(t)},$$

где $\Delta C(t)$ - сокращение затрат, вызванное внедрением новой модели бизнес-процессов, I – инвестиции на ее внедрение, $s(t)$ - затраты на поддержку, t - время. Однако практика показала, что точное определение величины $\Delta C(t)$ для конкретного проекта или мероприятия почти всегда является проблемой. Основным инструментом бухгалтерского и управленческого учета затрат, которые невозможно однозначно отнести к той или иной статье, является их распределение на основании какой-либо базы. За базу выбирается распределение затрат, которые поддаются учету по выбранным статьям, при этом предполагается, что распределение первых и вторых затрат прямо пропорционально, что часто не соответствует действительности. Проблема точного определения затрат существует и для более современных методов учета, таких как функционально–стоимостной анализ.

Необходимо также отметить, что согласно современным представлениям [109] деятельность компании охватывает все стороны общественной жизни (политика, экономика, наука, этика и эстетика), и использование ИС может приносить не только экономический эффект. Отсюда следует, что использование оценок, ориентированных только на денежные показатели не всегда оправдано.

А.Нили [125] выделяет пять критериев, по которым можно измерять эффективность операций:

- качество, т.е. соответствие спецификациям продукта или услуги;
- надежность, под которой понимается способность выполнять план;
- скорость или время выполнения операций;
- гибкость - соответствует способности быстро изменяться;
- стоимость.

Подход, расширяющий диапазон оценки по сравнению с чисто затратным методом, привел к появлению таких моделей, как пирамида SMART (Strategic Measurement And Reporting Technique) [126], сбалансированная система показателей (BSC – Balanced Score Cards) [127], призма производительности [128] и др. Основная цель этих методов – направить все действия компании на повышение дохода ее владельцев. Их общий недостаток – система показателей должна быть сконструирована до начала измерений. Причем, такая система проектируется «сверху вниз», т.е. параметры какого-либо достаточно локального процесса выводятся в итоге из стратегических показателей компании, которые также фактически сводятся к финансовым показателям (прибыли или стоимости акций). Недостатки вышеупомянутых подходов на основе финансовых и нефинансовых показателей детально проанализированы в [129].

Известны также статистические методы измерения качества процессов, в частности подход «шесть сигма» [130]. Все процессы предприятия можно разделить на производственные и транзакционные (бизнес-процессы), анализ различий между ними сделан в работе [131]. В частности там отмечено, что для транзакционных процессов очень сложно однозначно определить понятия «дефект», «запасы», «незавершенное производство» и в итоге вычислить экономические характеристики. Для производственных процессов эти значения задаются и измеряются значительно легче. Кроме того, для использования методики «шесть сигма» целе-

вое значение контролируемого параметра и допустимые отклонения также должны быть заданы заранее, что не всегда возможно в проектах организационных изменений.

Применительно к вопросу оценки ИС следует упомянуть также достаточно общую модель измерения успешности информационных систем [132]. Она включает шесть взаимозависимых компонент успешности ИС: качество системы, качество информации, качество сервиса, параметры использования системы, удовлетворенность пользователей, общую полезность. Для каждого компонента предполагается построить отдельную систему измерений применительно к условиям конкретной организации. Фактически это метамодель, которая предлагает лишь возможные способы построения моделей измерения, но не дает конкретных рекомендаций. Практически всегда реализуется измерение лишь нескольких ее компонент (а наиболее часто – лишь одного), причем почти всегда используются описательные качественные метрики.

1.3.3. Проблема обеспечения адаптивности организации

Одной из важнейших тем в общей теории менеджмента является сейчас исследование условий существования организации в изменчивой внешней среде, что требует от нее высокой способности к адаптации. Наиболее часто адаптивность (agility) организации определяется, как способность обнаруживать изменения во внешней среде и эффективно реагировать на эти изменения [133]. Отметим, что устоявшегося русскоязычного термина, соответствующего английскому «agility» (ловкость, подвижность) еще нет. Здесь и далее используется термин «адаптивность», предложенный в [134], хотя в отечественной литературе также встречается термин «гибкость» который скорее является переводом «flexibility». В зарубежной литературе между этими понятиями проводится четкая граница [135]: flexibility – это плановый ответ на изменившуюся ситуацию на основе

внутренних свойств организации, *agility* – изменение фундаментальных принципов организации для обеспечения возможности изменяться в любом направлении.

Отметим, что важнейшее свойство организации заключается в том, что это социальная общность. Это реально существующая, эмпирически фиксируемая совокупность индивидов, отличающаяся относительной целостностью и выступающая самостоятельным субъектом социального действия и поведения [136]. Такие системы отличаются значительной сложностью, поэтому к ним весьма ограниченно применим аппарат теории управления, в частности, методы адаптивного управления, успешно использующиеся в технике.

Идея адаптивной организации вытекает из исследования роли случайности и непредвиденных обстоятельств в организационной теории. Результаты этих исследований [137] показали, что не существует единого универсального способа управления компанией, сам стиль этого управления зависит от ситуационных ограничений среды, в которой осуществляется деятельность. Таким образом, для поддержания эффективности организация должна все время адаптироваться к непредсказуемым изменениям.

Отметим, что данные положения близки к предложенной Я.З. Цыпкиным [138] концепции адаптивного управления в динамической системе как процесса асимптотического приближения к оптимальному в среднем состоянию в условиях:

- а) неопределенности ситуации (уравнений объекта, ограничений, недоступных для измерения возмущений среды);
- б) неопределенности цели управления, достигаемой путем
- в) рандомизированной стратегии управления.

Однако в данном случае не следует смешивать понятие адаптивной организации, которое относится к теории организации, и адаптивной системы управления, исследуемое в теории автоматического управления. В работах по теории ав-

томатического управления последнего времени [139] отмечается, что использование ее классических методов требует понимания механизмов “приспособления” как в естественных науках, так и при проектировании систем управления сложными техническими объектами в условиях неконтролируемых изменений собственных свойств и свойств внешней среды. На сегодняшний день выявление общих принципов адаптации сложных систем является одной из наиболее актуальных проблем. Эти исследования ведутся в рамках теории сложных адаптивных систем (этот класс систем впервые выделен Д.Холландом [140] и М.Гелл-Маном [141]), для которых характерны следующие свойства: фрактальные структуры, возникающие в результате спонтанного формирования многоуровневой иерархии, эволюционные циклы обновления и эпизодические катастрофы реорганизации, самоорганизующаяся нестабильность и т.д. Концепция сложных адаптивных систем объединяет целую группу научных направлений, таких как синергетика, системная динамика, теория катастроф, теория хаоса, сети, многоагентное моделирование, клеточные автоматы, эволюционные и генетические алгоритмы и т.д.

В теории организации проводятся собственные исследования и выделены качественные характеристики адаптивных организационных структур. Они характеризуются нестрогой специализацией в области разделения труда, делегированием принятия решений на низшие уровни организационной иерархии, горизонтальной коммуникацией; в противоположность механистической (бюрократической) структуре призваны функционировать в меняющихся условиях, в том числе в условиях меняющегося рынка [142]. Как наиболее соответствующие адаптивным принципам обычно выделяются матричные и программно-ориентированные организационные структуры.

Тема создания адаптивных предприятий стала особенно популярной в последние годы, в настоящее время идет накопление идей и формирование общих подходов. Значительное внимание при этом уделяется поиску инвариантных элементов фирмы, которые позволяли бы быстро и эффективно строить новые

операционные и бизнес-модели, осуществлять другие инновационные действия, формируя при этом неизменное ядро компании. В книге [143] в качестве таких постоянных компонент выделяются экстернализированные метамоделю знаний, паттерны ведения бизнеса и люди, как носители знаний. В [144] выделены следующие инструменты адаптации: создание системы информирования и прогнозирования состояния внешней среды, слияние и поглощение, повышение гибкости организационной структуры, установление партнерских отношений между руководством и сотрудниками. К сожалению, это достаточно общие рекомендации, которые весьма сложно трансформируются в практические действия.

Общий обзор концепций и моделей, связанных с понятием адаптивности организации дан в [145]. Следует отметить, что на сегодняшний день значительный прогресс достигнут в исследованиях адаптивности производственных систем, рассматриваемой в данном случае как способность регулировать без значительных затрат объемы производства и состав выпускаемой номенклатуры продуктов в соответствии с изменением спроса [135]. Наиболее общая модель адаптивной производственной системы предложена в [146], где выделено четыре ее компонента:

- драйверы адаптивности (турбулентность и непредсказуемость внешней среды, в том числе изменения требований потребителей, политических и социальных факторов, технологические инновации, действия конкурентов и регуляторов рынка);
- стратегия обеспечения адаптивности;
- способности, которыми должна обладать адаптивная организация (быстрота реакции на изменения, гибкость, компетентность);
- средства обеспечения адаптивности (организация, технологии, люди, инновации) и их реализация в виде практик, методов и инструментов.

Значительные достижения имеются также в области адаптивных (гибких) методов разработки программного обеспечения [147].

Согласно работе [148] действия по поддержанию адаптивности бизнеса должны быть проактивными, т.е. особую важность приобретают способность предсказывать изменения и повторно использовать существующие компоненты инфраструктуры. В книге [149] отмечено, что на практике очень часто существует противоречие между фактически взаимоисключающими требованиями – обеспечивать адаптивность с одной стороны и выполнять принятые планы с другой. Поэтому необходимость следовать намеченным планам является дополнительным ограничением при обеспечении адаптивности.

Очевидно, что требование адаптивности должно распространяться и на корпоративную информационную систему организации, поскольку она фиксирует сложившиеся на момент ее внедрения бизнес-процессы, практики и рутины. Адаптивность информационных систем обсуждается в сборнике [150], где в частности рассмотрены вопросы влияния новых информационных (прежде всего коммуникационных) технологий - виртуальные офисы, видеоконференции, мобильные технологии, системы на базе агентов.

1.3.4. Контекст существования подсистем организации

Согласно модели, предложенной Д. Сноуденом (широко известной также как «фреймворк Кюневин»), контекст существования различных подсистем организации может существенно различаться [151,152]. Выделяются четыре вида систем:

- Простые, для которых характерны стабильность и очевидные причинно-следственные связи. Это область применения так называемых «лучших практик». После обнаружения изменения производится его классификация, и на ее основании выбирается лучшая реакция.

- Усложненные, где связь между причиной и следствием не столь очевидна, поскольку их разделяет значительный промежуток времени. Это область действия экспертов, выполняющих после обнаружения проблемы процедуры анализа ситуации и синтеза реакции на нее.
- Сложные, в которых количество агентов и динамика их изменения не позволяют проследить причинно-следственные связи. Для таких систем характерны стихийно возникающие в процессе самоорганизации поведенческие паттерны. Рекомендуемый способ управления в этом случае – проактивное исследование, обнаружение изменений, выработка реакции.
- Хаотичные. Основная задача менеджмента – вывести систему из этого состояния как можно быстрее, рекомендуемое управление – действие, обнаружение изменений, реакция на них.

Методы математической теории управления, ориентированные на технические приложения, позволяют решать задачи управления простыми системами. Рассмотренные в разделе 1.1 настоящей главы методы стратегического планирования ориентированы на вторую группу систем. Однако, динамика изменения внешней среды в настоящее время столь велика, что все большее число организаций оказывается в области сложных систем. Поэтому актуальной является задача разработки методологии стратегического планирования ИТ для организации, действующей в непредсказуемых условиях.

1.3.5. Модель изменений корпоративной информационной системы

Важной для целей настоящей диссертационной работы является модель изменений ИС, предложенная в [153] и базирующаяся на социотехнической теории. Согласно общей модели организационных изменений [154], созданной в рамках этой теории, любую социотехническую систему, в том числе и ИС, необходимо рассматривать как сочетание четырех взаимодействующих согласованных компонентов:

- структура (нормативный и поведенческий аспекты системы – коммуникации, управление и бизнес-процессы),
- акторы (члены организации и любые заинтересованные лица, которые могут на нее влиять),
- технологии (инструменты, используемые при решении задач)
- задачи (цели и способы, которыми они достигаются).

Следует отметить, что границы между компонентами размыты, но все они связаны друг с другом. Их взаимодействие складывается как из линейных связей типа «причина – следствие» (причем эти связи, как правило, проектируются заранее), так и из нелинейных, спонтанно возникающих, часто непредсказуемых отношений. Поэтому невозможно оптимизировать только один аспект системы – социальный или технический. На ИС непрерывно воздействуют внешние события, связанные с изменением окружающей среды (под окружающей средой понимаются как другие системы организации, так и внешние по отношению к организации системы), которые нарушают согласованность компонентов системы. К числу таких событий могут относиться появление новых технологий, оптимизация бизнес-процессов, изменение состава или количества пользователей и даже изменение команды разработчиков, например, приход на работу нового аналитика или архитектора и т.д. События приводят к рассогласованию между компонентами системы (см. таблицу 1.5).

При возникновении такого рассогласования система предпринимает действия по его устранению. Отметим, что не все действия ведут к успеху, в общем случае возможны четыре исхода: разрыв устраняется инкрементальными изменениями других компонент; разрыв не устраняется; разрыв устраняется революционной трансформацией ИС в новую систему; попытки устранения рассогласования между двумя компонентами приводят к его распространению на другие компоненты.

Таким образом, согласно модели [153] под воздействием потока внешних событий ИС большую часть времени развивается эволюционно, при этом инкрементально изменяются ее компоненты. Длительные периоды эволюционного развития прерываются революционными изменениями, когда система радикально изменяет за короткий промежуток времени свою структуру и правила связывания компонентов. В целом поведение системы является хаотическим.

Таблица 1.5. Типы рассогласования между компонентами информационной системы

Рассогласование	Описание
Задачи – Акторы	Акторы не принимают задачи или не могут их выполнить из-за недостатка квалификации
Задачи - Структура	Структура не соответствует задачам
Задачи - Технология	Выбраны неадекватные технологии, которые не обеспечивают выполнение задач
Акторы - Структура	Структура затрудняет выполнение акторами задач и операционных процедур
Акторы - Технология	Акторы не имеют достаточной квалификации для использования технологии
Структура - Технология	Структура не позволяет использовать преимущества технологии

Отметим, что описанная модель близка к структурному функционализму, трактующему общество как социальную систему, имеющую свою структуру и механизмы взаимодействия структурных элементов, каждый из которых выполняет собственную функцию (Т. Парсонс). Базовой является идея «социального порядка», т.е. имманентное стремление любой системы поддержать собственное равновесие, согласовать между собой свои элементы. Функция – те наблюдаемые следствия, которые служат саморегуляции данной системы или ее приспособлению к среде. Дисфункции – те наблюдаемые следствия, которые ослабляют саморегуляцию или приспособленность (Р. Мертон).

1.3.6. Современные требования к процессу разработки новой продукции

Рост масштабов и усложнение способов организации человеческой деятельности по созданию систем, повышение степени ответственности за её результаты, быстрое возрастание сложности возникающих при этом научных, технических и управленческих проблем привели к появлению в середине XX века новой прикладной дисциплины – системной инженерии. Эта дисциплина используется при организации и осуществлении деятельности по созданию систем любых классов и назначения. Согласно [155] система при этом определяется как интегрированная композиция людей, продуктов и процессов, которая должна обеспечивать достижение определенных целей. Министерство обороны США и NASA выпустили руководящие документы по системной инженерии [155,156], которые определяют жизненный цикл систем, а также все сопутствующие процессы (управление проектом, управление рисками и т.д.) и являются обязательными для всех поставщиков данных организаций.

Аналогичные задачи по пересмотру подходов к разработке новых продуктов стоят перед отечественными предприятиями. Они действуют в условиях жесткой конкуренции на внутреннем и, тем более, на внешнем рынках с зарубежными компаниями, которые, как правило, более эффективно организованы, используют

более современные и производительные технологии. Только повышение внутренней эффективности отечественных предприятий за счет создания новых систем управления и модернизации процессов проектирования и производства позволит сохранить отечественную промышленность. Важную роль в повышении эффективности должны сыграть информационные системы (ИС).

В [157] показано, что если ограничиться рассмотрением только проектов по созданию новых продуктов или сервисов, можно выделить пять взаимодействующих систем, которые вместе образуют (мета-) архитектуру проекта: цели, продукт, процесс, организация, инструменты (рисунок 1.8). Обычно рассматривается только одна из этих пяти систем, поскольку каждая сама по себе довольно сложна. Однако, то, что оптимально для каждой системы в отдельности, может не быть таковым для проекта в целом (или для мультипроектной организации, такой как машиностроительная корпорация).

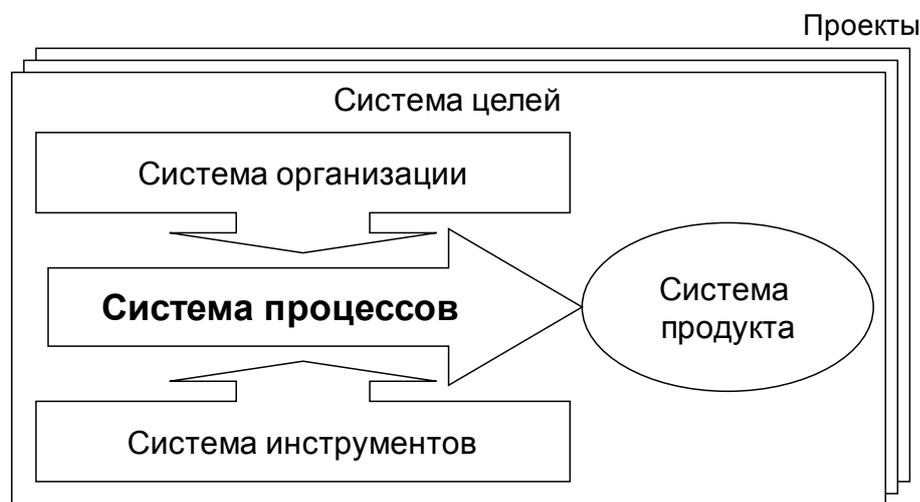


Рис.1.8. Метаархитектура проекта

Очевидно, что в такой классификации ИС, поддерживающая процессы проектирования, относится к инструментам, но надо отметить, что она сама по себе является сложной социотехнической системой, объединяющей как технологический, так и социальный аспекты (людей и другие ресурсы, см., например, определение информационных систем ГОСТ ИСО/МЭК 2382-1-99 [158]).

Среди основных современных тенденций в организации процесса проектирования можно выделить три взаимосвязанных направления: открытые инновации, параллельный инжиниринг и разработка продуктовых семейств на базе платформ.

Модель открытых инноваций предполагает активное взаимодействие с внешними источниками новых идей и технологий [112] и является дальнейшим развитием традиционных отношений «поставщик-потребитель». В частности, в аэрокосмической отрасли широкое распространение получил инновационный аутсорсинг, когда конечный продукт разбивается на отдельные подсистемы, каждая из которых обладает значительной автономностью и может разрабатываться независимо от других. При этом поставщики отдельных компонентов или сервисных элементов конечного продукта отвечают за их разработку и производство, а головной разработчик фокусируется на интеграции, общем контроле инновационного процесса и своих ключевых компетенциях. В результате сегодня до 80% работ по созданию нового продукта выполняется внешними подрядчиками, которые взаимодействуют с головным разработчиком [159]. Для того чтобы предприятие было готово к вступлению в подобные инновационные альянсы, необходимо обеспечить простую возможность интеграции его информационной системы с системами других членов альянса.

Развитием модели открытых инноваций является концепция открытой бизнес-модели [113]. Бизнес-модель – это высоко уровневое описание механизмов использования ключевых материальных и нематериальных активов для реализации стратегии организации, которое отражает принципы и механизмы коммерциализации технологий, но не является операционной моделью бизнес процессов, она задает ее структуру и критерии оценки [160]. Открытая бизнес-модель предполагает изменение фундаментальных принципов организации, в частности, устранение границ, препятствующих обмену информацией с внешней средой, поиск

новых идей вне организации и передача собственных новых идей во внешний мир.

Распространение модели открытых инноваций оказало влияние на концепцию параллельного инжиниринга, который традиционно понимался как одновременное проектирование продукта и процессов его изготовления на базе компьютерной мастер-модели. Современная концепция параллельного проектирования предполагает одновременные действия в трех направлениях: проектирование продукта, процессов его изготовления и сети партнеров по разработке и производству [161]. Этот подход получил название трехмерного параллельного инжиниринга (3D concurrent engineering, 3D-CE). В [162] отмечено, что создание сети партнеров происходит в 2 этапа. На первом головной разработчик определяет основную концепцию и архитектуру продукта, а также структуру будущей партнерской сети. Каждому элементу этой сети соответствуют определенные технические и функциональные требования. Также определяется логическая последовательность, согласно которой партнеры и субконтракторы будут взаимодействовать. На втором этапе выбираются лучшие партнеры для реализации каждого модуля продукта, среди имеющихся на рынке поставщиков. Таким образом, разработка процессов изготовления и создание соответствующей организационной структуры проекта также должны рассматриваться как задачи структурного и параметрического синтеза (т.е. как задачи принятия решения и оптимизации, соответственно). Влияние архитектуры продукта на конфигурацию сети соразработчиков и поставщиков исследовано в [163]. Отражение архитектуры продукта в организационной структуре компании рассмотрено в [164] на примере авиационного газотурбинного двигателя Pratt&Whitney PW4098.

Понятие платформы как набора объектов (компонентов, процессов, знаний, людей и их связей), на базе которого создается семейство продуктов, сформулировано в [165]. Отметим, что оно связано с получившей широкое распространение концепцией ключевых компетенций, под которыми понимается такое сочетание

технологий, процессов и знаний, определяющее отличительные особенности продуктов компании, которое практически невозпроизводимо ее конкурентами [166]. Фактически, продуктовая платформа должна быть материальной реализацией ключевых компетенций и обеспечивать уникальную рыночную позицию компании. На базе одной платформы может быть построено семейство продуктов, удовлетворяющих различные потребности рынка. Платформенный подход увеличивает гибкость производственных процессов и адаптивность компании к изменению рыночного спроса, позволяет кастомизировать продукты под требования различных рыночных ниш, сокращает затраты на тестирование и сертификацию сложных продуктов (например, газотурбинных авиадвигателей).

Два способа организации продуктовых платформ рассмотрены в [164]. Согласно первому продукты создаются добавлением модулей (так называемая конфигурируемая платформа). При этом предполагается следующий порядок действий: определение функциональных требований, отображение их на физические компоненты, специфицирование интерфейсов между физическими компонентами. Примером реализации такого подхода являются самолеты компании Embraer: модели 170 и 175 имеют 95% общих компонент, модели 190 и 195 – 85%. Второй способ базируется на параметризованных платформенных моделях, при этом одна или несколько масштабирующих переменных могут изменяться для сжатия /растяжения платформы и получения новых продуктов. Такой подход также получил широкое распространение в авиастроении, в качестве примера можно привести две серии двигателей Rolls Royce на базе газогенераторов RTM322 и RB550 – второй газогенератор был получен из первого масштабированием в 1,8 раза [163]. Отметим, что наличие параметризованной платформы открывает широкие возможности по оптимизации продуктов в процессе численного эксперимента.

Рассматривая современные тенденции в организации разработки, следует также уделить внимание идее, согласно которой по-настоящему инновационные продукты создаются не в результате исследования потребностей потребителей, а

фактически в результате создания новых потребностей. В [167] отмечено, что потребители покупают не продукт, а его «значение» (meaning – значение, смысл). Эмоциональные, психологические и социокультурные причины важны не менее чем утилитарные, каждый продукт или сервис, как на потребительском, так и на индустриальном рынке имеет «смысл». Однако в современных исследованиях по менеджменту часто высказывается мнение, что «значение» это не субъект инноваций. Потребители присваивают «значение» уже имеющимся вещам. Следовательно, рассматриваются только две инновационные стратегии - радикальное изменение продукта за счет новых технологий (technology driven) или улучшение продукта за счет более тщательного анализа требований потребителей (market driven).

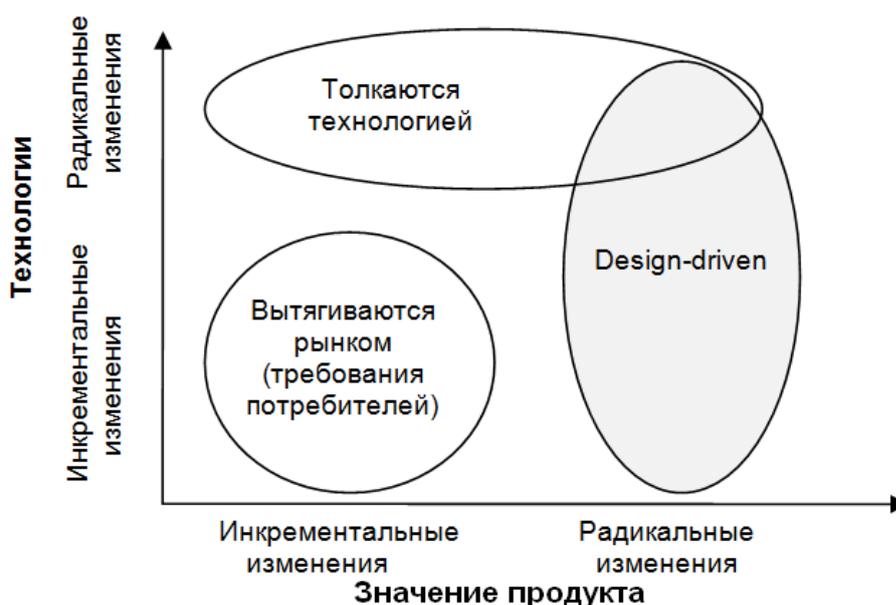


Рис. 1.9. Виды продуктовых инноваций

В [167] рассматривается новый вид инноваций (design driven), связанный с изменением «значения» продукта, когда предлагается неожиданное и отличное от существующего его толкование, новые варианты использования. В качестве примера приводятся игровая консоль Nintendo Wii с датчиком движения, дающая возможность играть за счет движений всего тела и симулирующая активную физическую среду, а также инфраструктура компании Apple, позволяющая находить

и покупать музыку, создавать собственные списки воспроизведения (iTunes, iTunes store и iPod). Все перечисленные виды инноваций представлены на рис. 1.9.

1.4. ВЫВОДЫ

Приведенный в данной главе обзор литературы позволяет зафиксировать следующую проблему стратегического управления развитием ИТ в организации. Все существующие на данный момент методы стратегического планирования ИТ, рассмотренные в разделе 1.1, предполагают опору на стратегию более высокого уровня – бизнес-стратегию, которая часто отсутствует в формализованном виде, что зафиксировано в работах ведущих специалистов по общему менеджменту.

В разделе 1.3 приведен обзор исследований, касающихся общей теории организации. Современная организация представляет собой социо-техническую систему со сложной структурой, которая стремится сохранить свое состояние под воздействием потока непредсказуемых внешних событий. При этом основным механизмом является не сознательная реакция на основании категоризации или анализа событий, а стихийно возникающие поведенческие паттерны (рутины). Это позволяет рассматривать организацию как эволюционирующую популяцию рутин, залогом ее успеха становится скорость обнаружения изменений и адекватность реакции на них, т.е. способность эффективно адаптироваться к внешней среде.

Очевидно, что требование адаптивности должно распространяться на все подсистемы организации, в том числе и на корпоративную информационную систему. Из пяти принципов формирования стратегии Г. Минцберга [58] в такой ситуации актуальными является сочетание перспективы, которая определяет общую точку зрения на использование ИТ в организации и базируется на подходе «сверху-вниз», и паттерна – механизма реакции на любые изменения в требованиях к существующим системам, предложения по созданию новых ИС и т.д., обеспечивающего распространение инициатив «снизу-вверх».

ГЛАВА 2. МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ОРГАНИЗАЦИИ

Как было показано в обзоре исследований по организационной теории в первой главе диссертации, современное представление о динамике организации сводится к следующему. Большую часть времени организация развивается эволюционно как некая устойчивая конфигурация ее составных частей и реагирует на изменения внешних условий изменением сложившихся принципов своего поведения. Длительные периоды эволюционного развития прерываются революционными изменениями, когда организация радикально изменяет за короткий промежуток времени свою структуру и принципы поведения. Происходят трансформации – квантовые скачки в иную конфигурацию. Потребность в трансформации выявляется в процессе инкрементального самообучения организации

Для решения задачи создания методологии стратегического управления развитием ИТ в организации, ведущей деятельность в непредсказуемой внешней среде, необходимо исследовать наиболее общие принципы ее динамики. В дальнейшем будем рассматривать организацию, ведущую хозяйственную деятельность (фирму) и состоящую из нескольких относительно независимых подразделений, т.е. корпорацию (более формальное определение корпорации будет дано в начале раздела 2.2). Для исследования динамики корпорации выполним следующие действия:

- построим модель эволюционного развития фирмы и ее окружения (отрасли);
- построим модель корпорации, определим условия, вызывающие необходимость изменения ее конфигурации;
- проведем классификацию инновационных действий, приводящих к инкрементальным и радикальным изменениям;

- определим степень влияния информационных технологий на инновационные действия.

Отметим, что все предложенные ниже модели могут быть обобщены для организаций, ведущих любые виды деятельности.

2.1. ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ

Основываясь на результатах эволюционной экономической теории и новой институциональной теории предложим следующую качественную модель эволюции фирм и отрасли (рисунок 2.1).

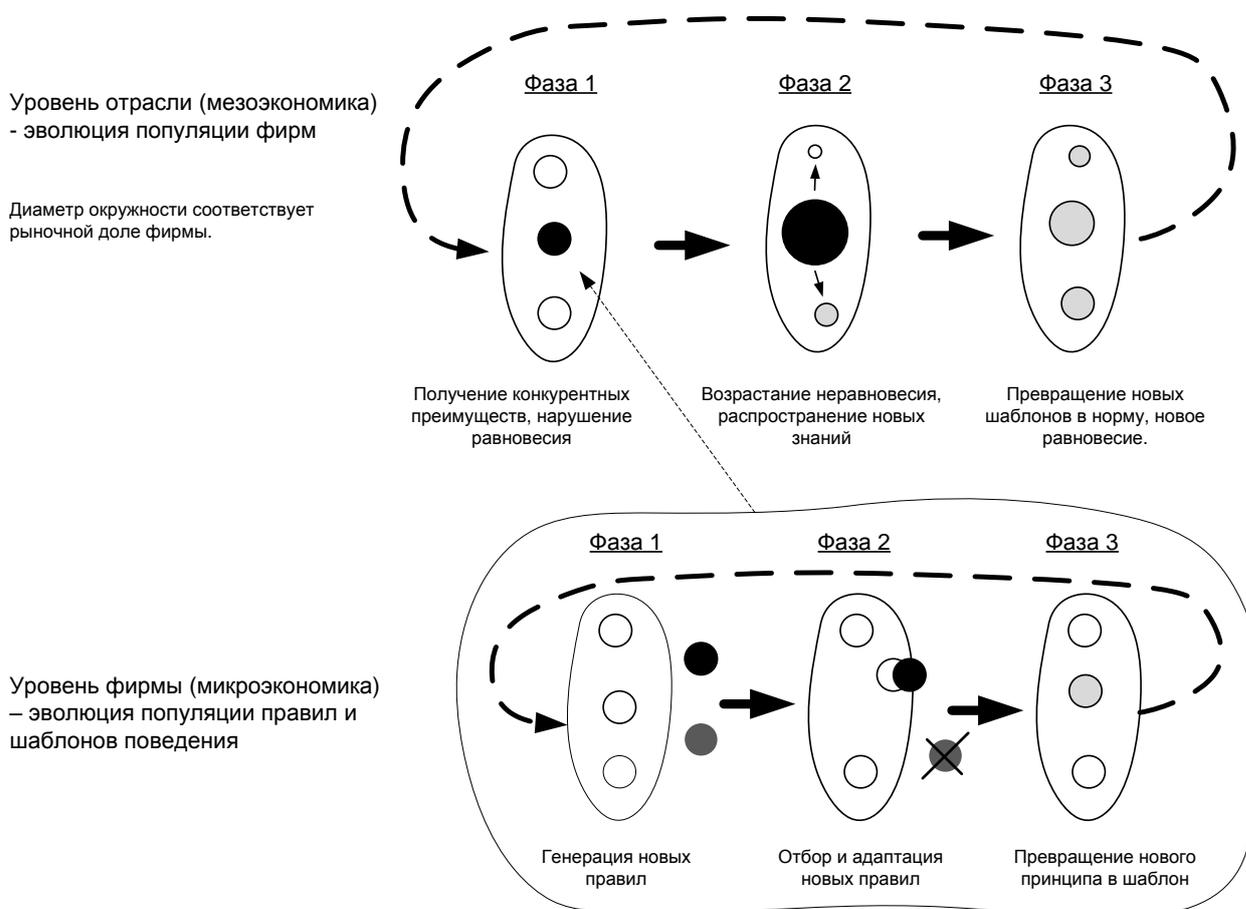


Рис. 2.1 Эволюция на микро- и мезо- экономических уровнях

Согласно положениям указанных теорий фирма рассматривается как эволюционирующая популяция правил и принципов поведения (рутин). Поиск нового шаблона поведения осуществляется в 3 фазы (показаны в нижней части рис. 2.1). На первой фазе фирма может начать изменения за счет создания нового продукта, освоения новой технологии производства, внедрения новой организации производства, открытия новых рынков сбыта или открытия новых источников сырья (перечислены виды нововведений по Й.Шумпетеру). Выбор типа изменения зависит от оценки потенциальных транзакционных издержек, которые включают, кроме всего прочего, формирование сети партнеров, поставщиков и т.д. На второй фазе осуществляется отбор приемлемых изменений и их адаптация к реальной ситуации. Отметим, что все действия (генерация, отбор и адаптация изменений) осуществляются в условиях неполной информации, т.е. поведение фирмы является ограниченно рациональным. На третьей фазе адаптированные поведенческие модели становятся шаблоном. В случае успеха фирма получает конкурентные преимущества, нарушая равновесие на рынке. Это является толчком к изменению конфигурации отрасли, которое также происходит в три фазы, показанные в верхней части рисунка 2.1. Например, фирма может увеличить свою рыночную долю за счет конкурентов (на рисунке диаметр окружности, означающий фирму, соответствует ее доле рынка). При этом обучаются и изменяются другие фирмы, поскольку фирма-новатор внедряет новое знание, которое постепенно принимается большинством и становится нормой. Эволюция промышленной структуры является, следовательно, эволюцией знаний и компетенций (возможностей). Создание новых поведенческих шаблонов приводит в итоге к появлению новых институциональных правил и норм [168]. Причем, как отмечено в [169], этот процесс бесконечный в том смысле, что никогда нельзя сказать, что установилась наилучшая структура отрасли, что выбраны совершенные шаблоны и отобраны наиболее эффективные фирмы. Более того, в один и тот же момент могут сосуществовать различ-

ные отраслевые структуры, степень эффективности которых трудно соизмерить.

Существенным для дальнейшего исследования является тот факт, что, несмотря на то, что рутина или принцип поведения определяют регулярный и предсказуемый набор действий, результат выполнения этих действий полностью непредсказуем, поскольку он также зависит и от непредсказуемо изменяющихся внешних условий.

2.2. МОДЕЛЬ КОРПОРАЦИИ

Построим математическую модель корпорации. Согласно современным представлениям любая организация (в том числе и корпорация) может рассматриваться как открытая система, эволюционирующая вместе с внешней средой. Она является целенаправленной системой, входит как часть в одну или более целенаправленных систем верхнего уровня, ее части (люди) имеют собственные цели (что означает недопустимость проведения аналогии с организмом) [108]. При этом границы между корпорацией и внешней средой становятся все более условными [170]. Сама корпорация имеет многомерную организационную структуру, в которой на каждом уровне имеются структурные единицы трех разных видов, определяемые [108]:

1. их функцией (продукция этих единиц потребляется преимущественно внутри корпорации),
2. их продукцией (которая потребляется преимущественно на внешнем рынке)
3. их пользователями (рынками, определяемыми типом или местонахождением покупателей).

Очевидно, что в большинстве случаев ИТ-служба является функциональным подразделением первого вида. Поэтому задачу формирования ИТ-

стратегии можно рассматривать как частный случай разработки функциональной стратегии.

На основании сказанного выше можно предложить модель корпорации, представленную на рисунке 2.2. В ее структуре выделим стратегический управляющий центр M , подразделения, ответственные за производство продуктов и услуг, потребляемых на внешнем рынке P_i , $i \in [1, \dots, n]$, подразделения, ответственные за оказание услуг внутри корпорации S_j , $j \in [1, \dots, q]$ и подразделения, отвечающие за работу на рынках C_k , $k \in [1, \dots, l]$. Здесь n , q и l - количества соответствующих подразделений.

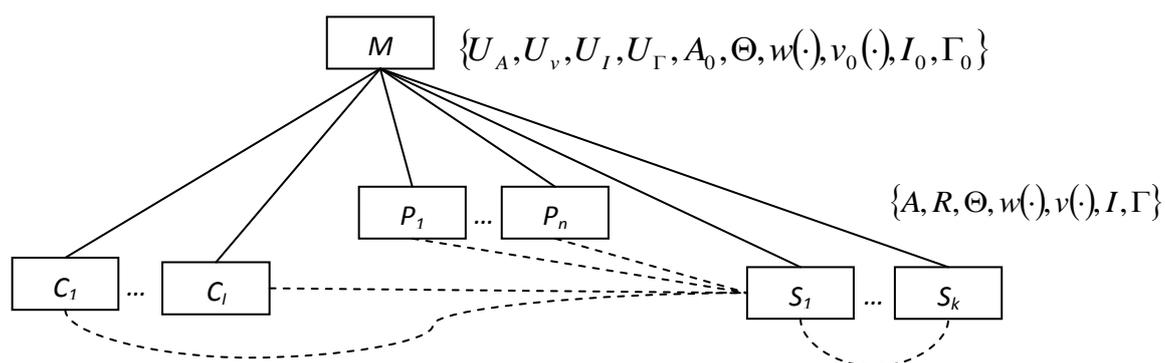


Рис. 2.2. Модель корпорации.

В [171] предложена модель организационной системы, разработанная на основе теории активных систем [93,94]. Согласно этой модели принятие решений стратегического центра описывается кортежем $\Psi_0 = \{U_A, U_V, U_I, A_0, \Theta, w(\cdot), v_0(\cdot), I_0\}$, соответствующий кортеж подразделения (агента) имеет вид $\Psi = \{A, R, \Theta, w(\cdot), v(\cdot), I\}$. Здесь A - множество действий агента, R - множество результатов действий, Θ - множество возможных значений обстановки, I - информация, которой обладает агент на момент принятия решения. Под обстановкой понимается взаимодействие не только с внешней

средой, но и всеми элементами организационной системы. Предпочтения агента на множестве возможных результатов деятельности заданы его функцией полезности $v(\cdot)$, а результат деятельности зависит от действия и обстановки $w(\cdot): A \times \Theta \rightarrow R$. Соответствующие переменные с нижним индексом «0» описывают центр. Действием центра является формирование вектора управления $u = (u_A, u_V, u_I)$, включающего институциональное, мотивационное и информационное управления $u_A \in U_A$, $u_V \in U_V$, $u_I \in U_I$, задающего для агента соответственно допустимое множество действий, функцию полезности и доступную информацию.

Отметим, что рассмотренная модель не предполагает самостоятельного формирования целей агентом, считается, что его функция полезности $v(\cdot)$ полностью определяется мотивационным управлением со стороны центра $u_V \in U_V$. На самом деле это противоречит реальному положению дел, в теории организации зафиксирован тот факт, что части сложной системы, каковой является корпорация, могут иметь собственные цели, не совпадающие с общекорпоративными (см., например, [108]). Необходимость учета несовпадения целей других подразделений является дополнительным осложняющим фактором при разработке ИТ-стратегии. Кроме того, формирование стратегии предполагает задание некоторых целевых измеряемых параметров, которые описывают достигаемую цель и позволяют оценивать степень приближения к ней. Поэтому для целей проводимого здесь исследования модель корпорации должна быть расширена.

Для того, что бы записать сформулированную выше проблему формирования ИТ-стратегии в математическом виде, введем понятие конфигурации корпорации. Согласно работе [172] корпорация может конкурировать на рынке за счет улучшения отношений с потребителями, изменения продуктового портфеля и повышения внутренней эффективности. Поэтому конфигурацию корпорации определим кортежем $\Sigma = \langle \Sigma_M, \Sigma_R, \Sigma_P, \Sigma_S, p(\Sigma_S, \Sigma_P), \Gamma \rangle$. Здесь Σ_M - система

потребителей продуктов и услуг, Σ_R - продуктовый портфель и ресурсы, Σ_P - подмодель, определяющая поведение (бизнес-процессы) системы, Σ_S - подмодель, определяющая структуру системы, $p(\Sigma_S, \Sigma_P)$ - предикат целостности, определяющий семантику преобразования $\Sigma_P \rightarrow \Sigma_S$, Γ - вектор целей системы.

Введем в рассмотрение набор m показателей $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$, отражающих состояние системы или ее подразделения в любой момент времени t (для каждого подразделения значение m различно). Каждому состоянию системы соответствует точка в пространстве показателей, а совокупность таких точек при различных значениях t образует траекторию $\Phi(t) = \{F_t\}$. Задачу перевода системы из одного состояния в другое можно представить в виде кортежа $\gamma = \{\Sigma, |F_\gamma^0 - F_\gamma^*|, A_\gamma, t_\gamma\}$, где Σ - организационная система; F_γ - подмножество показателей состояния системы, изменяемых в рамках данной задачи, $F_\gamma \subseteq F$; F_γ^0, F_γ^* - исходное и целевое состояние системы; A_γ - множество действий по достижению цели $A_\gamma \subseteq A$; t_γ - время, за которое задачу предполагается решить. Это означает необходимость сократить расстояние между векторами F_γ^0 и F_γ^* до нуля. Отметим, что такая постановка является общей как для тактических, так и для стратегических задач, которые различаются лишь расстоянием $|F_\gamma^0 - F_\gamma^*|$ и интервалом времени t_γ , за которое это расстояние предполагается сократить. При этом также не выделяется некий специальный момент времени для стратегического планирования, поскольку стратегические проблемы возникают также нерегулярно, как и тактические. Набор решаемых задач формирует вектор целей Γ , $\gamma \in \Gamma$. При этом возникают два вида ограничений - ресурсные и фазовые. Ограничения первого вида зависят от наличия необходимых для решения задачи ресурсов. Фазовые ограничения определяют те участки пространства показателей системы, попадание в которые нежелательно. В качестве примера такого участка применительно к ИТ можно привести временное ухудше-

ние параметров соглашения об уровне сервиса, которое может произойти при запуске в эксплуатацию новой системы.

Подобные рассуждения можно повторить для любого элемента организационной системы, поэтому все записанные выражения для конфигурации и целей справедливы и для подразделений. Очевидно, что стратегический центр будет влиять на определение целей подразделений. Таким образом, вектор управления u необходимо записать в виде $u = (u_A, u_V, u_I, u_\Gamma)$, где $u_\Gamma \in U_\Gamma$, - стратегическое управление (т.е. согласование целей подразделений корпорации, выработка единого взгляда на перспективу), а в кортежи Ψ и Ψ_0 добавить соответственно Γ и Γ_0 : $\Psi = \{A, R, \Theta, w(\cdot), v(\cdot), I, \Gamma\}$, $\Psi_0 = \{U_A, U_V, U_I, A_0, \Theta, w(\cdot), v_0(\cdot), I_0, \Gamma_0\}$.

Кроме того, необходимо заметить, что на практике внутри корпорации существуют связи не только между подразделениями и стратегическим центром, но и между подразделениями тоже (на рисунке 2.2 часть из них показана пунктирными линиями). Сервисное подразделение получает запросы на реализацию тех или иных услуг не только от руководства корпорации, но и от подразделений P_i, S_j, C_k также в виде векторов управления, аналогичных по структуре $u = (u_A, u_V, u_I, u_\Gamma)$. Это означает, что допустимое множество действий A , функция полезности $v(\cdot)$, доступная информация I и стратегические цели Γ формируются не столько центром управления, сколько внутри самого сервисного подразделения на основании агрегирования всех векторов управления. Эта деятельность и является содержанием формирования стратегического поведения. Ключевыми вопросами при этом являются выбор способа агрегирования управляющих векторов, поступающих от всех подразделений корпорации, и задание целевых состояний F^* и выбор соответствующего набора проектов $\gamma \in \Gamma$ по их достижению. На основании изложенных соображений очевидно, что режим сотрудничества между подразделениями потребителями внутренних ИТ-услуг возможен крайне редко (для этого должно выполняться условия согласо-

вания интересов всех подразделений и достаточности ресурсов ИТ-подразделения). Более часто наблюдается режим конкуренции.

Основываясь на введенных обозначениях рассмотрим трактовку понятия «стратегия», которую дал Г.Минцберг [56]. Он определил «стратегию» как комбинацию пяти «П»: плана, паттерна, позиции, перспективы и приема. Все эти определения взаимосвязаны и дополняют друг друга, ни одно из них не может считаться единственно верным.

План – это сознательно разработанная последовательность действий в конкретной ситуации, созданная до начала действий и с определенной целью. Он определяется кортежем $P_1 = \langle \Sigma, \Phi(t) \rangle$, где $\Phi(t) = \{F_\gamma^0, F_\gamma^1, \dots, F_\gamma^n\}$ – последовательность целевых состояний системы, достигаемых действиями $\gamma_{i,i+1} = \{\Sigma, |F_\gamma^i - F_\gamma^{i+1}|, A_\gamma^i, t_\gamma^i\}$, $i = 0, \dots, n - 1$. План – это намеченная стратегия.

Прием – действие $P_2 = \langle a \rangle$, $a \in A$, которое фирма выполняет в конкретной ситуации, например, для того, чтобы обыграть своих конкурентов.

Паттерн – устойчивая характеристика поведения, формирующаяся по ходу развития событий, в отличие от плана это осуществляемая стратегия. Паттерн определяет механизм реакции на внешние события $P_3 = \langle v(\cdot) \rangle$, $v(\cdot): I \times \Gamma \rightarrow A$.

Позиция определяет более выгодное положение фирмы $P_4 = \langle F^* \rangle$ в рыночном ландшафте (более прибыльное, более защищенное от конкуренции и т.д.).

Перспектива – разделяемое членами организации видение / восприятие мира $P_5 = \langle \Sigma, \Gamma, p(\Gamma), C \rangle$, которое определяет направления развития Γ , их приоритеты $p(\Gamma)$ и ограничения C .

Тогда модель стратегического поведения на основе паттернов и конфигураций может быть представлена в виде, показанном на рис.2.3.

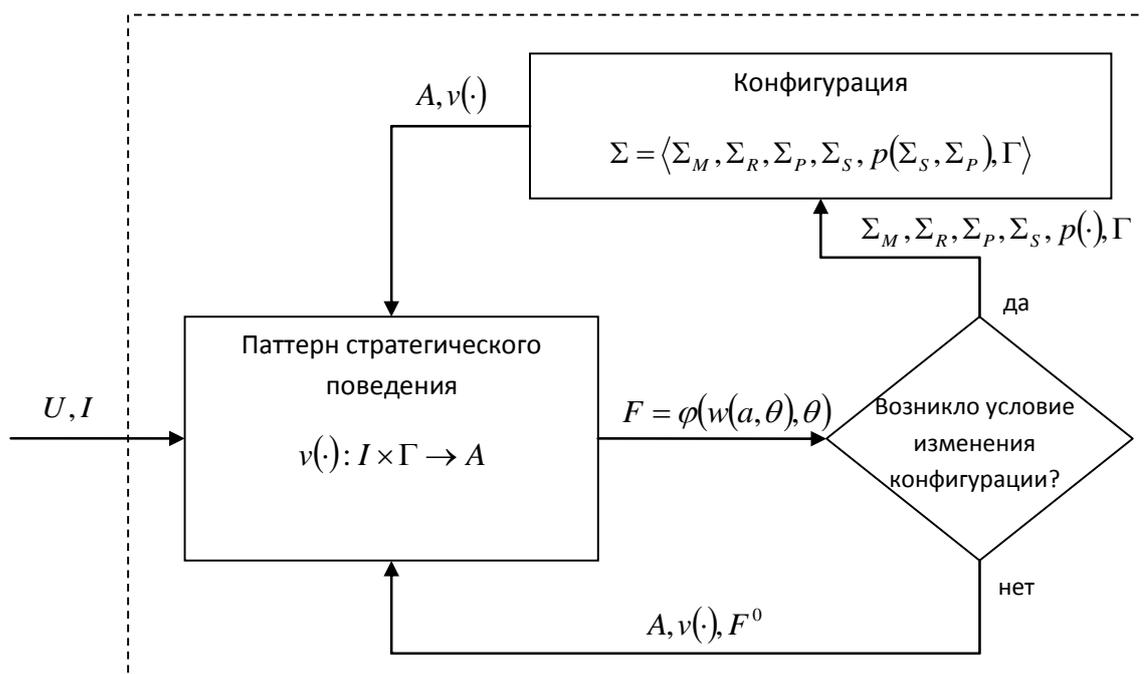


Рис. 2.3. Модель стратегического поведения.

При наступлении в момент времени τ какого-либо события, требующего реакции, подразделение выбирает действие на основании цели Γ и информации об обстановке I в этот момент времени $v(\cdot): I \times \Gamma \rightarrow A$. Выбранное действие $a = v(I, \Gamma)$, $a \in A$ в зависимости от обстановки приводит к результату $r = w(a, \theta)$, $r \in R$, $\theta \in \Theta$. Новое состояние системы является функцией результата и обстановки $F = \varphi(r, \theta)$ или $F = \varphi(w(v(I, \Gamma), \theta), \theta)$. Следует особо подчеркнуть разницу между результатом и состоянием. Например, в целях сокращения затрат руководитель ИТ-подразделения выбирает действие «внедрить систему Service Desk». Целевой переменной может служить фонд зарплаты ИТ-подразделения. Результатом этого действия может стать внедренная система, но сокращения затрат можно не достичь, например, из-за роста зарплат специалистов, вызванным увеличением спроса на рынке труда.

Под событием, требующим реакции, здесь понимается любая инициатива, связанная с изменением текущего состояния ИТ–инфраструктуры предприятия, в том числе и исходящая от самого ИТ–подразделения.

2.3. МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОБ ИЗМЕНЕНИИ КОНФИГУРАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ

Модель принятия решений об изменении конфигурации представлена на рисунке 2.4. Это решение может быть принято в результате двух возможных событий. Во-первых, это реакция на внешнее события, которое характеризуется информацией I об обстановке в окружающей среде Θ . Существенным является то, что информация является неполной, искаженной и т.д. Задача фирмы – на основании неполной информации обнаружить в своей памяти сведения о ранее встречавшейся аналогичной ситуации и действиях, приведших к ее разрешению. Очень часто ситуация «распознается» и «предсказывается» и соответственно фирма начинает действовать, еще до того, как будет получено достаточно сведений. В случае правильного «предсказания» фирму ждет успех, но также велика и цена ошибки. Именно способность определять проблемы на ранней стадии («предсказывать») отметил С.Спир как основную компетенцию лидеров [118]. Если фирма находит в своей «памяти» готовый шаблон $v(\cdot): I \times \Gamma \rightarrow A$, то она выбирает действие $a = v(I, \Gamma)$, $a \in A$, которое в зависимости от обстановки приводит, как уже было сказано, к результату $r = w(a, \theta)$, $r \in R$, $\theta \in \Theta$. Новое состояние системы является функцией результата и обстановки $F = \varphi(r, \theta)$. Если подходящий шаблон не обнаружен, фирма вынуждена искать новую функцию $v(\cdot)$, изменяя одну или несколько подсистем $\Sigma_M, \Sigma_R, \Sigma_P, \Sigma_S$ и генерируя соответствующие инновационные действия $\gamma = \{\Sigma, |F_\gamma^0 - F_\gamma^*|, A_\gamma, t_\gamma\}$. Второй причиной инновационного изменения шаблона поведения $v(\cdot)$ и конфи-

гуграции Σ может стать генерация идей по улучшениям внутри компании, например, на основе изучения конкурентов и лучших практик.

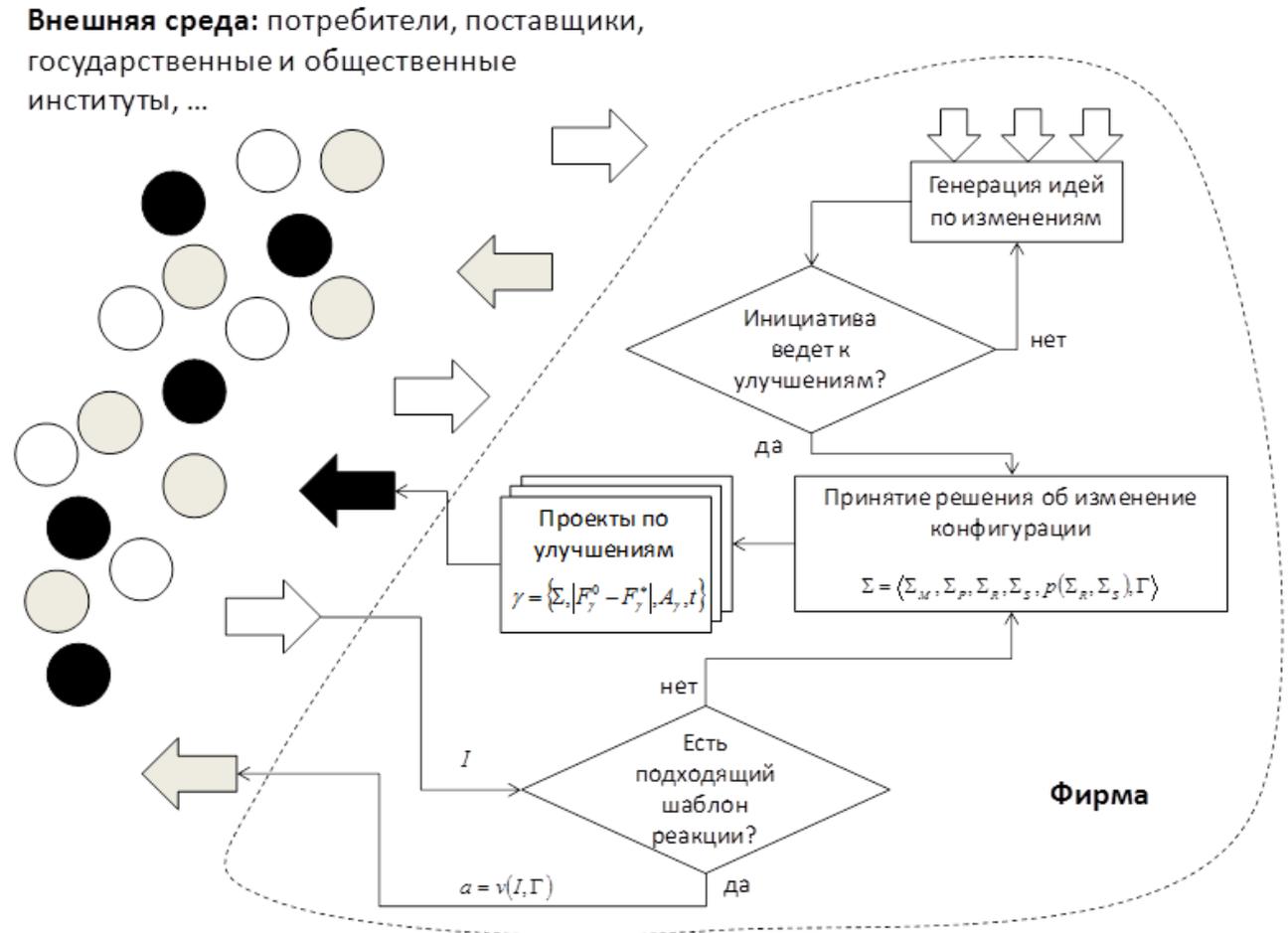


Рис. 2.4. Модель изменения конфигурации.

2.4. РОЛЬ ИТ В ИННОВАЦИОННЫХ ДЕЙСТВИЯХ

Для более точного определения роли ИТ в эволюции компании воспользуемся идеями Г. Хэмела [173], который предложил «пирамиду сложности инноваций», в основании которой лежат операционные инновации (рисунок 2.5). В мире гиперконкуренции операционное превосходство очень важно, но оно ред-

ко дает длительное преимущество. Во-первых, операции часто зависят от качества ИТ-инфраструктуры компании, которая легко может быть скопирована [46]. Во-вторых, многие компании используют услуги аутсорсинга для операционной деятельности. Естественно, поставщикам услуг выгоднее стандартизовать сервис для всех клиентов. В-третьих, бизнес-консультанты транслируют лучшие практики передовых компаний в общую массу.

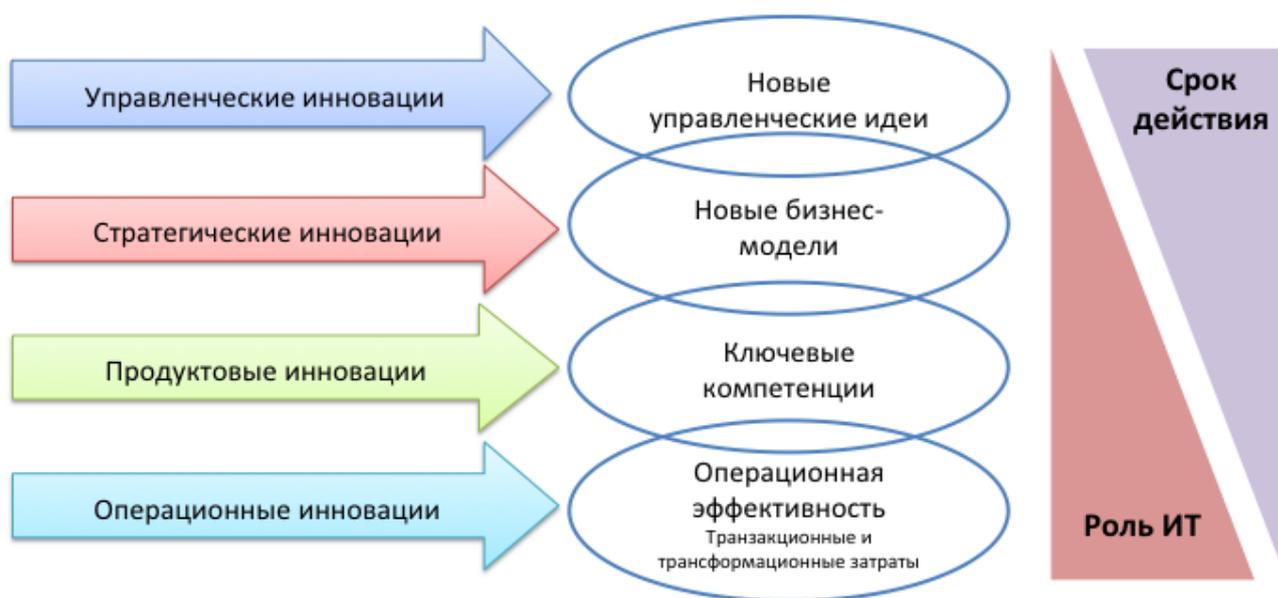


Рис. 2.5. Иерархия инновационных действий.

Следующий уровень – продуктовые инновации. Новые продукты могут превратить компанию в лидера рынка, но при отсутствии полной патентной защиты это преимущество также не будет очень долгим. Относительным исключением является случай, когда при помощи ИТ обновляются ключевые компетенции по созданию продуктов. Под ключевыми компетенциями в данном случае понимается такое сочетание технологий, процессов и знаний, которые определяют отличительные особенности продукта компании и практически невозпроизводимы ее конкурентами [166]. Строго говоря, развитие ключевых компетенций повышает конкурентоспособность предприятия, но не обязатель-

но ведет к сокращению операционных затрат. Примером такого развития ключевых компетенций являются инвестиции в разработку методов моделирования и оптимизации новых продуктов на основе суперкомпьютерных вычислений. Пока эти методы реализованы только в проприетарном ПО и не воспроизведены конкурентами, компания имеет преимущество. Как только на рынке появляются коммерческие программные продукты с сопоставимыми функциями, преимущество исчезает.

Верхние уровни пирамиды образуют стратегические инициативы по разработке новых бизнес-моделей и управленческие инновации. Примером новых бизнес-моделей служат дискаунтерные авиаперевозки (отказ от сервисов, без которых пассажир может обойтись, для радикального сокращения цены авиабилета), Apple iTunes (продажа приложений и контента через интернет), индийские аутсорсинговые компании по разработке ПО (перенос работ в страну с меньшей стоимостью рабочей силы, электронные коммуникации с заказчиком). Новая бизнес-модель может принести гигантский доход инноватору, но она гораздо проще может быть декодирована и воспроизведена, чем по-хорошему еретическая управленческая система. Управленческие инновации создают преимущества, которые воспроизвести наиболее сложно, поскольку они связаны с культурными ограничениями. Примером являются управленческие практики японских компаний, которые исследованы и описаны, но не воспроизводятся с такой же степенью эффективности в других странах, поскольку в значительной степени ориентированы на особенности японской культуры («верность» компании, предпочтение собственных правил и стандартов «лучшим» промышленным практикам, инициатива снизу).

Для целей проводимого здесь исследования из сказанного важен вывод, что применение ИТ в большинстве случаев имеет целью прежде всего сокращение операционных или транзакционных затрат (для американских компаний известны точные данные – в 98% случаев, см. цитированную выше работу [69]).

Этот факт отмечен на рисунке 2.5, чем выше мы поднимаемся по пирамиде инноваций, тем более долговременный эффект они дают, но тем меньшую роль в них играют ИТ.

2.5. ИТ-СТРАТЕГИЯ КАК СОЧЕТАНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОВЕДЕНЧЕСКОГО ПАТТЕРНА

Сделанные выше выводы дают основания выдвинуть дополнительные требования к ИТ–стратегии.

Информационные системы внедряются для поддержки различных групп бизнес-процессов и предназначены для сокращения затрат на их выполнение. Тем самым, ИС/ИТ становятся частью существующих шаблонов поведения фирмы. С этим связано широкое распространение тиражируемых ИС с более-менее стандартной функциональностью (PDM, MES, ERP, CRM и т.д.), вместе с приобретением такой системы фирма также получает возможность приобрести и внедрить у себя некие лучшие практики управления. С другой стороны, внедренные информационные системы часто препятствуют изменению этих практик управления, поскольку изменение самой ИС также требует значительных затрат. Поэтому возникает проблема выбора такого набора систем, которые одновременно обеспечивали бы и сокращение затрат на выполнение текущей модели бизнес-процессов и простой незатратный переход на новые модели.

Эволюционная теория неизбежно приводит к выводу, что архитектура предприятия должна непрерывно изменяться, следуя изменениям внешней среды и самой компании. Задача полного описания архитектуры предприятия в таких условиях даже с помощью специализированной информационной системы (например, Aris, Mega и т.п.) является очень сложной, особенно в условиях, когда структура предприятия, распределение функций между подразделениями

постоянно меняются, осваиваются новые виды деятельности и соответствующие бизнес-процессы, приобретаются новые компании. Очевидно, что в такой ситуации жесткое следование тому или иному формальному подходу не приносит выгод, но в тоже время требует значительных затрат на сопровождение данных об архитектуре и их постоянную актуализацию. Неизбежно встают вопросы – каков должен быть объем минимально необходимых знаний об архитектуре предприятия, каким образом они должны быть зафиксированы?

Аналогичные рассуждения касаются и модели управления ИТ. Если все вокруг непрерывно изменяется, почему ИТ–процессы должны быть стабильны? Насколько целесообразно, например, буквально следовать рекомендациям ITIL v.3?

Ответы на все эти вопросы должна давать ИТ–стратегия. Как уже отмечалось, Г. Минцберг и его коллеги показали [57], что выраженные вслух намерения (позиция и планы на ее основе) формируются на основе укоренившихся, формально не декларируемых перспективы и устойчивых характеристик поведения (паттернов). Согласно Г. Минцбергу [58], два принципа (стратегия как план и как принцип поведения) совершенно равноправны: организации разрабатывают планы на будущее и выводят принципы поведения из своего прошлого, которые постепенно изменяются вместе с новыми ситуациями. Таким образом, процесс формирования стратегии включает не только разработку планов на будущее, но и формирование шаблонов стратегического поведения, которые постепенно изменяются вместе с новыми ситуациями

Поэтому в данной диссертационной работе на основе представленных выше моделей динамики корпорации предлагается методология формирования ИТ–стратегии как комбинации перспективы и паттерна, ее общая концептуальная схема представлена на рис. 2.6. Это является расширением подхода, предложенного в работе [56], где наиболее эффективный способ создания ИТ–стратегии определяется как выработка общей точки зрения организации (т.е.

перспективы $P_5 = \langle \Sigma, \Gamma, p(\Gamma), C \rangle$ на инвестиции в ИС и ИТ, их развертывание, использование и управление ими. Другими словами, перспектива, как было отмечено выше, должна определять общепринятое представление о направлениях развития Γ , их приоритетах $p(\Gamma)$ и возможных ограничениях C , которое формируется на основании оценки потенциальных изменений или инноваций, влияющих на организацию в целом.



Рис. 2.6. Методология стратегического управления развитием ИТ в организации

Там же, в [56] отмечено, что недостатком концепции «ИТ–стратегия как перспектива» является ее ориентация на определение целей и задач «сверху–вниз». Из этого следует вывод, что ее необходимо дополнить механизмами определения стратегии «снизу-вверх», которые реализуются в виде поиска паттернов на всех уровнях управления.

Инвариантный набор шаблонов стратегического поведения, который был бы достаточно универсален с одной стороны и все-таки практически полезен с другой, должен включать в себя:

- Модель и метод принятия решений (делаем / не делаем) $v(\cdot): I \times \Gamma \rightarrow A$ по поводу различных инициатив в области ИТ, которые могут появляться как внутри ИТ-департамента, так и вне его.
- Метод принятия решений должна быть дополнен принципами поддержания адаптивности создаваемой информационной системы, которая должна, как минимум, не препятствовать, а более того, помогать организации быстро обнаруживать изменения во внешней среде и оперативно реагировать на них.
- Количественные метрики оценки эффекта от реализации выбранных инициатив. Очень важно понимать, приводят ли выбранные действия действительно к улучшению ситуации.

Шаблоны эти должны быть чрезвычайно просты и понятны без дополнительных глубоких объяснений. Тогда они станут тем фундаментом, который позволит институционализировать методы принятия решений и правила оценки результатов в области корпоративных ИТ.

2.6. ВЫВОДЫ

В данной главе решена следующая задача - исследована динамика поведения организации, ведущей хозяйственную деятельность (предприятия, фирмы) на микро- и мезо-экономических уровнях, разработана модель поиска новых принципов поведения, предложена классификация инновационных действий организации, исследована роль ИТ в инновациях различного типа

Изложенный в данной главе материал, опирающийся на положения эволюционной и новой институциональной экономических теорий, показывает,

что фирму можно трактовать как множество поведенческих реакций (рутин), постоянно изменяющееся под воздействием изменяющейся внешней среды. Рутинны определяют регулярный и предсказуемый набор действий, но результат выполнения этих действий полностью непредсказуем, поскольку он также зависит и от непредсказуемо изменяющихся внешних условий. Изменение рутин происходит в результате инкрементального обучения фирмы и генерации различающихся по сложности инновационных действий, при этом значительная часть таких действий – это операционные инновации.

На основании анализа работ по эволюционной экономической теории, новой институциональной теории, теории организации и общему менеджменту в данной главе построены модели эволюции фирмы и отрасли, стратегического поведения корпорации, принятия решений об изменении конфигурации корпорации, проведена классификация инновационных действий и оценена степень влияния ИТ на такие действия.

Исходя из построенных моделей, сделан вывод, что методология стратегического развития, подразумевающая декларацию формальных намерений (позиция и план) с последующей организацией усилий по их достижению, не полностью соответствует условиям нестабильной внешней среды. В этом случае фирме необходимо институционализировать методологию стратегического развития, опирающуюся на принципы поведения (перспективу и паттерн). Перспектива определяет направления развития, их приоритеты и существующие ограничения и базируется на подходе «сверху–вниз». Паттерн базируется на подходе «снизу–вверх» и включает инвариантный набор шаблонов стратегического поведения (модель принятия решений, принципы поддержания адаптивности ИС, модель измерения эффективности), который рассматривается в следующей главе диссертации.

ГЛАВА 3. ПАТТЕРН ПОВЕДЕНИЯ ПРИ СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЕМ ИТ

В данной главе рассматриваются выделенные выше компоненты минимально полезного инвариантного набора поведенческих принципов: модель принятия решений, принципы поддержания адаптивности информационных систем и количественное измерение эффекта от выбранных к реализации инициатив.

3.1.ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИТ

3.1.1. Модель и метод принятия решений

П.Страсман показал [174], что инвестиции в ИТ основное влияние оказывают на снижение транзакционных расходов корпорации, к которым относятся административные, маркетинговые и коммерческие расходы, а также затраты на исследования и разработку. Очевидно, данное утверждение будет справедливым и для внутрифирменных транзакционных расходов. Выше также отмечалось, что основной причиной следования шаблонам поведения (рутинам) тоже является сокращение транзакционных расходов. Таким образом, будем полагать, что основной задачей ИТ-подразделения в общем случае является снижение не только трансформационных, но и внешних и внутренних транзакционных расходов за счет создания информационных систем в подразделениях корпорации.

Будем считать, что каждое подразделение корпорации стремится максимизировать свою функцию полезности. Эти функции для подразделений видов C_k , P_i и S_j (обозначения введены в разделе 2.2) имеют вид соответственно:

$$f_C = H - \sum_P \sigma_P - \sum_S \sigma_S - Z_C, \quad f_P = \sum_C \sigma_P - \sum_S \sigma_S - Z_P, \quad f_S = \sum_{C+P} \sigma_S - Z_S.$$

Здесь H – доход от продажи продукции и услуг на рынках; $\sum_P \sigma_P$ – размер компенсации за производство продукции и услуг, выплачиваемый производственным центрам P_i ; $\sum_S \sigma_S$ – размер компенсации, выплачиваемый сервисным подразделениям S_j за внутрифирменные услуги; $\sum_C \sigma_P$ – компенсация, получаемая производственным подразделением от коммерческих; $\sum_{C+P} \sigma_S$ – компенсация, получаемая сервисным подразделением от коммерческих и производственных; Z_C , Z_P , Z_S – внутренние затраты соответственно коммерческих, производственных и сервисных подразделений. Тогда функция полезности корпорации в целом будет иметь вид

$$f_M = f_C + f_P + f_S = H - (Z_C + Z_P + Z_S + Z_M),$$

где Z_M – затраты на корпоративное управление. Согласно положениям новой институциональной теории общие затраты корпорации $Z_\Sigma = Z_C + Z_P + Z_S + Z_M$ включают:

- затраты на трансформацию сырья и материалов в готовые продукты и услуги T_w ;
- транзакционные затраты на управление процессом трансформации T_m ;
- транзакционные затраты на согласование действий между подразделениями внутри корпорации T_a^{int} ;
- транзакционные затраты на достижения согласия с внешними агентами T_a^{ext} .

Отсюда

$$Z_\Sigma = T_w + T_m + T_a^{int} + T_a^{ext}.$$

Отметим, что порядок перечисления затрат соответствует возрастанию сложности проектов по их снижению. Так для сокращения трансформационных затрат отдельно взятого офисного работника, бухгалтера или инженера достаточно предоставить им персональный компьютер с установленным соответствующим программным обеспечением (офисный или бухгалтерский пакет, система подготовки чертежей и т.п.). При этом работники сразу ощущают значительную личную выгоду от внедрения и, как правило, способствуют изменениям, если не возникает проблемы освоения новых инструментов. Проекты, связанные с сокращением транзакционных затрат реализуются, как правило, с большими трудностями, поскольку необходимо согласовывать интересы все большего количества людей (работников подразделения, организации в целом и даже внешних организаций).

Эти соображения позволяют построить «пирамиду сложности ИТ-инноваций», представленную в левой части рисунка 3.1. Инновации перечислены снизу-вверх по мере возрастания сложности их внедрения. Сложность инновации определяется видом транзакционных или трансформационных затрат, которые потенциально могут быть снижены в результате реализации рассматриваемой инициативы. Следует учитывать, что все эти ИТ-инновации относятся только к типу операционных инноваций.

На рисунке 3.1 представлена модель принятия стратегических решений по поводу развития ИТ на предприятии. В ее состав входят пирамида, определяющая уровень сложности инициатив по внедрению тех или иных ИТ. Уровень сложности реализации ИТ-инноваций накладывает ограничения на использование различных элементов архитектуры предприятия. На рисунке 3.1 в качестве примера перечислены некоторые варианты различных организационных и технических решений, относящихся к различным доменам архитектуры предприятия (бизнес-процессы, данные, приложения и техническая архитектура) и соответствующие различным уровням зрелости. Аналогичные ограничения в

зависимости от достигнутого и планируемого уровней зрелости накладываются и на использование тех или иных методов управления ИТ.

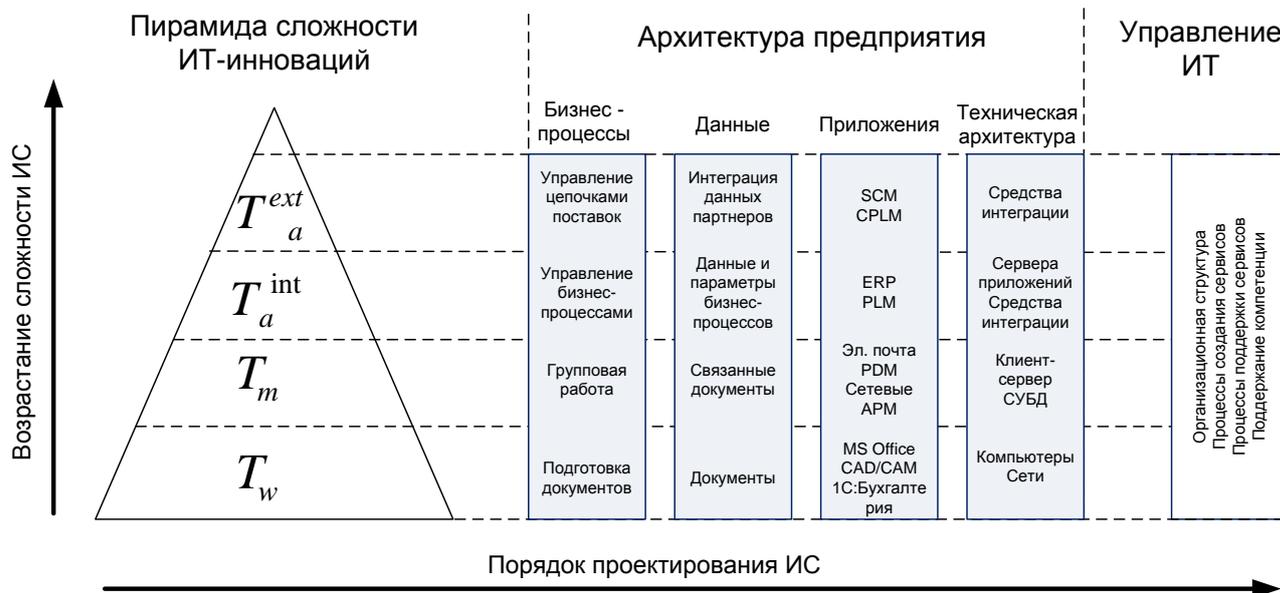


Рис. 3.1. Модель принятия стратегических решений.

На базе предложенной модели можно построить метод выбора решений $v(\cdot): I \times \Gamma \rightarrow A$ на уровне ИТ-подразделения. Он предполагает следующие шаги:

1. При возникновении очередной инициативы по созданию какого-либо ИТ-сервиса или системы, необходимо определить тип транзакционных затрат, снижению которых будет способствовать данный сервис.
2. Построить модель системы управления до и после внедрения сервиса и провести качественную оценку необходимых и достаточных условий снижения транзакционных затрат.
3. Убедиться, что выполняются следующие условия:
 - все элементы архитектуры предприятия и управления ИТ «нижележащих» уровней уже реализованы;

- на траектории развития системы управления отсутствуют фазовые ограничения (напомним, что фазовые ограничения это те конфигурации системы, попадание в которые нежелательно).
4. Если указанные условия соблюдаются, а также отсутствуют ресурсные ограничения, реализацию рассматриваемой инициативы можно принимать к исполнению и планировать с помощью одного из методов управления проектами. В результате будет сформирован план $P_1 = \langle \Sigma, \Phi(t) \rangle$, описывающий упорядоченное множество целевых состояний $\Phi(t) = \{F_\gamma^0, F_\gamma^1, \dots, F_\gamma^n\}$ системы Σ и множество действий по их достижению $\gamma = \{\Sigma, |F_\gamma^0 - F_\gamma^*|, A_\gamma, t_\gamma\}$.

3.1.2. Расширенная модель архитектуры предприятия

Предложенный метод оценки сложности реализации ИТ–инициатив, направленных на повышение операционной эффективности, базируется на рассмотрении трансформационных и транзакционных затрат, снижение которых предполагает рассматриваемая инициатива, и обеспечивает связь ИТ–стратегии и ИТ–архитектуры. При этом в дополнение к традиционным аспектам рассмотрения ИТ–архитектуры (бизнес-процессы, данные, приложения, техническая архитектура) в процесс планирования также включен домен методов управления ИТ, что позволяет синхронизировать внедрение различных практик управления с проектами по внедрению собственно ИС/ИТ.

Понятие архитектуры предприятия рассмотрено в Главе 1. Там же отмечено, что данная область достаточно хорошо исследована, предложено несколько моделей. На базе этих моделей созданы различные информационные системы, позволяющие хранить информацию о компонентах архитектуры в едином репозитории, а также предоставляющие средства анализа зависимостей между ними [175,176]. Тем не менее, задача полного описания архитектуры предприятия

даже с помощью специализированной информационной системы является очень сложной, особенно в условиях, когда структура предприятия, распределение функций между подразделениями постоянно меняются, осваиваются новые виды деятельности и соответствующие бизнес-процессы, приобретаются новые компании. Фактически речь идет о моделировании архитектуры предприятия с переменными и неопределенными границами.

В качестве примера можно привести ОАО НПО «Сатурн». За 10 лет (2000-2009 гг.) это предприятие трансформировалось из завода с одним серийно изготавливаемым продуктом в компанию, одновременно ведущую разработку более десяти новых газотурбинных двигателей с циклом проектирования 5-8 лет и циклом изготовления 6 – 18 месяцев. За это время были приобретены несколько других компаний и одновременно выделены в отдельные юридические лица непрофильные бизнесы. Очевидно, что в такой ситуации жесткое следование тому или иному формальному подходу управления архитектурой предприятия бессмысленно, т.к. не приносит ощутимых выгод, но требует значительных затрат на сопровождение и актуализацию данных.

Кроме этого, существует явный разрыв между методиками описания и проектирования архитектуры и способностью членов организации к их восприятию, отсутствует обоюдно понятный язык, использование которого позволило бы представителям бизнеса и ИТ-специалистам работать вместе.

Еще одна проблема заключается в том, что современные модели (TOGAF [66], DoDAF [67] и др.) не задают конкретных методик определения и достижения целевых архитектурных решений. В частности, все упомянутые методы не предлагают инструментов описания проектов, позволяющих достигнуть целевой архитектуры. Но любая архитектура предприятия является результатом выполнения проектов по реструктуризации, оптимизации бизнес-процессов, внедрению информационных систем. В результате утрачивается целостная картина изменений на предприятии. Попытка преодолеть этот разрыв сделана в работах

Е.Зиндера [177] путем добавления третьего измерения – времени к широко известной схеме Дж. Захмана [65], но данный подход также не предполагает отдельного описания для планируемых проектов.

В результате, задачей руководителей ИТ-подразделения и бизнес-менеджеров является адаптация одной из существующих методик определения архитектуры предприятия с учетом особенностей компании, а также ее интеграция с другими методами, такими как, управление изменениями бизнес-процессов, управление конфигурацией продуктов, управление ИТ-сервисами, управление проектами и т.д. Надо отметить, что не всегда удается (и это вовсе не обязательно) детально описать тот или иной компонент целевой архитектуры. Уже в начале 2000-х годов на НПО «Сатурн» было очевидно, что одним из основных компонентов бизнеса компании должно стать послепродажное обслуживание авиационных газотурбинных двигателей. В то же время двигатель SaM146 для российского регионального самолета Сухой СуперДжет-100, вокруг которого можно было бы развивать этот бизнес, еще находился в стадии разработки и не поставлялся заказчикам, а функции и процессы детально были еще не определены. Однако уже тогда было ясно, что данный бизнес должен строиться исключительно на основе взаимодействия с заказчиком через Интернет. Это понимание позволило запланировать действия по освоению необходимых технологий параллельно разработке ключевых элементов нового бизнеса.

При разработке ИТ - архитектуры, как правило, выделяют 3-4 типа архитектуры [178]. Наиболее часто это архитектура бизнес-процессов, данных, приложений и техническая архитектура. Существенным моментом является методологическая поддержка процессов, осуществляемых в ИТ - подразделениях (управление проектами, разработка и интеграция новых систем, обработка инцидентов, управление конфигурацией и т.д.). Поэтому в модель оценки сложности реализации ИТ-инициатив необходимо включить пятый домен, описывающий архитектуру управления ИТ-сервисами. Следует отметить, что данный

домен включает не только процессы эксплуатации ИТ-инфраструктуры, обычно определяемые в соответствии с рекомендациями ITSM (IT Service Management) [179], но и процессы ее создания. Наличие данного домена в описании ИТ-архитектуры позволяет планировать проекты по внедрению тех или иных операционных процессов, резервировать для них необходимые ресурсы наряду с проектами по внедрению собственно новых ИС и ИТ.

Вторым элементом, расширяющим традиционное представление об архитектуре предприятия, будет детализация технической архитектуры, что позволяет выделить однородные технические средства и сгруппировать соответствующих технических специалистов. Применительно к машиностроительной компании такая детализация может иметь вид:

- Сеть - различные виды коммуникации (WAN, LAN, PAN - personal area network), стандарты и протоколы, активное оборудование, базовые сервисы (такие как передача голоса и данных)
- Персональное рабочее место, включая как аппаратное (персональный компьютер, графическая станция, ноутбук, коммуникатор, периферийные устройства), так и программное (операционная система, офисные приложения, САПР¹) обеспечение.
- Центры данных - сервера, операционные системы, системы хранения, резервного копирования и восстановления данных, инженерная инфраструктура серверных комнат.
- Суперкомпьютеры для инженерных расчетов - выделены в отдельный элемент технической архитектуры, т.к. помимо традиционных для центров данных компонент в этот раздел также включены программные приложения для

¹ Системы автоматизированного проектирования (САПР) отнесены в данном случае к архитектуре персонального рабочего места потому, что проектирование новых продуктов является одним из основных бизнесов машиностроительных компаний, и САПР играют такую же роль, как и офисные приложения.

инженерных расчетов и соответствующие средства программной инфраструктуры.

- Системы автоматизации технологических процессов (АСУТП), включая описание объектов автоматизации (испытательные стенды, станки с ЧПУ и т.д.), используемые средства (датчики, контроллеры, исполнительные механизмы) и программное обеспечение.
- Средства разработки, включая языки и интегрированные среды программирования, сервера приложений, СУБД.

Полученное в результате расширенное представление архитектуры предприятия представлено на рисунке 3.3.

Следует отметить, что обеспечение информационной безопасности при этом не выделяется в отдельный архитектурный компонент. Соответствующая деятельность осуществляется на каждом уровне архитектуры. На уровне архитектур бизнеса, данных и приложений это выделение защищаемых объектов, формирование списка угроз. На уровне технической архитектуры - разработка конкретных технических решений.

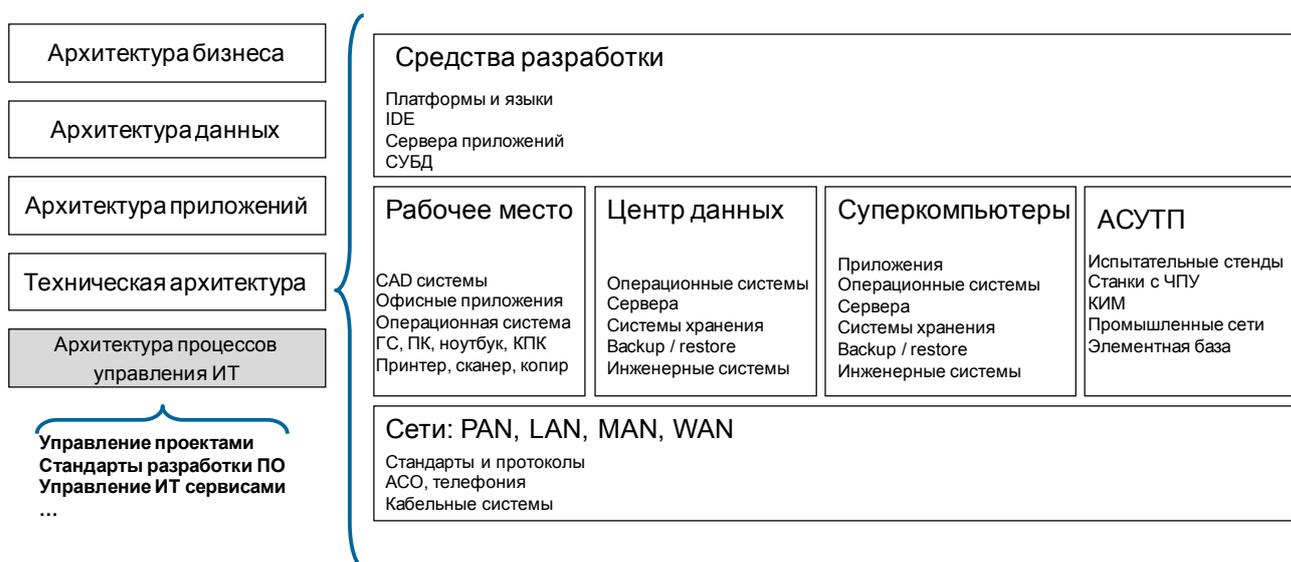


Рис. 3.2. Расширенное представление архитектуры предприятия

3.1.3. Пример оценки сложности реализации ИТ инициатив

Информационная система достаточно большого масштаба (ERP, PDM...) обычно рассматривается как некая модель предприятия, которая позволяет повысить качество управления за счет выполнения двух функций:

- Оценка текущего состояния F^0 организационной системы. Как минимум, это автоматизация учетных функций для предоставления обязательной отчетности, но часто это и вычисление неких параметров (ключевых показателей эффективности), позволяющих судить о нахождении на заданной траектории организационного развития $\Phi(t)$.
- Моделирование поведения организационной системы (на основании учетных данных) и помощь в принятии как оперативных, так и стратегических управленческих решений $\gamma \in \Gamma$.

Исходя из сказанного, при планировании внедрения ИС необходимо убедиться, что определение текущего состояния организационной системы будет достаточно точным для поддержки принятия решений.

Дополнительным фактором внедрения ИС часто также является желание приобрести и реализовать «лучшие практики» управления. В работе [180] сформулированы условия коренного изменения основных составляющих производственного процесса, а именно: 1) совершенствование системы планирования, 2) совершенствование системы оплаты, 3) совершенствование системы контроля исполнения, а также 4) техническое перевооружение производства. Очевидно, что использование ERP системы предполагает, прежде всего, улучшение процессов планирования и контроля исполнения и, как следствие, повышения мотивации работников, в том числе и за счет создания более справедливой и прозрачной системы оплаты труда. Кроме того, большинство крупных постсоветских предприятий по-прежнему остаются в рамках организационной

модели «механистическая бюрократия» [142], которая может быть превращена в органическую структуру только за счет автоматизации операционных процессов [181].

Таким образом, кажется, что внедрение информационной системы, какой является ERP, может обеспечить для отечественных предприятий значительный эффект при гораздо меньших затратах, чем техническое перевооружение. Поэтому практически на всех отечественных машиностроительных предприятиях рассматриваются инициативы по внедрению ERP для управления производством, но очень малая часть этих инициатив приводит к успеху.

Рассмотрим проблему внедрения ERP на основе предложенной модели принятия стратегических решений. Очевидно, что, если не предусматривается автоматизация отношений с поставщиками и потребителями, внедрение такой системы предполагает влияние на три вида затрат – трансформационные T_w (за счет повышения эффективности планирования производственных операций), и транзакционные T_m и T_a^{int} (за счет сокращения усилий на координацию и управление). Существует обширная практика успешных внедрений ERP систем в зарубежных компаниях, подтверждающих обоснованность этих предположений, см., например, корпоративные издания французской компании Snesta [182].

Тем не менее, анализ различий в организации производства на российских и зарубежных предприятиях показывает, что есть очевидные ограничения применимости ERP систем в отечественном машиностроении, в значительной степени связанные с несовершенством технической инфраструктуры. Прежде всего, это проблема подготовки и поддержания в актуальном состоянии данных для планирования и учета производства. Единицей планирования и учета является производственная операция, к которой привязаны оборудование, оснастка, нормы времени и расхода материалов и т.д. Чем точнее эти данные (наряду с данными о конфигурации (составе) изделия), тем точнее расчет производствен-

ного плана. Производственные мощности российских компаний унаследованы от советского периода и еще не обновлены радикально ни на одном из крупных предприятий (средний возраст оборудования составляет в лучшем случае 20-25 лет). Это означает, что в среднем, деталь изготавливается за большее количество операций, чем на Западе. По оценкам автора это соотношение составляет 1:4..1:10. Дополнительной проблемой здесь является специализация производственных участков по видам обработки (механическая, термическая и т.д.), т.е. деталь перемещается между разными корпусами завода, число таких перемещений может достигать 15-20, соответственно транспортировочные операции занимают существенное время в производственном цикле, их тоже надо планировать и учитывать. Кроме того, зарубежные предприятия, производящие мелкосерийную высокотехнологичную продукцию, самостоятельно изготавливают только около 10...20% номенклатуры всех деталей, поступающих на сборку, все остальное приобретает у поставщиков второго уровня, которые вследствие специализации обеспечивают гораздо большую эффективность. Отечественные предприятия практически 100% деталей для сборки изготавливают сами. Сравнительный анализ объемов данных, необходимых для обеспечения производственного планирования и учета, которыми оперируют два предприятия авиадвигателестроительной отрасли (ОАО «НПО «Сатурн», Россия и Snecma, Франция) с примерно одинаковым объемом выпуска по номенклатуре, приведен в таблице 3.1.

Из сказанного следует, что объем необходимых данных для управления производством на российском предприятии примерно в 20 раз больше, чем на зарубежном, при сопоставимом разнообразии выпуска. Поэтому для получения ожидаемого эффекта сокращения затрат T_w , T_m и T_a^{int} необходимо увеличить численность работников, отвечающих за подготовку информации (в данном случае технологов), в 5 раз, до 2000 человек. Дальнейшие расчеты показали, что никакого общего сокращения затрат в таком случае не произойдет.

Таблица 3.1. Объем информации для производственного планирования и учета

	Зарубежное предприятие	Российское предприятие
Номенклатура деталей для сборки	36 000	36 000
Количество деталей собственного производства	6 000	30 000
Число операций для изготовления детали собственного производства	20	80
Количество информационных объектов (операций), актуальность которых надо поддерживать	120 000	2 400 000
Количество работников, отвечающих за подготовку информации	100	400
Количество информационных объектов на одного работника	1 200	6 000

Проблемой является также получение точных данных о конфигурации изготавливаемого продукта. Под конфигурацией в данном случае понимается описание всех узлов, деталей и покупных комплектующих, входящих в состав конечного изделия. Для мелкосерийного производства высокотехнологичной продукции характерно непрерывное изменение этого состава, поскольку конструкция изделия постоянно уточняется либо по результатам эксплуатации, либо

в соответствии с требованиями конкретного заказчика. Для каждой конфигурационной единицы, входящей в состав продукта указывается ее применяемость – она может использоваться либо в изделиях, выпущенных в определенный промежуток времени, либо в изделиях, имеющих конкретные индивидуальные номера. Управление изменением конфигурацией осуществляется с помощью специального процесса. Проблемой для отечественных предприятий является то, что данный процесс практически нигде полностью не автоматизирован и более того, существующая нормативная база (ЕСКД) допускает несколько видов документов, изменяющих конфигурацию изделия (извещения на изменения, служебные записки, технические условия на сборку и т.д.), каждый из которых имеет специфические особенности. Таким образом, определение конфигурации ведется в ручном режиме на основании бумажных документов, что приводит к ошибкам. В то же время, изучение передовых практик зарубежных предприятий показывает, что при наличии информационных систем можно обеспечить процесс управления конфигураций на основе только одного документа (извещение на изменение или ECO – Engineering Change Order).

Для того, что бы оценить степень влияния достоверности информации о конфигурации изделия и производственных операциях на качество производственного плана рассмотрим упрощенную модель машиностроительного предприятия, представленную на рисунке 3.3. Предположим, что предприятие выпускает 1 продукт, состоящий из 4 узлов, включающих соответственно 7, 5, 6 и 6 деталей (всего 24 детали), причем по технологическому маршруту №1, показанному на рисунке 3.2 (литье – механообработка – термообработка) изготавливаются 11 деталей, по технологическому маршруту № 2 - 6 деталей, остальные детали по технологическому маршруту № 3. Всего предприятие имеет 7 производственных центров $WC_i, i = 1 \dots 7$ и одну линию сборки, на которой собираются как узлы, так и готовое изделие. Минимальное время обработки детали на одном рабочем центре (такт деятельности предприятия, дискрета плани-

рования) равно 1/4 смены, включая затраты на перемещение между рабочими центрами. Ежедневный выпуск изделия стабилен и составляет 5 шт. в день.

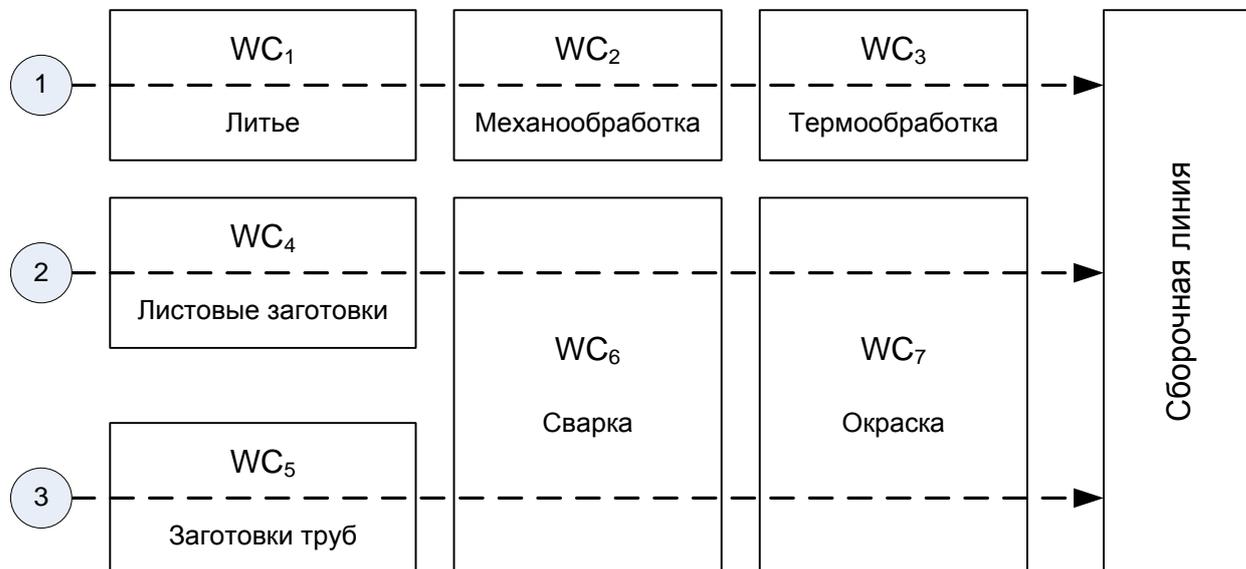


Рис. 3.3. Модель машиностроительного предприятия.

Для данного предприятия был рассчитан производственный план на 50 рабочих смен (при этом предполагалось, что доступные мощности позволяют выполнить указанную программу производства, и она обеспечена запасами покупных материалов и комплектующих). В итоге было получено множество производственных заданий для всего предприятия

$$M = \bigcup_{i=1}^7 \bigcup_{j=1}^{200} L_{ij}$$

где $L_{ij} = \{T, T, \dots\}_{ij}$ - множество заданий для i -го производственного центра в момент времени, соответствующий j -ой дискрете планирования, $T = p_k | 0$ - производственное задание, p_k - обозначение детали, подлежащей обработке в рамках данного задания, $k = 1 \dots 24$. Каждая деталь p_k характеризуется маршрутом обработки $r_k = \{(WC_i, t_1), (WC_j, t_2), (WC_l, t_3)\}$, представляющем собой

множество упорядоченных пар (WC_i, t_m) , где t_m - время обработки детали на соответствующем рабочем центре, $m = 1..3$. Максимальное значение m определяется структурой производства, в рассматриваемом случае, как следует из рисунка 3.3, все детали имеют маршруты, включающие ровно три обрабатывающих центра.

Для оценки влияния достоверности исходных данных на качество производственного плана рассмотрим три варианта ошибок в данных о технологических процессах и конфигурации изделия:

- Ошибки в определении времени выполнения производственной операции t_m .
- Ошибки в назначении рабочего центра WC_i для выполнения операции.
- Ошибки в определении конфигурации (в составе узла произвольная деталь заменяется на деталь из другого узла).

Количество ошибок в производственном плане будем оценивать следующим образом:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{200} e_{ij}}{Q} (\%), \quad \text{где } e_{ij} = \begin{cases} 1, & L_{ij} \neq L_{ij}^M \\ 0, & L_{ij} = L_{ij}^M \end{cases}$$

L_{ij}^M - производственное задание для i -го производственного центра в момент времени, соответствующий j -ой дискрете планирования, рассчитанное на основании исходных данных с внесенными ошибками одного из перечисленных выше видов, Q - общее количество непустых производственных заданий.

Полученные результаты представлены на рисунке 3.4, где кривая 1 представляет влияние ошибок в определении времени выполнения операций, кривая 2 – ошибок в назначении рабочих центров, кривая 3 – ошибок в определении конфигурации.

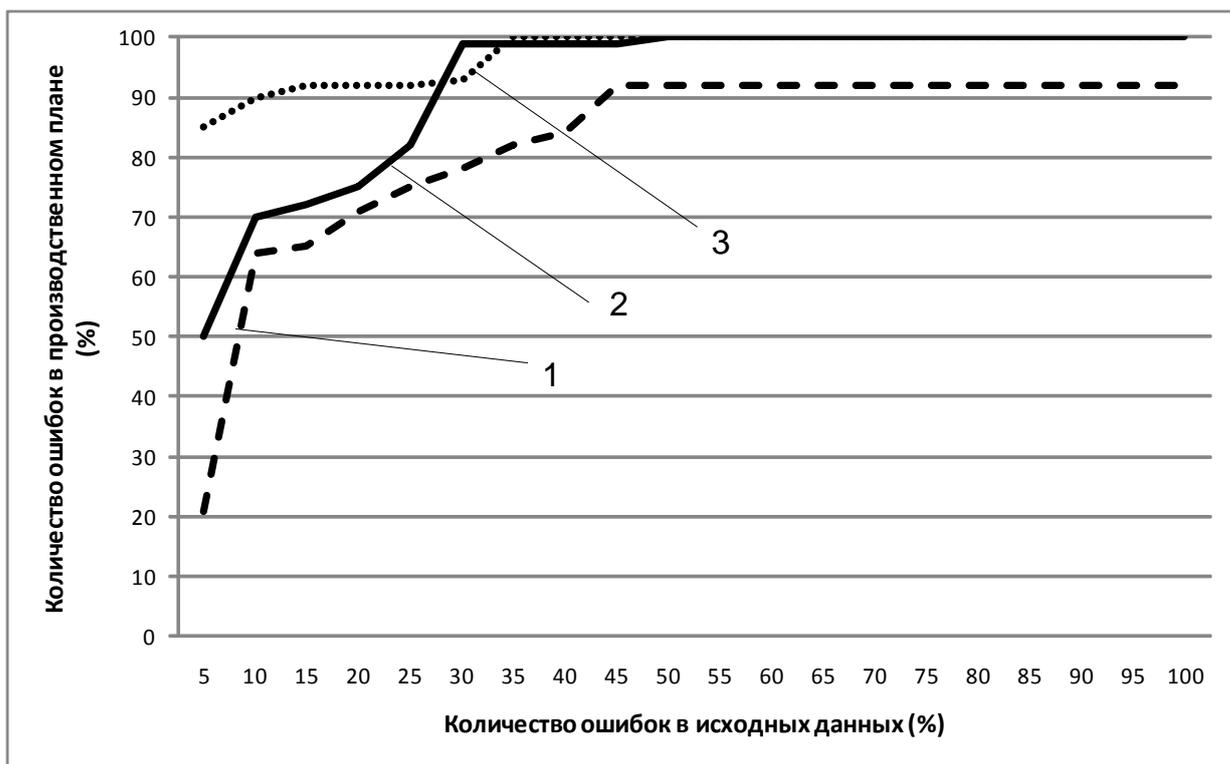


Рис. 3.4. Влияние ошибок в исходных данных на точность производственного планирования

Анализ этих данных показывает, что уже при ошибке в определении времени t_m для каждой десятой производственной операции 65% производственных заданий назначаются неверно. Величина E достигает своего максимального значения 92% при ошибке в определении t_m для 45% операций. Следует, однако, отметить, что в данном случае величина E никогда не достигает значения 100%, поскольку назначение первой операции в маршруте обработки всегда производится правильно. При ошибках в определении рабочих центров (кривая 2) увеличение количества неправильно спланированных рабочих заданий происходит гораздо интенсивнее и достигает 100% уже при уровне достоверности исходных данных 30%. Из графика, представленного кривой 3, также следует, что даже незначительный уровень ошибок в данных о конфигурации продукта приводит практически к полной недостоверности производственного

плана. Таким образом, производственная система является нелинейной, незначительные ошибки в исходных данных приводят к значительным погрешностям в принятии решений (планировании).

Из изложенного материала следует, что основным ограничением при создании эффективных систем управления производством, опирающихся на соответствующие информационные технологии, для предприятий отечественного высокотехнологичного машиностроения является несовершенство производственной и управленческой инфраструктуры. Несовершенство технологической инфраструктуры ведет к резкому увеличению объема производственных операций. Недостаточная зрелость бизнес-процессов, таких, как управление конфигурацией, приводит к недостоверности данных о составе продукта, что сказывается на качестве планирования еще более плачевно. Элементарные расчеты показывают, что попытки решения указанных проблем за счет увеличения числа специалистов, ответственных за качество информации, сводят на нет предполагаемый эффект от внедрения системы.

Таким образом, внедрение ERP без модернизации системы управления не может привести к повышению операционной эффективности. Необходимо выполнить очевидные организационные и инфраструктурные изменения. В первую очередь, это сокращение объема информации о производственных операциях и техпроцессах для обеспечения его достоверности. Очевидно, что, прежде всего, это должно явиться результатом технического перевооружения – приобретение новых станков приведет к увеличению обработки за одну установку детали, сокращению количества потребной оснастки, сокращению времени на перенастройку оборудования и т.д. Но, к сожалению, любое серьезное техническое перевооружение требует объема инвестиций, который отечественные предприятия позволить себе не могут. В таких условиях можно предложить два возможных сценария:

- Передача части производимой номенклатуры на аутсорсинг. При этом ключевые компетенции и сборку готового продукта необходимо сохранить внутри предприятия.
- Объединение нескольких операций техпроцесса в более крупные единицы планирования и контроля – назовем их «ключевые операции». Каждая такая ключевая операция может включать несколько традиционных, таких как транспортировка, подготовка рабочего места, обработка, промывка после обработки и т.д. При этом, однако, возникает ряд проблем, в частности с использованием сдельной системы оплаты труда. Если части ключевой операции выполняются разными рабочими, будет невозможно зафиксировать выполнение задания каждым из них, поскольку предполагается, что ключевая операция является атомарным объектом учета.

Вторым обязательным действием является постановка процесса управления конфигурацией.

Таким образом, для предприятий, решающих проблему улучшения управления производством за счет внедрения ERP системы, можно рекомендовать следующий обязательный набор действий по подготовке проекта:

- оценить объем информации, актуальность которой необходимо поддерживать, провести ревизию и формализацию процессов создания и обновления данных о конфигурации изделий и техпроцессах;
- включить в проект внедрения ERP системы деятельность по автоматизации процессов обновления данных о конфигурации и ключевых операциях;
- оценить перспективы доведения количества операций, которые будут основными единицами планирования и контроля (ключевых операций) до разумных для данного предприятия пределов. При этом могут рассматриваться различные комбинации сценариев технического перевооружения, производственного аутсорсинга, укрупнения учитываемых операций и т.д.;

- оценить изменения, которые придется сделать в сложившейся практике предприятия при переходе на управление и контроль по ключевым операциям (например, изменение схем оплаты труда).

В результате выполнения этих действий будет получен план модернизации, который позволит оценить наличие ресурсных и фазовых ограничений на возможной траектории развития предприятия.

3.2. АДАПТИВНОСТЬ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

3.2.1. Модель адаптивной информационной системы

Как уже было сказано, внедрение новых ИС, направленное на совершенствование операционных процессов, не должно препятствовать дальнейшему изменению этих процессов. Однако, на практике, с развитием системы повышается ее функциональность, сложность, ценность для бизнеса и снижается адаптивность (рисунок 3.5). Поэтому очень важно иметь такие ИС, которые позволяют очень легко изменять процессы компании. В идеальном случае это должно происходить за счет переконфигурирования ИС, или, в крайнем случае, при помощи частичной замены некоторых старых модулей на новые. Необходимо избегать ситуации, когда потребуются полная замена ИС из-за ее несовместимости с новыми принципами работы, поскольку это ведет к значительным затратам. Таким образом, надо обеспечивать такое развитие системы, которое комбинирует непрерывное увеличение ее ценности для бизнеса с непрерывным увеличением адаптивности.

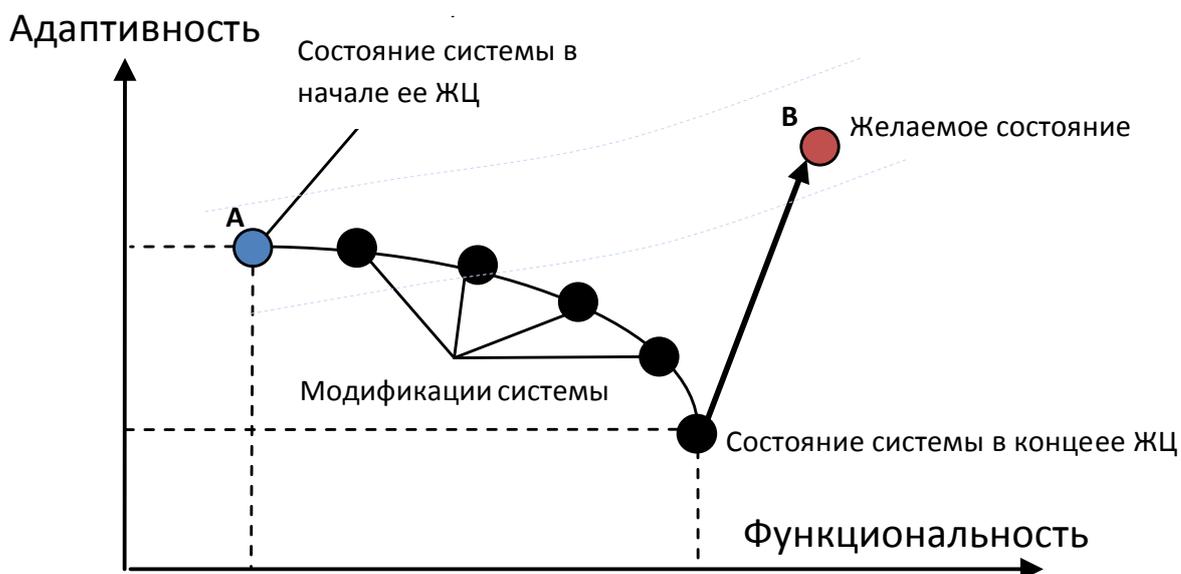


Рис. 3.5. Развитие функциональности системы

Для решения поставленной задачи необходимо построить модель адаптивной информационной системы, исследовать механизмы обеспечения адаптивности ИС, разработать метод измерения адаптивности.

Согласно работе [183] характеристики любой системы можно разбить на структурные и операционные. Структурные свойства определяются архитектурой системы и используемыми технологиями, они закладываются на стадии проектирования, не зависят от внешних условий и их крайне сложно изменить. Примером таких свойств является число и объем цилиндров для автомобильного двигателя. Операционные характеристики (например, скорость автомобиля и расход топлива) зависят не только от внутренних параметров, но и от внешних условий, они могут быть изменены за короткое время.

Для того чтобы выделить структурные параметры ИС необходимо исследовать процесс ее изменения, модель которого была предложена в статье [153], рассмотренной в разделе 1.3. Согласно этой работе, структура ИС, как и любой другой социотехнической системы, определяется сочетанием четырех взаимо-

действующих согласованных компонентов: задачи, акторы, технологии и структура.

Поскольку структурные свойства, определяющие адаптивные способности системы, закладываются на стадии ее проектирования, постоянный контроль не ухудшения адаптивных качеств должен быть частью поведенческого паттерна, определяющего реакцию на новые инициативы и запросы на изменения в области ИТ. Стратегия обеспечения адаптивности должна быть частью общей ИТ-стратегии, независимо от того в каком виде последняя институционализована в организации – как план или как принцип поведения. С точки зрения сокращения затрат на изменения необходимо проектировать компоненты ИС и их связи так, что бы как можно большее количество внешних событий компенсировалось инкрементальными изменениями. Варианты такого проектирования будут рассмотрены в следующем разделе.

Операционные параметры адаптивной организации исследованы в [184], к их числу относятся: время и затраты на проведение изменений, объем изменений, устойчивость процесса проведения изменений. Там же предложены метрики для измерения всех этих параметров применительно к производственным системам.

Таким образом, опираясь на результаты работ [153,183,184] можно предложить модель адаптивной информационной системы, представленную на рисунке 3.6.

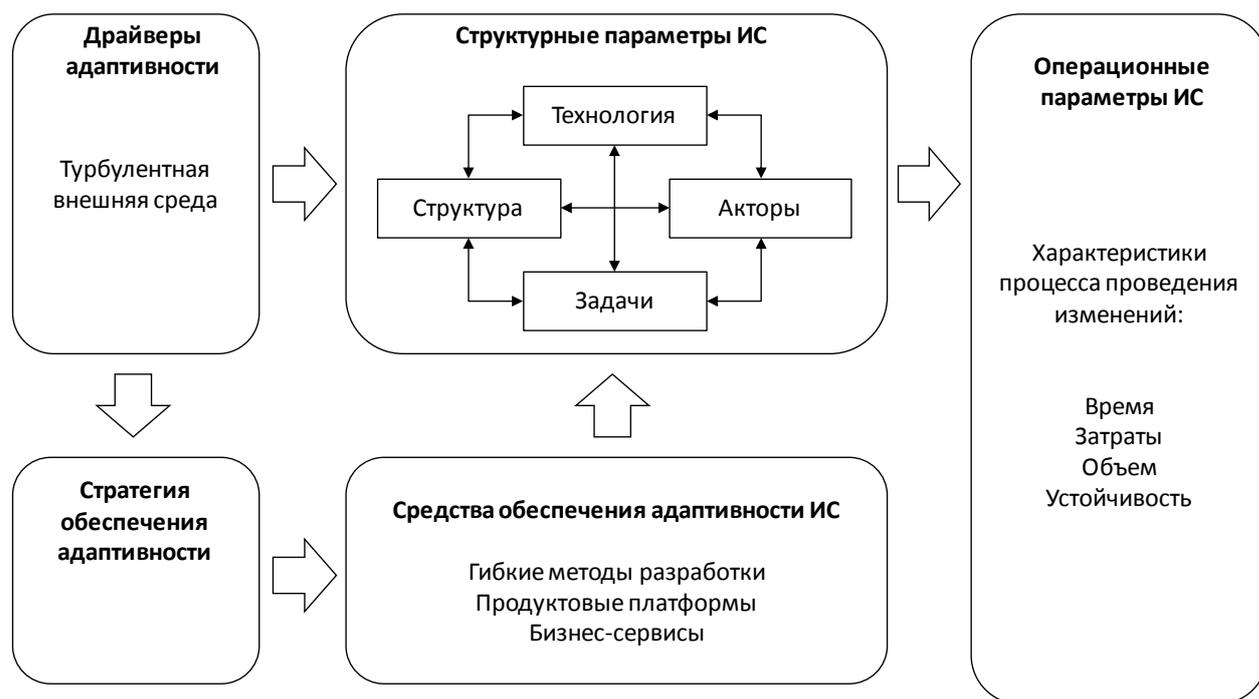


Рис. 3.6. Модель адаптивной информационной системы

3.2.2. Методы обеспечения адаптивности корпоративной ИС

Общие закономерности создания систем различного рода выделены в методологии аксиоматического проектирования [185]. Этот подход (рисунок 3.7) выделяет несколько независимых доменов (домен потребителей, а также функциональный, физический и процессный домены), каждый из которых характеризуется вектором определенных параметров (соответственно атрибуты потребителя [CA], функциональные требования [FR], параметры проектирования [DP] и переменные процессов [PV]). Во время проектирования производится отображение параметров одного домена на параметры другого. Если связи между параметрами верхнего уровня недостаточно детализированы, проектировщик вынужден их декомпонировать, возвращаясь к предыдущему домену и обратно, используя движение зигзагом.

Аксиоматическое проектирование построено на двух аксиомах. Первая (аксиома независимости) требует поддерживать независимость функциональных требований. Собственно проектирование продукта (системы) это отображение вектора функциональных требований $[FR]$ на вектор параметров проектирования $[DP]$. В случае ИС проектными решениями могут быть декомпозиция ее на сервисы, программные модули, объекты и т.п. Обсуждаемое отображение может быть представлено в виде произведения $[FR] = [A][DP]$, где $[A]$ – матрица проектирования. Вид этой матрицы определяет качество проектирования. В идеальном случае она должна быть диагональной, т.е. каждому функциональному требованию должно соответствовать только одно проектное решение. В случае треугольной матрицы $[A]$, каждое функциональное требование влияет на несколько проектных решений, но обратного влияния нет. Эти два случая удовлетворяют аксиоме независимости. Во всех прочих случаях одно проектное решение может быть реализацией нескольких функциональных требований, что приводит к взаимному влиянию функциональных требований друг на друга.

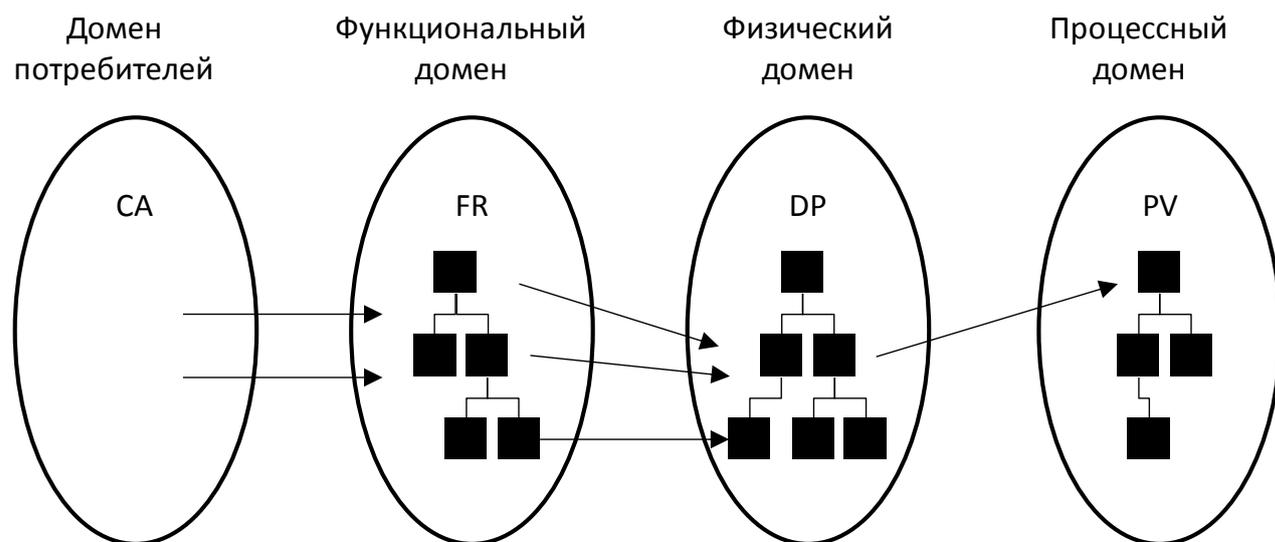


Рис. 3.7. Основные положения аксиоматического проектирования.

Аналогичные рассуждения можно повторить и для разработки технологий изготовления продукта, во время которой вектор параметров проектирования

[*DP*] отображается на вектор параметров процессного домена [*PV*], но при обсуждении ИС это отображение обычно не рассматривается.

Вторая аксиома (информационная) требует минимизировать объем информации в процессе проектирования или, не вдаваясь в детали, увеличить вероятность удовлетворения функциональных требований. Информация в данном случае определяется как $I_i = -\log_2 p_i$, где p_i – вероятность удовлетворения функционального требования FR_i . Когда необходимо одновременно удовлетворить n требований, лучшим проектным решением будет то, которое соответствует минимальному объему информации $I_{min} = \mathbf{min}\{\sum_{i=1}^n I_i\}$.

Среди методов, обеспечивающих поддержание адаптивности корпоративной информационной системы, можно выделить:

- распространение методов гибкой разработки программного обеспечения на корпоративный уровень;
- использование единой технологической платформы, на базе которой создаются подсистемы корпоративной ИС;
- переход от оказания ИТ-услуг и поддержки бизнес-приложений к предоставлению ИТ-сервисов.

3.2.3. Обеспечение адаптивности корпоративной ИС за счет использования гибких методов разработки

Рассмотрение принципов проектирования адаптивных систем необходимо начать с обсуждения возможности распространить методы гибкой разработки ПО (XP, Scrum, RUP и др.) на создание и развитие корпоративной ИС системы в целом, поскольку эти методы достигли уже значительной степени зрелости [150]. Однако при этом возникает ряд ограничений, связанных с масштабом проектов. Фактически, команды разработчиков, следующие гибким методам,

используют свою способность чрезвычайно быстро создавать программный код для выяснения и уточнения требований пользователей. Прототипы системы различного уровня зрелости регулярно демонстрируются заказчикам и уточняются в соответствии с их замечаниями. Отсюда вытекают особенности организации процесса разработки – небольшие команды, сосредоточенные в одном месте, интеграция заказчика в такую команду, отказ от утвержденных спецификаций до начала разработки и т.д. Все это позволяет разрабатывать относительно небольшие слабо интегрированные в корпоративную ИС приложения.

Задача распространения гибких методов на корпоративную ИС исследована в [186], где отмечается, что в таком случае возникают вопросы координации отдельных распределенных команд, согласования релизов, предварительной разработки общей архитектуры системы и т.п. Решение всех этих вопросов в рамках исключительно модели гибкой разработки невозможно, появляется потребность в создании единого координирующего и планирующего органа. Вторым обязательным условием реализации гибких методов на корпоративном уровне является соблюдение требований первой аксиомы аксиоматического дизайна, только это позволит обеспечить относительную автономность команд разработчиков, отвечающих за реализацию различных функциональных требований. В противном случае решения групп будут влиять друг на друга, что радикально усложнит их взаимодействие.

Таким образом, необходимо разрешить противоречие, с одной стороны, команды разработчиков должны быть полностью независимы, с другой – их деятельность должна быть синхронизирована. Вариант организации ИТ службы, удовлетворяющий обоим этим условиям, будет рассмотрен в разделе 3.2.6.

3.2.4. Обеспечение адаптивности корпоративной ИС за счет использования технологической платформы

Второй способ поддержания адаптивности ИС базируется на технологическом компоненте системы. Это концепция платформы, на базе которой создается семейство продуктов, причем и платформа, и продукты должны управляемо эволюционировать [165]. Процессы разработки и поддержки платформы и приложений на ее базе должны быть разделены. Под платформой здесь понимается не программная среда типа Java или .Net, а некий набор слабо связанных бизнес-объектов, средств интеграции и автоматизации бизнес-процессов, которые могут быть достаточно просто переконфигурированы в зависимости от текущих задач предприятия. Существующие индустриальные тренды (SOA, BPM, model business management - MBM, бизнес-правила, отделение реализации от интерфейса и т.д. [187]) позволяют создавать системы, которые могли бы в дальнейшем легко реконфигурироваться.

На роль такой платформы может претендовать также и ERP система. При этом, однако, надо оценивать степень простоты и быстроты внесения изменений в текущую конфигурацию. Большинство предлагаемых сейчас на рынке ERP систем данному требованию не удовлетворяют. Эти системы имеют значительное количество перекрестных связей между модулями, внесение даже незначительных изменений связано с большими трудностями. Можно утверждать, что их дизайн не соответствует аксиоме независимости аксиоматического проектирования. Фактически эти системы жестко фиксируют существующую на момент их внедрения бизнес-практику, их изменение сопряжено со значительными затратами, основная доля которых приходится на переконфигурирование ERP системы.

Самый простой путь к обеспечению адаптивности не только информационной, но и любой другой системы, это разделение ее на относительно слабо связанные модули, которые могут развиваться независимо. Поэтому проблема

проектирования и управления модульными системами с адаптивным поведением является центральной в исследованиях по теории организации. Однако, как отмечено в работе [188], при этом собственно вопросу оптимального выделения модулей уделяется мало внимания. Проектировщики сложных систем имеют дело с четырьмя видами решений:

1. разделение системы на «правильное» количество модулей;
2. «правильное» отображение параметров проектирования на модули;
3. «правильная» организация взаимодействия элементов внутри модуля;
4. «правильная» организация интерфейсов между модулями.

Общего решения этой задачи для систем любого вида, видимо, не существует. Тем не менее, в некоторых областях человеческой деятельности достигнут определенный успех в формализации разделения системы на модули. В частности, в строительстве существует концепция скользящих слоев (shearing layers) выдвинутая британским архитектором Ф. Даффи, основное внимание в своих работах уделяющим гибкому использованию рабочего пространства. Широкую известность этот подход получил после выхода книги С. Бренда «Как обучается здание: что происходит после того, как оно построено» [189].

Согласно этой концепции здание рассматривается как комбинация нескольких слоев, которые существуют в различных масштабах времени, и обмен энергией, веществом и информацией между ними сведен к минимуму (таблица 3.2). Поэтому развитие таких слоев происходит автономно, без взаимодействия друг с другом. В быстрых слоях осуществляется поиск новых возможностей, медленные обеспечивают непрерывность, они служат инфраструктурой. Здание может адаптироваться к изменяющимся условиям, если обеспечено свободное «скольжение» слоев друг относительно друга, т.е. изменение быстрых слоев не затормаживается влиянием более медленных, и быстрые слои не деформируют медленные. Именно это обеспечивает максимальную адаптивность.

Таблица 3.2. Скользящие слои здания

Слой	Описание	Жизненный цикл
Окружающая среда (site)	Географический пункт, местоположение в городе, юридически определенный объект, чьи границы и контекст превосходят время жизни сменяющихся друг друга поколений зданий.	Вечно
Структура (structure)	Фундамент и несущие элементы, изменение которых либо невозможно, либо связано с очень большими затратами.	30-300 лет
Наружная поверхность (skin)	Внешние поверхности здания	20 лет
Сервисы (services)	Рабочие «кишки» здания - кабельные коммуникации, электропроводка, системы пожаротушения, вентиляция, кондиционирование и отопление, механизмы, такие как лифты и эскалаторы.	7-15 лет
Планировка (space plan)	Элементы внутреннего интерьера – ненесущие стены, перегородки, полы, двери.	3-30 лет
Оборудование (stuff)	Стулья, столы, телефоны, кухонное оборудование, картины – все вещи, которые перемещаются ежедневно.	Изменяются постоянно

Возможность применить аналогичную модель для описания адаптивных свойств информационной системы выглядит очень привлекательно, поскольку практика подсказывает, что элементы ИС также имеют различные жизненные циклы. Наиболее общий пример – различие между моделью данных и собственно данными. Данные изменяются постоянно, в то время как модель остается относительно стабильной долгое время. Ключевая проблема при создании аналогичной модели для ИС – выделение слоев, изменяющихся в разном масштабе времени, и любой обмен между которыми минимален.

Авторы работы [190], рассматривая задачу управления требованиями при разработке программных систем, выделили четыре элемента, которые изменяются с разными скоростями. В порядке перечисления от наиболее стабильных элементов к более изменчивым это:

- Паттерны - элементы функциональности, которые остаются неизменными в течение значительного времени. Они инкапсулируют данные, базовые общие функции (такие, как add, find, get и т.д.) и основные функции, специфичные для конкретного домена данных, например «зарезервировать» для паттерна «товар».
- Функциональные ограничения, которые связаны с поддержкой выполнения пользователями их задач, и остаются неизменными, пока не меняются бизнес-процессы.
- Нефункциональные ограничения, которые диктуются требованиями качества (например, время реакции, доступность и т.д.). Изменения этих ограничений не зависят от функциональности и возникают тогда, когда система перестает удовлетворять возрастающим требованиям по качеству, например при увеличении числа пользователей.
- Бизнес-правила, которые меняются наиболее часто, т.к. именно они обеспечивают реакцию организации на изменения во внешней среде. Напри-

мер, руководство компании может решить сократить нормативное время обработки заказа от покупателя с 1 дня до 4 часов.

Такая классификация слоев, безусловно, представляет практическую ценность, но она применима только к программным системам. Если мы обсуждаем корпоративную информационную систему как единое целое, необходимо расширить рамки рассмотрения.

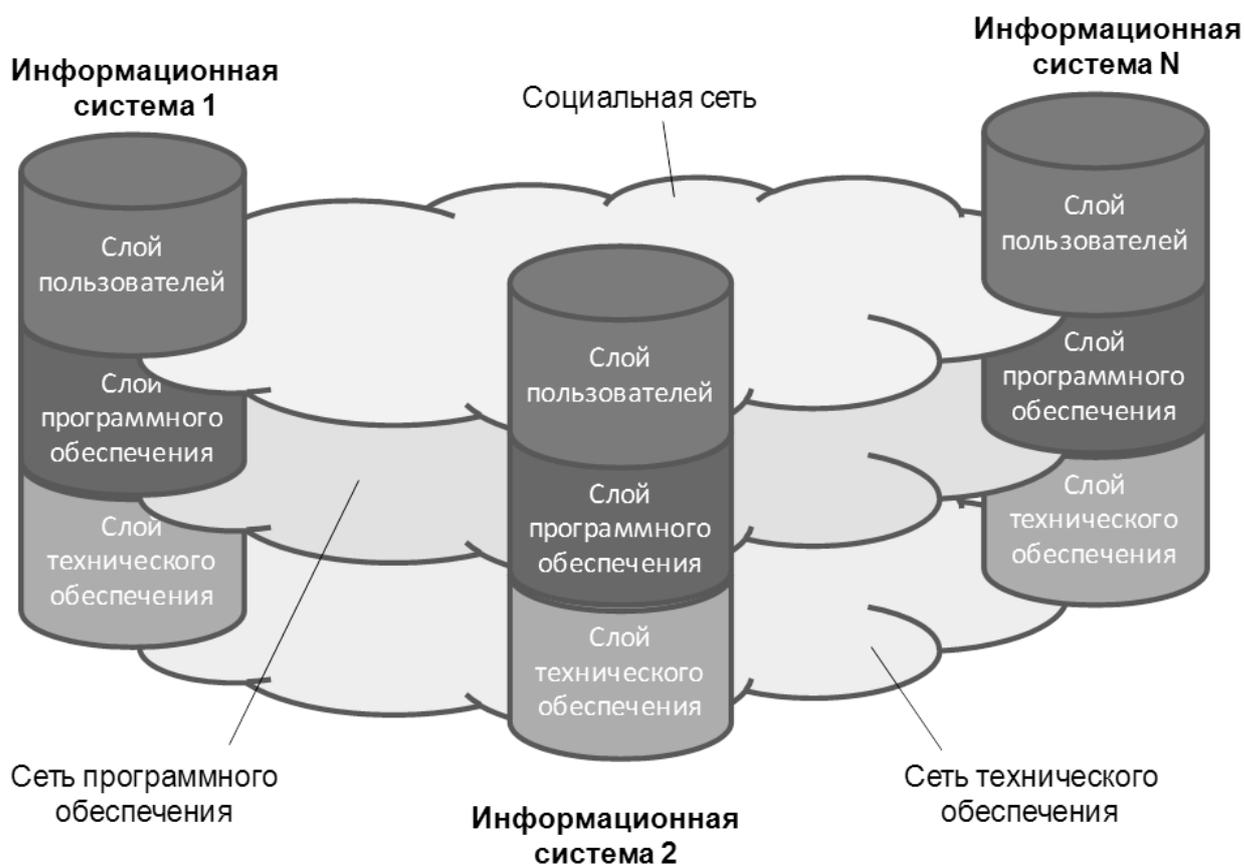


Рис. 3.8. Подсистемы корпоративной ИС

Корпоративная ИС может рассматриваться как набор проблемно-ориентированных подсистем (ERP, PDM и др.), которые работают совместно и формируют единое целое. Каждая подсистема имеет связи с ресурсами и другими подсистемами, что приводит к сложному взаимодействию между ними. Можно выделить три сети, обеспечивающие связь между системами (рис. 3.8)

[191]. Физическая сеть связывает элементы оборудования и обеспечивает передачу данных между системными платформами. Программная сеть предоставляет инструменты для трансформации передаваемых данных в информацию, которая совместно используется сотрудниками организации. Социальная сеть обеспечивает взаимодействие людей, которые также являются компонентом корпоративной системы. Изменения в любой сети, вызванные внешними причинами, должны сопровождаться соответствующими изменениями в других сетях. Поэтому каждая подсистема корпоративной ИС может рассматриваться как состоящая минимум из трех частей – техническое обеспечение, программное обеспечение и пользователи. Отметим, что это близко к традиционному представлению архитектуры предприятия [65] в виде четырех доменов (бизнес-процессы, данные, приложения и техническая архитектура [66]), но в данном случае домен данных и приложений объединен в один. К сожалению, такой таксономии недостаточно, поскольку она не позволяет выделить элементы с различными циклами изменения.

Развитием этого подхода в ИТ отрасли является широкое распространение виртуализации. В основном, это отделение слоя программного обеспечения от технического. Это позволяет несколько упростить процессы развертывания и миграции приложений, но на упрощение изменения самих приложений никак не влияет. При разработке приложений также выделяются относительно независимые программные компоненты, имеющие собственный жизненный цикл (СУБД, сервера приложений, фреймворки и т.д.), однако эти вопросы решаются при проектировании архитектуры прикладных систем и не рассматриваются в контексте общего влияния на адаптивность корпоративной ИС.

Также следует заметить, что в большинстве организаций подсистемы проектируются, реализуются и оптимизируются для решения относительно локальных проблем, очень редко присутствует единый взгляд на их сочетание, как корпоративную систему. Это объясняется тем, что не существует информа-

ционных систем, способных обеспечить все потребности достаточно крупной организации, приходится комбинировать продукты нескольких поставщиков. В результате подсистемы используют различные форматы и семантику данных, созданы с использованием разных языков программирования, реализуют несогласованные модели бизнес-процессов и требуют несовместимых программных платформ. Все это приводит к проблеме интеграции. В [192] выделено пять уровней интеграции:

- на уровне организации (согласование целей);
- на уровне процессов (координация);
- на уровне приложений (интероперабельность);
- на уровне данных (общее использование или data sharing);
- на сетевом уровне (физическая совместимость аппаратных платформ и операционных систем).

Каждая подсистема имеет собственное множество пользователей, которое может пересекаться с множествами пользователей других подсистем. Изменения требований пользователей является одной из причин изменения подсистем, другая причина – это развитие технологий. Однако возможность изменений подсистемы ограничена необходимостью взаимодействовать с другими подсистемами. В результате, изменение, возникшее в одной подсистеме, может повлиять и на другие и даже на всю корпоративную систему.

Поскольку каждая система развивается в контексте корпоративной среды, мы можем провести аналогию между информационной подсистемой в организации и отдельным зданием, контекст для которого определяет город. Для того чтобы определить скользящие слои информационной системы, рассмотрим функции компонент здания и выделим соответствующие компоненты в ИС.

Оборудование (stuff) используют работники организации («пользователи здания») для выполнения своих повседневных задач и достижения операционных целей. Проблемно-ориентированная подсистема корпоративной ИС предоставляет для этой цели такие инструменты как формы, используемые для создания и манипулирования информационными объектами, и отчеты для консолидации и анализа данных. Этому слою принадлежат также бизнес-правила и нефункциональные ограничения, которые выделены в [188]. Интеграционный механизм на этом уровне – согласование операционных целей, которые в данном случае следует отличать от стратегических. Последние согласуются на уровне организации.

В слое планировки (space plan) создаются рабочие пространства, которые предназначены для совместного размещения организационных подразделений, рабочих групп, работников, выполняющих схожие операции, обеспечения им доступа к совместно используемым информационным и материальным объектам и изоляции их от других групп сотрудников и принадлежащих им объектов. С одной стороны рабочее пространство в корпоративной ИС создают персональные устройства (ПК, ноутбуки, планшеты и т.д.) с клиентским программным обеспечением, поддерживающим доступ к различным функциям при помощи меню, гиперссылок, панелей задач и т.п. С другой стороны рабочее пространство связано с ролью пользователя, которая управляется системой контроля доступа. Функциональные ограничения, диктуемые необходимостью поддерживать выполнение пользователями их задач, должны рассматриваться на этом уровне. Интеграция здесь осуществляется на уровне координации процессов.

Слой сервисов (services) обеспечивает поддержку функционирования рабочих пространств (например, кондиционирование) и оборудования (например, телефонная сеть). Аналогиям в ИС являются элементы, формирующие ядро приложений: библиотеки, схемы данных, корневые объекты, паттерны в термини-

нах статьи [190]. На данном уровне интеграционные возможности не выделяются, они полностью определены функциями следующего слоя.

Наружная поверхность (skin) определяет, как здание вписывается в общий архитектурный облик города, и как оно использует элементы городской инфраструктуры. В случае ИС можно сказать, что этот слой отвечает за репрезентацию подсистемы с точки зрения других подсистем, другими словами, за ее интеграцию в общее целое. Эти функции обеспечиваются интероперабельными свойствами системы, включая интерфейсы, протоколы, возможности интеграции с корпоративным ПО промежуточного уровня. Интеграционный уровень здесь либо интероперабельность приложений, обеспечиваемая использованием таких механизмов как промежуточное ПО, шины данных, либо простой экспорт–импорт данных.

Структура (structure) здания это фундамент, несущие стены и другие силовые элементы, которые невозможно заменить за время существования здания. Они соответствуют технической инфраструктуре, которая формирует фундамент ИС. Это может быть: центр данных и его инфраструктура, основные сервера, системы хранения данных, ядро сети, СУБД, программные платформы (такие как Java и .Net). Интеграция соответствует сетевому уровню.

В случае ИС сайт (site) – это организация, которая формирует контекст для всех корпоративных систем, включая информационные, управленческие, систему распространения знаний и т.д. Все эти рассуждения обобщены в табл. 3.3. и рис. 3.9.

Таблица 3.3. Скользящие слои информационной системы

Слой	Компонент подсистемы ИС	Компоненты программной архитектуры [190]	Уровень интеграции [192]
Окружающая среда (site)	Организация	-	Согласование стратегических целей
Структура (structure)	Аппаратные и программные платформы	-	Физическая гетерогенность
Наружная поверхность (skin)	Интеграционные возможности, включая ПО промежуточного слоя	-	Интеграция приложений, совместное использование данных
Сервисы (services)	Корневые объекты, фреймворки, схемы данных	Паттерны	-
Планировка (space plan)	Персональные устройства, рабочие пространства, меню, гиперссылки, списки задач	Функциональные ограничения	Координация процессов
Оборудование (stuff)	Формы для манипулирования объектами, отчеты для консолидации и анализ данных.	Нефункциональные ограничения, бизнес-правила	Согласование операционных целей

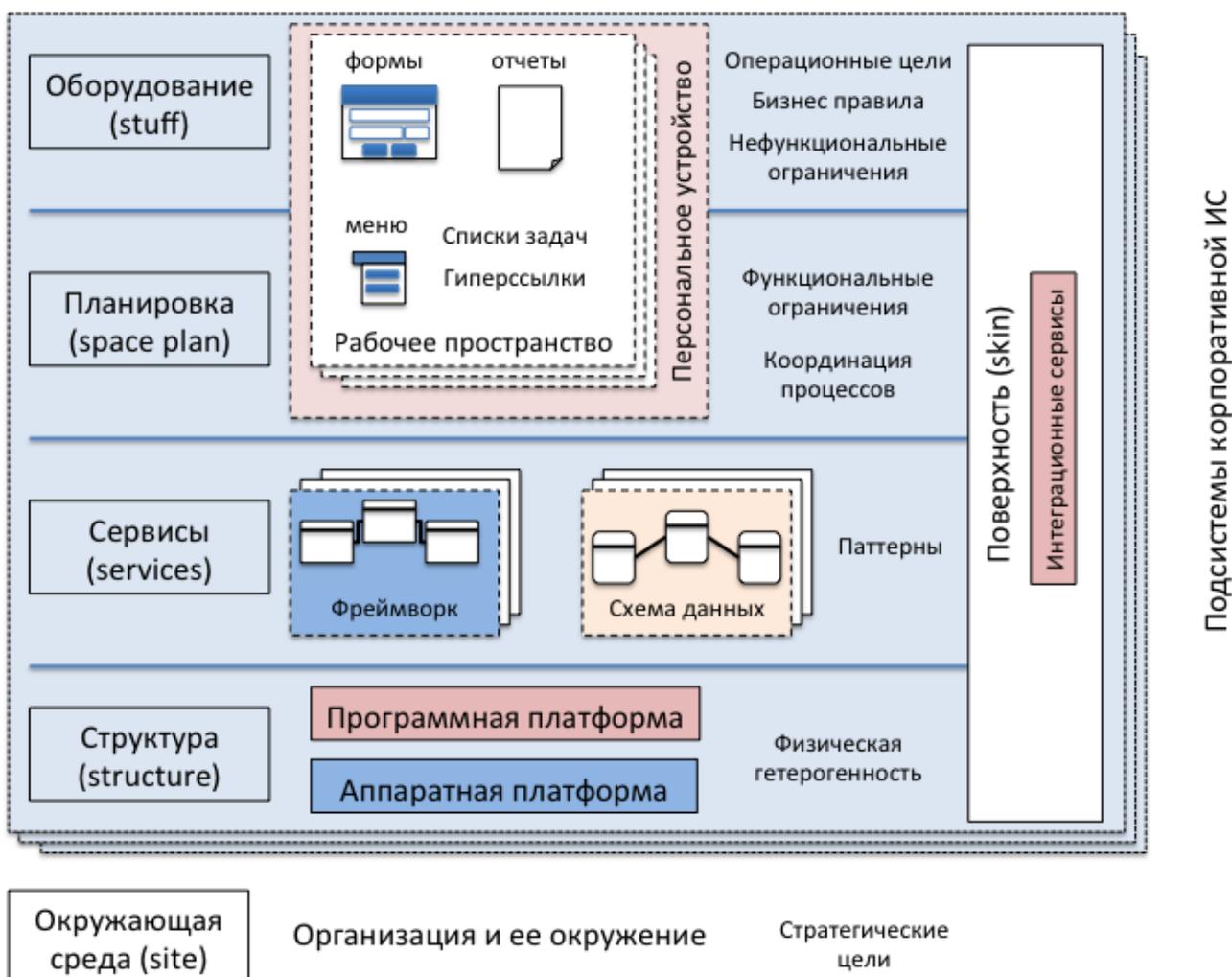


Рис. 3.9. Представление корпоративной ИС в виде скользящих слоев

Предложенная модель скользящих слоев корпоративной ИС позволяет сделать несколько заключений о том, как ее подсистемы адаптируются к изменяющимся условиям. Изменения могут быть индуцированы бизнес-требованиями или новыми возможностями, которые предоставляет развитие технологий. Большинство новых идей появляется в наиболее изменчивых слоях – это «Оборудование» и «Планировка». Эти слои обеспечивают выполнение повседневных обязанностей, организуют размещение и предоставление доступа к соответствующим инструментам, формируют пространство для пользователей с одинаковыми функциями или в соответствии с бизнес-процессом. Именно

за счет изменения этих слоев информационной системы осуществляется поиск и реализация новых возможностей. Однако надо заметить, что объекты слоя «Оборудование» (операционные цели, бизнес-правила, нефункциональные ограничения и, следовательно, формы и отчеты) меняются гораздо интенсивнее, чем объекты «Планировки» (процессы, функциональные ограничения, роли пользователей, рабочие пространства, персональные устройства). Это можно объяснить тем, что изменения первых вызываются, в основном, турбулентностью социальной составляющей организации. Эти изменения происходят ежедневно и непрерывно. Изменения вторых порождаются в большей степени появлением новых технологий. Основываясь на скорости появления новых персональных устройств, обновлении их операционных систем и соответствующих средств разработки, можно утверждать, что цикл изменений слоя «Планировка» составляет от 1 года до 3 лет.

Слои «Сервисы» и «Структура» значительно стабильнее, поскольку их изменения связаны с большими затратами, и технологии, которые являются основными драйверами изменений также обновляются с меньшей интенсивностью. На основе истории развития инфраструктуры вычислений (мейнфрейм, миникомпьютер с терминалами, ПК в среде клиент-сервер, персональное устройство в облаке) можно сделать заключение, что средний период значительных изменений в слое «Структура» это 15 лет. Минорные изменения «Структуры» (такие как появление новых версий серверных операционных систем или систем управления базами данных) могут происходить чаще, каждые 3-5 лет. «Сервисы» также зависят от технологий (COBOL, 4GL и реляционные базы данных, программные платформы) и достаточно стационарных бизнес-требований, реализованных как библиотеки и фреймворки. Скорость их изменения составляет примерно 5 лет.

Изменения «наружной поверхности» ИС определяются развитием таких технологий, как Message-Oriented Middleware (MOM), Enterprise Service Bus (ESB), Service-Oriented Architecture (SOA) и происходят каждые 5-7 лет.

«Окружающая среда», которая представляет организацию в целом, может существовать десятки или даже сотни лет. Ее цикл изменений гораздо больше, чем цикл информационных систем.

Таким образом, существует несколько традиционных способов рассмотрения сложных корпоративных ИС, которые строятся за счет интеграции предметно-ориентированных систем. Во-первых, согласно подходу, базирующемуся на архитектуре предприятия [65], выделяются домены (как правило, это бизнес-процессы, данные, приложения и технические компоненты [66]), которые могут рассматриваться относительно независимо. Во-вторых, каждая предметно-ориентированная подсистема (или приложение в терминах архитектуры предприятия), входящая в корпоративную ИС, может рассматриваться как набор функциональных компонент (СУБД, сервер приложений, подсистема безопасности и т.п.). В-третьих, очень часто выделяется специальная подсистема интеграции, основанная, например, на корпоративной шине данных, служащая для объединения предметно-ориентированных подсистем.

Здесь предложен дополнительный подход на основе выделения в корпоративной ИС слоев, изменяющихся с разной скоростью, причем эти слои могут объединять элементы, относящиеся к различным доменам архитектуры предприятия. Например, слой «Планировка» включает персональные устройства и средства навигации в приложениях, которые в архитектуре предприятия относятся к доменам «Техническая архитектура» и «Архитектура приложений» соответственно. Основная ценность предложенного подхода заключается в том, что он позволяет разделить требования, относящиеся к различным слоям подсистем. Соответственно, реализация этих требований также должна быть разде-

лена, что в итоге обеспечит возможность независимого изменения слоев и, как результат, высокую степень адаптивности всей корпоративной ИС.

3.2.5. Обеспечение адаптивности корпоративной ИС на основе предоставления бизнес-сервисов

Третий способ обеспечения адаптивности, более социотехнический, это концентрация не на функциях ИС и даже не на поддержке бизнес-процессов, а на предоставлении сервисов. Сервис можно трактовать как бизнес-процесс с подписанным соглашением об уровне услуг, где указаны поставщик и потребитель, ключевые параметры оказания услуги, включая стоимость, время восстановления и т.д. Разница в подходах, ориентирующихся на процесс и на сервис, исследована в статье [193] (см. таблицу 3.4).

Таблица 3.4. Параметры процессов и сервисов

	Процесс	Сервис
Результат	Выходные параметры процесса	Ценность для потребителя
Потребитель	Внутри или вне организации поставщика	Вне организации поставщика
Измерение	Не обязательно	Требуется
Стоимость	Не обязательно	Требуется
Учет	Внутренний, метрики поставщика	Внешний, метрики потребителя

Таблица 3.5. Уровни зрелости ИТ–сервисов

Уровень зрелости	Описание	Потребители сервиса	Кто контролирует
0	Обеспечивается общее функционирование ИТ – инфраструктуры и информационных систем без формального соглашения об уровне сервиса (SLA)	Явно не определены	Руководитель ИТ– подразделения
1	Предоставляются инфраструктурные сервисы (сервисы технической архитектуры - электронная почта, управление файлами и печатью и т.д.)	Сотрудники организации	Руководитель ИТ– подразделения
2	Предоставляются сервисы поддержки бизнес-приложений	Сотрудники организации	Владельцы приложений
3	Предоставляются сервисы поддержки бизнес-процессов для пользователей организации	Сотрудники организации	Владельцы процессов
4	Сервисы поддержки бизнес-процессов предоставляются не только внутри, но и вне организации, включаются партнеры, поставщики и клиенты	Сотрудники организации, ее партнеров, поставщиков, клиентов.	Владельцы процессов

В этом случае ИС становится лишь одним из инструментов, обеспечивающих сервис. В данном случае речь идет о дизайне в соответствии с аксиомой независимости не только технического компонента ИС, но и ее социальной части – людей и организационных структур. В целом такой подход следует социотехнической теории, которая в качестве реакции на непредсказуемость внешней среды рекомендует не повышать внутреннюю сложность организации, а уменьшать внутренний контроль и координацию (так называемая стратегия простой организации и сложных задач [194]). Следствием этого подхода является замена традиционной иерархии полуавтономными группами, которые полностью отвечают за все операции в рамках определенного сервиса.

В соответствии со сказанным можно предложить модель оценки зрелости ИТ-сервисов (таблица 3.5) на основе их сопоставления с уровнями архитектуры предприятия (бизнес-процессы, данные, приложения и техническая архитектура).

3.2.6. Организация ИТ-службы, ориентированная на поддержание адаптивности корпоративной ИС

Использование одного или нескольких из перечисленных способов проектирования адаптивных ИС (использование гибких методов разработки на корпоративном уровне, ориентация на технологическую платформу, использование сервисной модели) является стратегическим выбором и фактически определяет ИТ-стратегию как перспективу (см. Главу 1).

Предложенный подход к выделению сервисов позволяет уточнить стратегическую модель повышения уровня зрелости инфраструктурных сервисов, предложенную компанией Microsoft [63] и представленную на рисунке 1.3 в

Главе 1. На основании таблицы 3.5 в корпоративной ИС могут быть выделены не только инфраструктурные сервисы, но и сервисы поддержки бизнес-приложений и бизнес-процессов, для каждого из них может быть определен достигнутый и требуемый уровни зрелости. Это позволяет сформировать план действий по повышению зрелости ИС, пример такого плана приведен на рисунке 3.10.

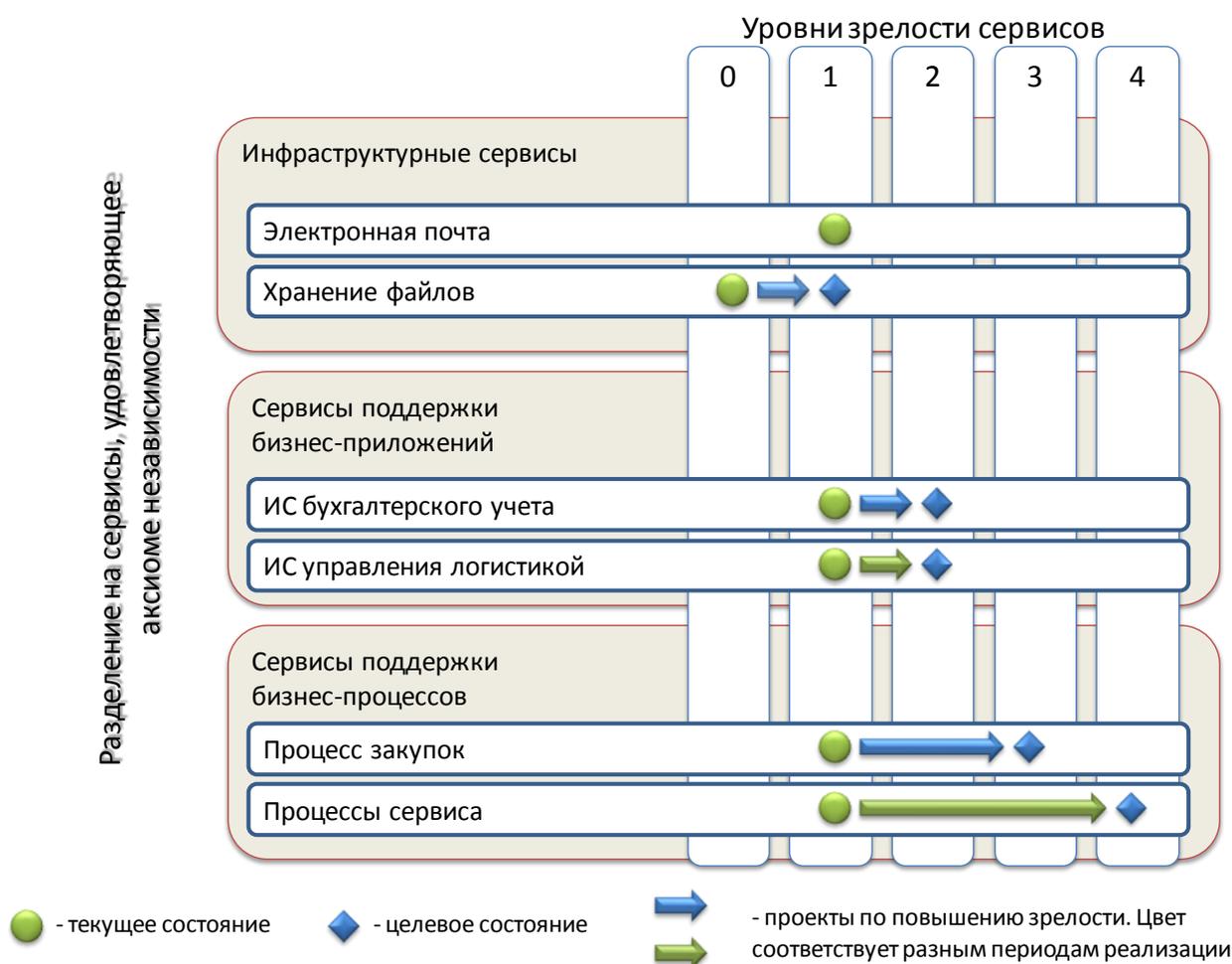


Рис. 3.10. Пример плана повышения зрелости ИТ-сервисов

Если выделенные сервисы удовлетворяют аксиоме независимости, полученный план позволяет сформировать институциональную основу стратегического управления адаптивностью корпоративной ИС (рисунок 3.11). Создание такого плана должно находиться в ведении органа, ответственного за коорди-

нацию и планирование развития ИС. Независимость сервисов позволяет поручить их развитие различным группам, использующим методологию гибкой разработки (agile методы), которые обеспечивают быстрое изменение сервисов в соответствии с меняющимися требованиями.



Рис. 3.11. Стратегия поддержания адаптивности корпоративной ИС

Наличие единой технологической платформы обеспечивает повторное использование объектов, созданных разными группами, а также их унифицированное представление в пользовательском интерфейсе прикладных систем, об-

легчает интеграцию данных различных приложений, процессов и бизнес-областей.

Отметим, однако, что модель, представленная на рисунке 3.11, в настоящий момент трудно реализуема на практике, особенно в крупных организациях. Это связано с тем, что сегодня на рынке отсутствуют программные продукты, которые могут претендовать на роль технологической информационной платформы, обеспечивающей простое создание сервисов, поддерживающих все виды деятельности многопрофильной корпорации. Поэтому, в ближайшей перспективе предложенная модель поддержания адаптивности, скорее всего, будет реализовываться в подразделениях, отвечающих за тот или иной относительно обособленный функциональный сегмент бизнеса.

3.3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ

3.3.1. Метод оценки эффективности внедрения ИС на основе энтропии параметров бизнес-процессов

Предложенная в разделе 2.1 модель эволюции организации в изменяющейся внешней среде, описывающая генерацию, отбор и адаптацию новых принципов поведения, построена на основании положений эволюционной экономической теории. Согласно этой теории организации используют стандартные рутинные реакции на события во внешней среде, поэтому непрерывный поиск новых более эффективных рутин – ключ к лидерству. В то же время результат использования любой рутины непредсказуем, поскольку внешние условия всегда полностью неизвестны, т.е. поведение организации является ограничено рациональным.

Согласно определению ISO / ГОСТ [158], ИС - это система обработки информации, работающая совместно с организационными ресурсами, такими как люди, технические средства и финансовые ресурсы, которые обеспечивают и распределяют информацию. При этом обычно основной мотивацией к внедрению ИС, поддерживающей операционные процессы, является сокращение затрат на их выполнение. Согласно подходу, сформулированному в главе 2, основная цель корпоративной ИС организации, ведущей деятельность в непредсказуемой среде - снижение неопределенности, что в конечном итоге и должно приводить к снижению затрат. Это коррелирует с точкой зрения новой институциональной теории, согласно которой взаимодействие агентов внутри фирмы эффективнее, чем взаимодействие на рынке, так как фирмы стремятся снизить неопределенность и, соответственно, транзакционные издержки [168]. Поскольку корпоративная ИС, по-прежнему понимаемая как сочетание технических и организационных ресурсов, является инструментом обеспечения такого внутрифирменного (а в современных условиях и межфирменного) взаимодействия, можно считать, что цель ее создания и развития - снижение неопределенности, которое, в свою очередь, ведет к снижению операционных затрат.

Цель настоящего параграфа – разработка метода количественной оценки эффекта от внедрения информационных систем. При этом ограничимся рассмотрением класса ИС, предназначенных для поддержки выполнения бизнес-процессов, поскольку регулярные и предсказуемые действия, сформированные на основе предыдущего опыта организации (паттерны или рутины), реализуются именно в виде бизнес-процессов. Такой подход позволяет в качестве оценки рассматриваемых ИС использовать эффективность бизнес-процессов.

В разделе 1.3.2 приведен обзор методов измерения эффективности инвестиций в ИТ и показано, что все они имеют определенные недостатки. Методы, базирующиеся на оценке возврата инвестиций, ограничены точностью учетной системы, что приводит к невозможности однозначно доказать, что полученный

эффект вызван именно анализируемыми вложениями. Кроме того, данная группа методов не учитывает нефинансовые эффекты. Методы, основанные на показателях эффективности предполагают их вывод из индикаторов производительности более высокого (стратегического) уровня, но, как уже неоднократно отмечалось, формализованные стратегии, которым фирмы действительно следуют, в современных условиях встречаются весьма редко. Методы статистического контроля качества требуют задания целевых значений исследуемых параметров, что не всегда возможно, особенно на ранних этапах процессов организационных изменений. Известные качественные модели успешности внедрения ИС не дают рекомендаций о построении количественных систем измерений.

Предлагаемый здесь метод измерения эффективности внедрения ИС построен на основе теории сложности. В работе [195] перечислено несколько методов измерения сложности, там же отмечено, что ни один из них не является общепринятым. Это связано с тем, что теория сложности до сих пор находится в весьма ранней стадии своего становления. Тем не менее, применительно к поставленной задаче теория сложности дает возможность построить систему измерения эффективности. Воспользуемся следующим определением: система (в данном случае организация) называется сложной, если в ней не хватает информационных ресурсов для эффективного описания ее текущего и прогнозирования будущего состояний. Это означает, что законы функционирования организации и управления ею неизвестны. Соответственно, в таких системах всегда должна быть подсистема принятия решения.

Как было отмечено выше, внедрение ИС рассматриваемого типа (предназначенных для поддержки выполнения бизнес-процессов), прежде всего, имеет целью повысить количество информации о процессах в организационной системе и снизить неопределенность. Неопределенность состояния системы характеризуется информационной энтропией. Пусть система реагирует на некоторое

воздействие событием x с n возможными состояниями, а $p(i)$ – вероятность исхода x_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Тогда информационная энтропия будет равна:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(i) \ln p(i)$$

Известен ряд работ, предлагающих использовать энтропийные методы при проектировании новых моделей бизнес-процессов. В [196] исследована информационная энтропия типовых моделей бизнес-процессов (последовательный, параллельный, цикл). В [197] предложен метод сравнительной оценки существующей и проектируемой моделей бизнес-процесса на основе энтропии результатов их имитационного моделирования. В [198] рассмотрены некоторые энтропийные модели бизнес-процессов предприятий. В работе [199] исследована адаптивность сетевых организационных структур на базе энтропии сети.

Свойства энтропии:

- Неотрицательность $H(x) \geq 0$
- Ограниченность $H(x) \leq \ln n$
- Если x, y независимы, то $H(xy) = H(x) + H(y)$
- Если x, y зависимы, то $H(xy) = H(x) + H(y|x) = H(y) + H(x|y)$

Первое и второе из перечисленных свойств позволяют построить метод измерения эффективности ИС на основе энтропии случайной величины μ , равной значению характерного параметра, поддерживаемого данной системой процесса. Если за период времени t выполнено N процессов с n возможными исходами, каждому из которых соответствует определенное значение μ_i , предлагаемая характеристика будет иметь вид:

$$H(t) = - \frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p(\mu_i) \ln p(\mu_i) \quad (3.1)$$

Здесь $p(\mu_i)$ - доля процессов с исходом μ_i в общем числе процессов, выполненных за указанный период времени. Известно, что максимальным значе-

нием энтропии $H(x) = \ln n$ обладает равномерно распределенная случайная величина, а минимальным $H(x) = 0$ величина, которая всегда принимает одно и то же значение. Соответственно, состоянию наименьшей информированности о бизнес-процессе, когда все его возможные результаты равновероятны, соответствует значение $H(t) = 1$, состоянию полной определенности, когда возможен только один результат, - значение $H(t) = 0$. Тем самым, фиксируя изменение значения $H(t)$ до, во время и после внедрения ИС можно судить о степени ее эффективности.

Третье и четвертое свойство энтропии позволяют обобщить предложенный метод на случай, когда ИС поддерживает одновременно несколько независимых или зависимых бизнес-процессов.

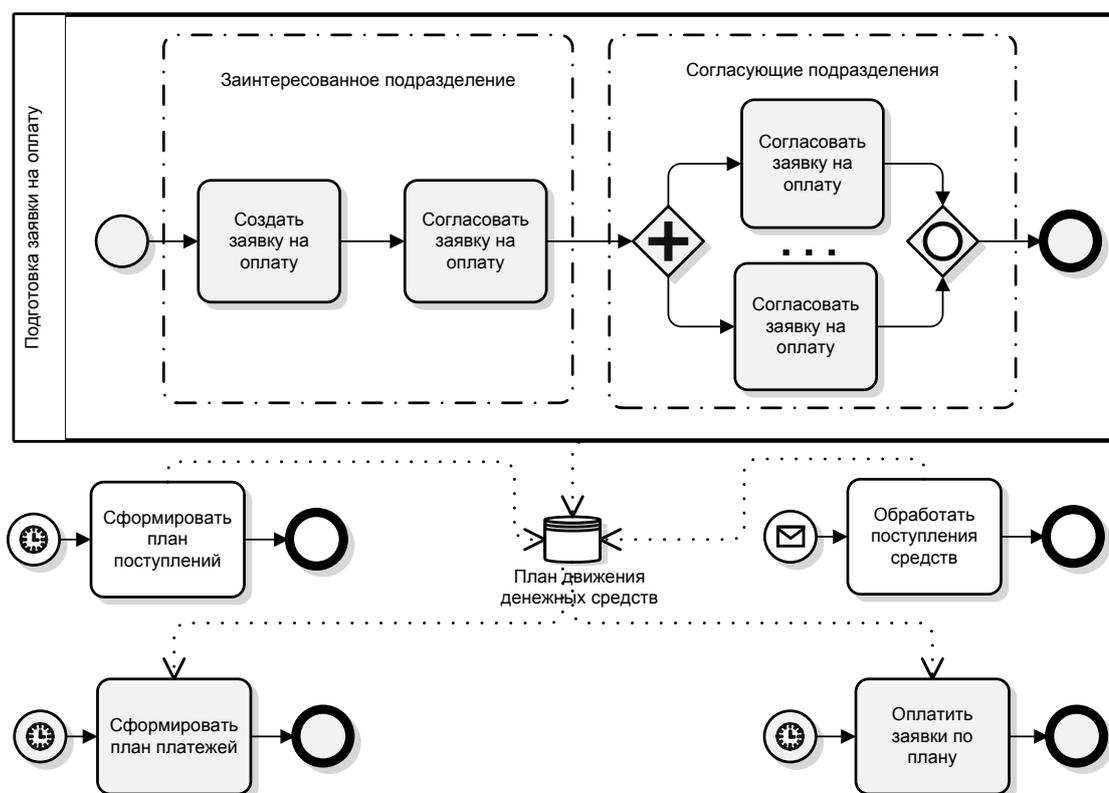


Рис. 3.12. Бизнес-процессы планирования и выполнения финансовых операций

3.3.2. Пример анализа эффективности реализации ИС

В качестве примера использования предложенного метода рассмотрим измерение эффективности бизнес-процесса (и соответствующей ИС) оплаты поставщикам, реализованного на НПО «Сатурн». Как следует из рисунка 3.12, данный бизнес-процесс является одним из группы асинхронных процессов планирования и осуществления финансовых операций, взаимодействующих через объект данных «план движения денежных средств».

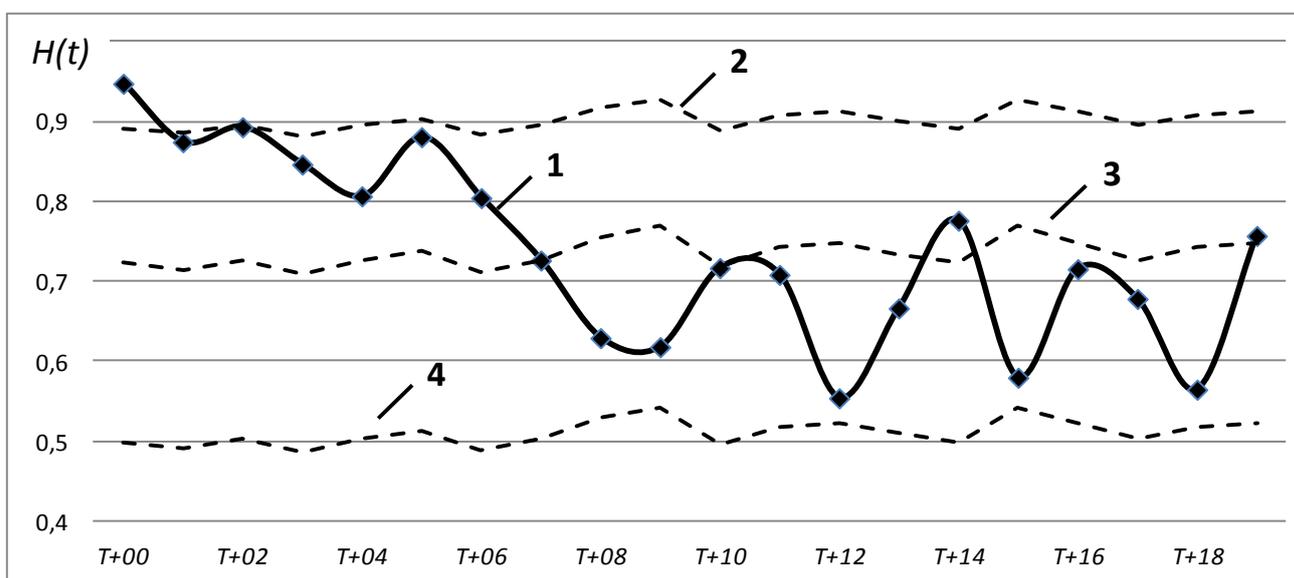


Рис. 3.13. Эффективность процесса оплаты

Информационная система в момент исследования поддерживала только те действия, которые закрашены серым цветом. Это процесс подготовки заявки на оплату и действия «Сформировать план платежей» и «Оплатить заявки по плану». При создании заявки на оплату заинтересованная служба указывает желаемую дату платежа δ , поэтому в качестве характерного параметра процесса логично выбрать отклонение от этой даты $\mu = \varepsilon - \delta$, измеряемое в днях, где ε – фактическая дата выполнения платежа. Величина $H(t)$ по данному параметру

μ вычислялась ежемесячно. Полученные результаты представлены кривой 1 на рисунке 3.13, где T – момент запуска системы, $T + i, i = 0, \dots, 19$ – период (месяц) с момента запуска системы. Как следует из графика, степень непредсказуемости процесса в результате внедрения информационной системы за 8 месяцев снизилась в 1,5 раза. После этого значение $H(t)$ совершает колебания с периодом равным кварталу. Дальнейший анализ показал, что минимальное значение всегда достигается во второй месяц квартала. Это связано с отсутствием в данном месяце регулярных платежей (налоги и т.п.), нарушение сроков выполнения которых приводит к обязательным штрафам.

Таким образом, предложенная метрика позволила не только убедиться в общей эффективности ИС, но и позволила определить направление дальнейшего совершенствования операций. В данном конкретном случае это совершенствование процедур управления финансами за счет автоматизации процесса планирования и учета поступлений.

3.3.3. Определение доли процессов, заканчивающихся с одинаковым результатом

Очень часто на практике возникает задача организовать выполнение бизнес-процессов таким образом, что бы определенная их доля заканчивалась с одинаковым результатом. Например, для надежного функционирования метода планирования производства MRP необходимо, чтобы не менее 95% производственных заказов выполнялась точно в заданный срок [200].

Определим значение $H(t)$, соответствующее заданной доле процессов m , выполняемых с одним и тем же результатом. Для этого воспользуемся подходом, известным как «формализм Джейнса» [201]: если нам ничего не известно о величине x , кроме того, что она лежит в некотором ограниченном диапазоне,

то разумнее всего принять, что вероятности $p(x_i)$ распределены таким образом, что они обеспечивают максимум энтропии $H(x)$, которая может рассматриваться как мера нашего незнания. Таким образом, поставленная задача сводится к отысканию максимума

$$\max_{p(x_i)} H(x), \quad H(x) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \ln p(x_i)$$

при ограничениях:

$$\varphi_1 = p(x_1) - m = 0, \quad \varphi_2 = \sum_{i=2}^n p(x_i) - 1 + m = 0$$

Воспользуемся методом множителей Лагранжа, для чего запишем функцию

$$L(p(x_i), \lambda) = H(x) + \sum_{j=1}^2 \lambda_j \varphi_j$$

Для нахождения условного экстремума этой функции приравняем нулю ее частные производные по $p(x_i)$ и λ_j , что дает нам систему из $n + 2$ уравнений:

$$\frac{\partial L}{\partial p(x_1)} = -\ln p(x_1) - 1 + \lambda_1 = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial p(x_i)} = -\ln p(x_i) - 1 + \lambda_2 = 0, \quad i = 2, \dots, n$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = p(x_1) - m = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = \sum_{i=2}^n p(x_i) - 1 + m = 0$$

Из второго уравнения следует $p(x_i) = e^{\lambda_2 - 1}$, $i = 2, \dots, n$. Подставляя это значение в $\sum_{i=2}^n p(x_i) - 1 + m = 0$ и выполнив суммирование по i , получаем $(n - 1)e^{\lambda_2 - 1} = 1 - m$, откуда $\lambda_2 = \ln \frac{1-m}{n-1} + 1$ и $p(x_i) = \frac{1-m}{n-1}$, $i = 2, \dots, n$, т.е. ве-

роятности завершения процесса с результатами x_2, \dots, x_n распределены равномерно.

Подставим полученные значения распределения вероятностей в формулу (3.1) после преобразований получим:

$$H(t) = h(t) + (1 - m) \frac{\ln(n-1)}{\ln n} \quad (3.2)$$

$$h(t) = -\frac{1}{\ln n} [m \ln m + (1 - m) \ln (1 - m)] \quad (3.3)$$

Полученные результаты позволяют на основании значения $H(t)$ определить долю бизнес-процессов, заканчивающихся с одинаковым результатом. Для этого достаточно по формуле (3.2) вычислить $H(t)$ при различных значениях m и сопоставить их со значениями $H(t)$, вычисленными по формуле (3.1). В качестве примера на рисунке 3.13 представлены кривые 2, 3, 4, соответствующие значениям $m = 0,3$; $m = 0,5$ и $m = 0,7$.

Из представленных результатов следует, что на момент внедрения ИС менее 30% процессов завершались с одним и тем же результатом. После внедрения системы количество этих процессов увеличилось до 70% во второй месяц квартала и 50% в первый и третий месяц квартала.

3.4. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ АДАПТИВНОСТИ ИС

Задача количественного измерения уровня адаптивности ИС чрезвычайно сложна, поскольку само определение адаптивности («обнаружение изменений и реакция на них») недостаточно формализовано. Более того, количественное измерение структурных параметров системы, определяющих ее адаптивность, невозможно, поэтому приходится ограничиваться измерением операционных характеристик. В связи с перечисленными проблемами наиболее широкое распро-

странение получили подходы, предусматривающие качественную оценку (см. например, [202]).

Как уже отмечалось, операционными характеристиками адаптивности являются время, требуемое для реакции на изменения; стоимость изменений; качество, понимаемое как устойчивость процесса изменений; и объем изменений [184]. Частично (без учета устойчивости процесса изменений) этот подход реализован в банке Credit Suisse Switzerland [203], где используется метрика адаптивности ИС:

$$a = 1 / (T_p * C_p),$$

где $T_p = \sum_i^n T_i / S_i$ – осредненное время выполнения проектов по созданию новых систем, T_i – время выполнения i -го проекта (дни), S_i – размер i -го проекта, выражаемый в UCP (use case points); $C_p = \sum_i^n C_i / S_i$ – осредненная стоимость проекта, C_i – затраты на выполнение i -го проекта. UCP это специальная мера функциональной сложности проекта, построенная на основе use case моделей языка UML [204]. Она предполагает выявление акторов и сценариев использования и оценку сложности на основе их весовых коэффициентов. Данная мера хорошо подходит для стандартных информационных бизнес-систем, где много пользовательского интерфейса и мало сложных алгоритмов. Альтернативами являются методика функциональных точек (functional point) и ее модификации.

В Credit Suisse Switzerland показатель адаптивности, вычисляемый по приведенной выше формуле, в результате направленных действий вырос за 17 кварталов от 0,15 до 0,25. Интересно, что для проектов на базе собственной технологической платформы среднее значение показателя адаптивности за это время составило 0,24; для прочих проектов – 0,09.

Для оценки устойчивости процесса изменения воспользуемся следующими соображениями. Как было показано выше на основе модели [153] на этапе

эволюционного развития ИС деятельность ИТ–департамента по обеспечению ее адаптивности включает два процесса – разработку инкрементальных изменений и действия по поддержке системы. Оценить эффективность этих процессов можно с помощью метрики (3.1), предложенной выше.

Будем считать, что обнаружение потребности в изменении системы включает не только формирование заявки на изменение, но и согласование сроков ее выполнения. В случае запроса на поддержку эти сроки обычно регламентируются соглашением об уровне сервиса (Service Level Agreement - SLA), в случае разработки новой функциональности – устанавливаются путем переговоров в зависимости от объема изменения, его важности, доступного бюджета и т.д. И в том и в другом случае назначенный срок является результатом соглашения между ИТ–департаментом и пользователями. Таким образом, в качестве измеряемого параметра μ_i процессов разработки и поддержки целесообразно определить отклонение фактического срока исполнения заявки от согласованного. Это дает возможность оценивать эффективность внесения изменений в ИС в целом.

Пример изменения эффективности процессов разработки и поддержки, реализуемых в дирекции по информационным технологиям ОАО «НПО «Сатурн», приведен на рисунке 3.14. Из рассмотрения данного графика можно сделать следующие выводы. В целом наблюдается положительная динамика по повышению качества, как разработки, так и поддержки, но процессы инкрементального создания новой функциональности выполняются несколько хуже.

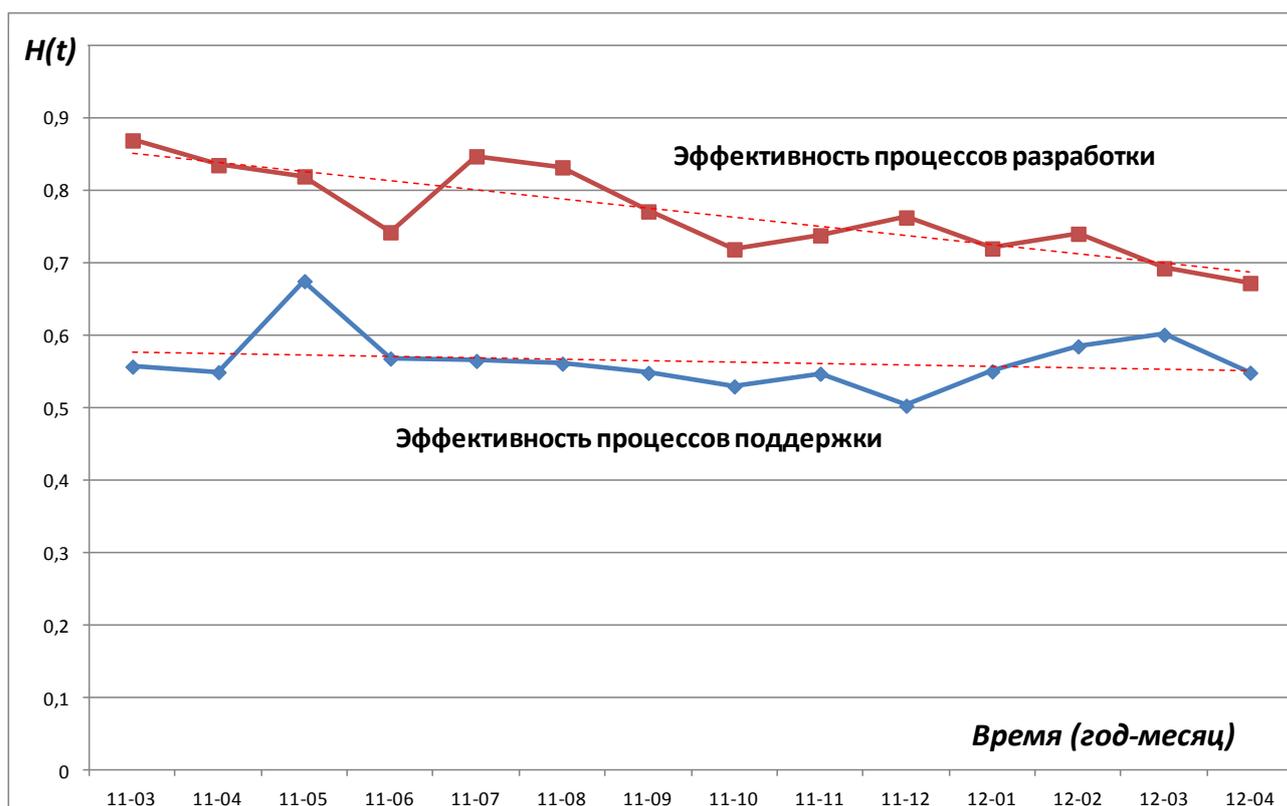


Рис. 3.14. Эффективность процессов разработки и поддержки корпоративной ИС.

3.5. ВЫВОДЫ

В данной главе предложено формализованное описание паттерна стратегического поведения, реализующего подход «снизу-вверх» к ИТ-стратегии. Рассмотренный паттерн включает три ключевых компонента:

- Модель принятия решений о реализации инициатив по адаптации и внедрению на предприятии новых ИТ;
- Методику измерения эффекта от реализации отобранных инициатив;
- Метод поддержания высокого уровня адаптивности корпоративной ИТ и ИТ инфраструктуры.

Предложенная модель принятия решений, сопоставляющая сложность реализации ИТ-инноваций с архитектурой предприятия, позволяет построить

простой, но в то же время эффективный механизм оценки различных инициатив, направленных на сокращение операционных затрат. Сложность инноваций оценивается по виду трансформационных или транзакционных затрат, на сокращение которых нацелена рассматриваемая инициатива, архитектура предприятия позволяет убедиться, что имеются все необходимые условия для реализации.

Сформулирована проблема обеспечения адаптивности корпоративной ИС, которая понимается как способность обнаруживать изменения в окружающей среде и быстро реагировать на них. Построена модель адаптивной информационной системы, в качестве ее структурных свойств, определяющих уровень адаптивности, выделены, в соответствии с положениями социотехнической теории, структура, технология, задачи и акторы. Операционными параметрами (внешними измеряемыми характеристиками адаптивности) являются время, требуемое для реакции на изменения; стоимость изменений; качество, понимаемое как устойчивость процесса изменений; и объем изменений, которые система в состоянии выполнить.

На основании предложенной модели выделены различные способы поддержания адаптивности ИС:

- использование гибких методов разработки на корпоративном уровне,
- ориентация на технологическую платформу,
- использование сервисной модели.

Отмечено, что выбор одного или нескольких из этих способов является стратегическим и определяет перспективу использования ИТ в организации.

На основании этих способов предложена модель стратегического управления адаптивностью корпоративной ИС. Данная модель предполагает разбиение корпоративной ИС на сервисы, удовлетворяющие аксиоме независимости. Для каждого сервиса комитетом по стратегическому планированию развития

ИС и ИТ формируется отдельный план повышения его зрелости, независимость сервисов позволяет поручить их развитие несвязанным группам разработчиков. В то же время опора на единую технологическую платформу обеспечивает повторное использование созданных различными группами объектов, облегчает интеграцию приложений и процессов. Однако, поскольку в настоящее время отсутствуют платформы, способные обеспечить поддержку всех видов деятельности крупных организаций, следует ожидать, что данный подход в ближайшее время будет реализовываться лишь в рамках отдельных функциональных подразделений.

В качестве основной цели корпоративной ИС организации, ведущей деятельность в непредсказуемой среде, можно рассматривать снижение неопределенности текущего состояния, повышение предсказуемости результатов выполнения бизнес-процессов. Это в конечном итоге и приводит к снижению операционных затрат. Тогда для количественной оценки ИС можно использовать метрику, оценивающую предсказуемость результатов бизнес-процессов, которые она поддерживает. Предложенный метод измерения эффективности ИС построен на основе энтропии случайной величины, в качестве которой может рассматриваться любой параметр, поддерживаемого данной системой процесса.

Следует отметить, что этот метод позволяет измерить только «степень непредсказуемости» результатов исследуемого бизнес-процесса, не оценивая их соответствие неким целевым значениям. В то же время, как уже было отмечено, в большинстве случаев на ранних стадиях проектов по организационному совершенствованию (включая и проекты по внедрению ИС) определение таких целевых значений вызывает значительные затруднения. Поэтому предлагается на первых этапах использовать предложенный метод для оценки уровня стабильности процесса, а также для определения целевых значений его параметров, которые затем могут контролироваться при помощи методики «шесть сигма».

ГЛАВА 4. ФОРМИРОВАНИЕ ИТ-СТРАТЕГИИ КАК ПЕРСПЕКТИВЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОДУКТОВЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ

В данной главе рассматриваются вопросы формирования ИТ-стратегии как перспективы, т.е. разделяемой всеми членами организации точки зрения на роль ИТ в компании [56,58]. Как отмечено в разделе 2.4, информационные технологии могут быть инструментом не только операционных, но и продуктовых, стратегических и управленческих инноваций. Поскольку инновации этих типов охватывают всю корпорацию в целом, чаще оформляются как общая точка зрения на будущее, и в меньшей степени как конкретные план действий, их можно положить в основу формирования перспективы, определяющей подход к ИТ-стратегии «сверху-вниз» и дополняющей рассмотренный в предыдущей главе подход на основе паттернов поведения, ориентированный на инициативу снизу. Далее будут рассмотрены современные принципы организации процесса разработки новой продукции и соответствующие требования к их ИТ-поддержке, а также концепция открытой бизнес-модели и ее влияние на ИТ-стратегию.

4.1. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ПРОДУКТОВ И ОТКРЫТЫЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ

В главе 3 была предложена классификация операционных инноваций по степени возрастания их сложности. Аналогичное ранжирование можно провести и для продуктовых инноваций. Воспользуемся приведенной в [205] классификация действий по созданию нового / изменению существующего продукта. В порядке увеличения сложности это:

- Сокращение затрат на производство существующего продукта;

- Перепозиционирование существующего продукта;
- Модификация существующего продукта;
- Добавление нового продукта к существующей линейке;
- Разработка и выпуск продукта нового для компании;
- Разработка и выпуск продукта нового для мира.

В обзоре современных исследований процесса разработки новой продукции, сделанным в Главе 1 диссертации, выделены следующие основные тенденции: открытые инновации, параллельный инжиниринг в сети партнеров-созрабатчиков и разработка продуктовых семейств на базе платформ. Кроме того, необходимо учесть общие соображения, касающиеся современных условий ведения бизнеса - непредсказуемость внешней среды и, как следствие, требование адаптивности информационной системы. Создание инновационных альянсов, в свою очередь, предъявляет требования к способности управленческих и информационных систем компании интегрироваться с аналогичными системами партнеров. При этом предсказать состав альянса и, соответственно, обеспечить согласование всех технологий заранее невозможно. В качестве примера можно привести участие ОАО «НПО «Сатурн» в кооперации по созданию различных авиационных газотурбинных двигателей: SaM146 (НПО «Сатурн» и французская компания Snecma), ПД-14 (ОАО «Авиадвигатель», НПО «Сатурн» и др.), АЛ-55 (НПО «Сатурн» и индийская компания HAL). Во всех перечисленных случаях созработчики используют разные системы САПР, процедуры управления требованиями, проектами, изменениями и т.д.

Все рассмотренные выше современные тенденции в организации процесса проектирования, так или иначе, предъявляют новые требования к системам, образующих в соответствии с [157] мета-архитектуру проектов по разработке новых продуктов, которая обсуждалась в разделе 1.3.6 и представлена на рис. 1.8. Эти требования обобщены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Современные требования к проектированию новых изделий

Система	Требования
Цели	Получение конкурентных преимуществ за счет создания инновационных продуктов, сочетание подходов «ориентация на потребителя», «ориентация на технологию» и «создание нового смысла».
Продукт	Семейство продуктов на базе конфигурируемых или параметризованных платформ, концентрация на ключевых компетенциях.
Процесс	Параллельное проектирование продукта, процессов изготовления и цепочек поставок (3D – инжиниринг).
Организация	Сетевая структура, инновационные альянсы.
Инструменты	Открытая информационная система с высокой адаптивностью.

4.2. КЛЮЧЕВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПОВЫШЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В [172] отмечено, что организация в своей деятельности должна ориентироваться на один из трех возможных сценариев: обеспечение тесных отношений с заказчиками, операционную эффективность, лидерство в продуктах и ус-

лугах. Очевидно, что все рассмотренные в обзоре литературы в Главе 1 тенденции в организации процесса разработки новых продуктов (открытые инновации, 3D параллельный инжиниринг, разработка на базе платформ) и реализация их в информационных системах могут способствовать достижению всех перечисленных целей одновременно. Поэтому, особый интерес представляет вопрос влияния информационных технологий на развитие ключевых компетенций, которые и определяют эффективность компании во всех перечисленных направлениях. Как уже отмечалось, ключевые компетенции должны обеспечивать потенциальный доступ к различным рынкам, определять отличительные достоинства конечного продукта и быть практически не воспроизводимы конкурентами, поскольку они представляют собой сложное взаимодействие отдельных индивидуальных технологий и навыков [166] (рис. 4.1).

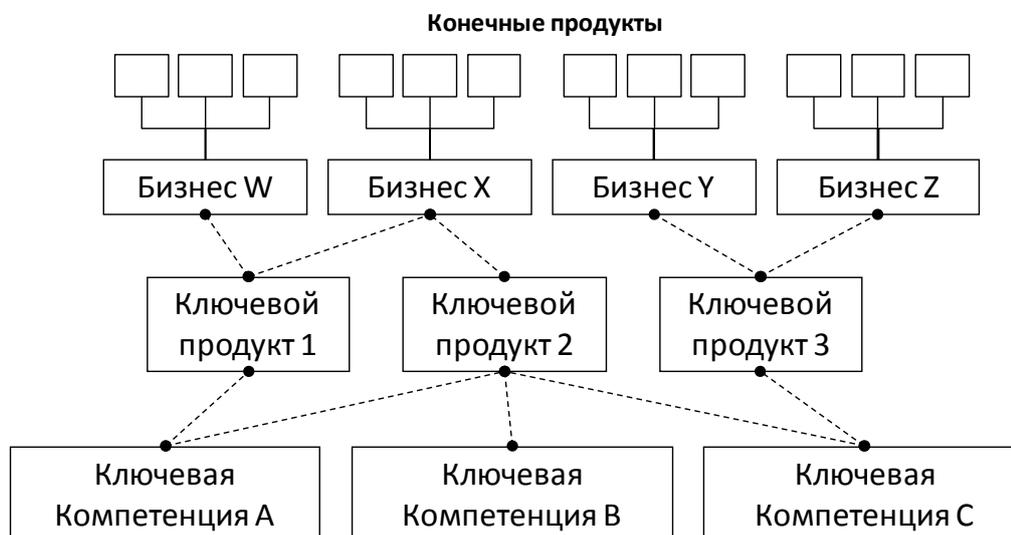


Рис. 4.1. Ключевые компетенции организации

Фактически ключевые компетенции определяют способность организации к продуктовым инновациям, которые обеспечивают более серьезное и долгосрочное преимущество, чем операционные инновации (см. рис. 2.5).

Из определения ключевых компетенций также следует, что они зависят от рынка, на котором работает организация, поэтому их рассмотрение должно учитывать специфику производимых продуктов и услуг. В данном разделе рассматриваются перспективы использования ИТ для повышения ключевых компетенций в проектировании газотурбинных двигателей (ГТД).

Таблица 4.2. Ключевые компетенции в проектировании ГТД

Компетенции	Критические знания	Средства достижения цели
Вентилятор	Акустика Аэроупругость	Механика сплошных сред Экспериментальные исследования физических процессов
Компрессор высокого давления (КВД)	Аэродинамика	
Камера сгорания	Горение Многофазные течения	Численные методы Суперкомпьютерные вычисления
Турбина высокого давления (ТВД)	Сопряженный теплообмен	

4.2.1. Анализ ключевых компетенций в проектировании и производстве газотурбинных двигателей

При создании ГТД ключевыми компетенциями являются проектирование и изготовление газогенератора (контура высокого давления, включающего компрессор высокого давления, камеру сгорания и турбину высокого давле-

ния), вентилятора и способность к интеграции изделия целиком (таблицы 4.2 и 4.3). Наличие данных компетенций определяется следующими факторами:

- Способность разрабатывать и производить современные высоконагруженные лопаточные машины с высоким КПД;
- Способность разрабатывать и производить охлаждаемые лопатки турбины;
- Способность проектировать и изготавливать эффективные камеры сгорания с малым уровнем эмиссии вредных веществ;
- Компетенция в интеграции изделия, включающая создание и управление сетью соработчиков.

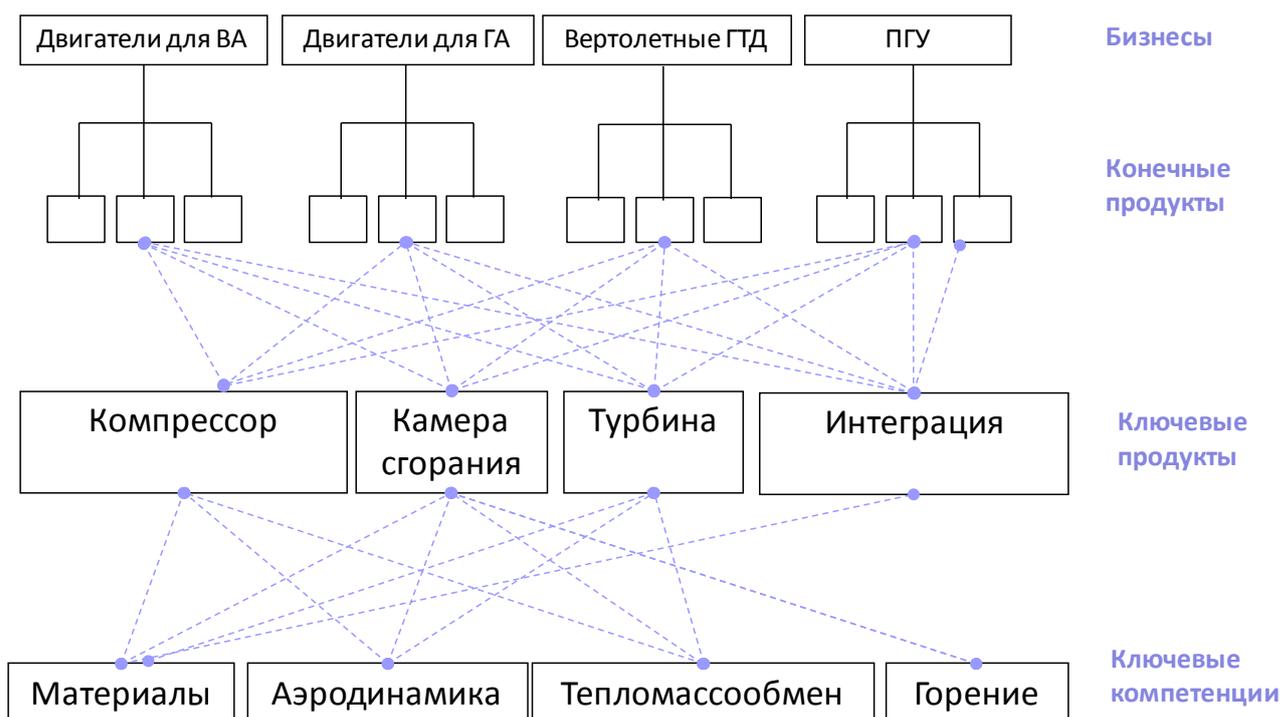


Рис.4.2. Ключевые компетенции в проектировании и разработке ГТД

Общая схема ключевых компетенций в проектировании и разработке ГТД, их влияние на конечные продукты представлены на рис. 4.2. Конечными продуктами в данном случае являются:

- Двигатели для военной авиации (ВА);
- Двигатели для гражданской авиации (ГА);
- Двигатели для вертолетов;
- Промышленные газотурбинные установки (ПГУ) для генерации электроэнергии, газоперекачки и т.д., создаваемые на основе ГТД.

Таблица 4.3. Ключевые компетенции в производстве ГТД

Компетенции	Критические технологии	Средства достижения цели
Полая лопатка вентилятора	Новые материалы	Металлургия и металловедение Химия Экспериментальные исследования физических процессов Численные методы Суперкомпьютерные вычисления
Рабочие и направляющие лопатки КВД	Сварка трением	
Жаровая труба камеры сгорания	Сверхпластичное формование	
Рабочая лопатка ТВД	Электрохимическая обработка Направленное и монокристаллическое литье Газостатирование Теплозащитные покрытия Перфорация	

В таблицах 4.2 и 4.3 представлены критические знания и технологии, владение которыми обеспечивает необходимый уровень компетенции. Условием

овладения критическими технологиями является проведение прикладных и фундаментальных исследований в различных областях, которые перечислены в колонке «Средства достижения цели».

Из анализа этих таблиц следует, что информационные технологии, которые в данном случае могут оказать максимальное влияние на ключевые компетенции – это использование суперкомпьютерных вычислений, которые, во-первых, должны обеспечить нахождение оптимального варианта конструкции в процессе численного эксперимента, во-вторых, позволяют избежать длительных испытаний при доводке конструкции на натуральных образцах. Поэтому, виртуальная инженерия, которая включает исследование и оптимизацию геометрических и физических свойств продукта, в вычислительной среде, является наиболее передовой современной тенденцией. Использование вычислительного эксперимента в виртуальной среде - обязательный компонент ключевой компетенции компании, работающей на рынке высокотехнологичной машиностроительной продукции, такой как газотурбинные двигатели.

4.2.2. Анализ перспектив использования инженерных расчетов для повышения ключевых компетенций

В данном разделе рассматривается достигнутый на сегодняшний день уровень использования инженерных расчетов при проектировании ГТД, перспективы его повышения и вытекающие из этих перспектив требования к ИТ. Как было показано в предыдущем разделе, использование инженерного анализа является основным путем наращивания ключевых компетенций машиностроительной корпорации. Поэтому определение перспектив использования суперкомпьютерных вычислений, постановка соответствующих целей, анализ их достижимости с учетом технологических, организационных и финансовых ограничений является обязательным при формировании стратегической перспек-

тивы как корпорации в целом, так и ее ИТ департамента в высокотехнологичном машиностроении.

В настоящее время при проектировании компрессоров и турбин газотурбинных двигателей преобладающим подходом моделирования аэродинамики является решение осредненных по Рейнольдсу (Фавру) уравнений Навье-Стокса (RANS) в стационарной и нестационарной постановке. Основная идея этого метода заключается в замене мгновенных значений характеристик турбулентного потока суммой их осредненных по времени значений и отклонений от осредненных значений. Это позволяет упростить уравнения Навье – Стокса, но в результате появляются дополнительные неизвестные, для определения которых приходится вводить новые уравнения. Например, в модели $k-\varepsilon$ решается два дополнительных уравнения для транспорта кинетической энергии турбулентности и транспорта диссипации турбулентности. Известны также другие широко применяемые дифференциальные модели турбулентности: $k-\omega$, SST, Спаларта - Алмараса и т.д. Основными их достоинствами являются относительная простота и низкие затраты при вычислениях. Для обеспечения достоверности получаемых результатов такие модели содержат модельные постоянные, определяемые экспериментально. В большинстве случаев RANS подход позволяет получить удовлетворительную точность на этапе выполнения проектировочных расчетов с использованием обычных персональных компьютеров. Так размерность сетки для предварительного пространственного стационарного расчета аэродинамики одного межлопаточного канала лопатки компрессора или неохлаждаемой турбины составляет около 300 000 узлов (при использовании «пристенных» функций в пограничном слое), что требует 400..450 Мб оперативной памяти при расчетах.

Однако, описанный выше подход не позволяет с высокой степенью достоверности описывать такие физические эффекты как нестационарное «статор-ротор» взаимодействие венцов турбомашин (статор – неподвижный лопаточ-

ный венец, ротор – вращающийся лопаточный венец), распространение следов за лопатками и скачков уплотнения по тракту турбомашины, детальное формирование пограничного слоя на поверхности лопаток, его взаимодействие с потоком в радиальном зазоре, отрывные и вихревые течения, их влияние на аэродинамическую эффективность компрессора или турбины в целом [206]. Такие физические эффекты являются параметрами неопределенности при проектировании и вынуждают разработчика закладывать характеристики узла с запасом по расходу воздуха до 5% и по коэффициенту полезного действия до 3 %. Запасы устойчивой работы компрессора во всем диапазоне рабочих режимов сегодня также не поддаются надежному прогнозированию. В конечном итоге, учитывая погрешности при изготовлении узлов в производстве, задача обеспечения всех требований технического задания на проектирование становится трудно-реализуемой.

Решение проблемы надежного обеспечения аэродинамических характеристик турбомашин возможно при выполнении следующих условий:

- экспериментальное изучение фундаментальных физических процессов в проточной части турбомашин (пограничные слои и вихревые течения, ударные волны, распространение следов за лопатками, «статор-ротор» взаимодействие);
- совершенствование математических моделей и методов моделирования аэродинамики на основе эксперимента.

Перспективные подходы, существующие в настоящее время, такие как моделирование крупных (LES) и отсоединенных вихрей (DES), а также прямое численное моделирование (DNS) требуют на один и даже два порядка более подробные расчетные сетки и соответствующие вычислительные ресурсы, которые недоступны сегодня для инженерных приложений. На рисунке 4.3 представлены погрешности моделирования аэродинамических характеристик ступени турбомашины с использованием традиционного RANS-подхода (размер-

ность сетки 300 000 узлов) и перспективного LES-моделирования (размерность сетки 3 000 000 узлов).



Рис.4.3. Погрешности моделирования аэродинамики ступени компрессора с использованием различных подходов

Примеры использования таких моделей для решения практических задач двигателестроения в отечественной практике сегодня единичны и касаются, в первую очередь, решения задач нестационарной аэродинамики и акустики вентилятора и сопла газотурбинного двигателя. Однако тенденции роста производительности процессоров и вычислительных мощностей суперкомпьютеров свидетельствуют о том, что в ближайшие годы такие подходы будут все более активно применяться к решению практических задач.

Основной задачей тепломассообмена в газотурбинном двигателе является определение теплового состояния наиболее нагруженных его элементов. Одним из наиболее сложных элементов двигателя является охлаждаемая лопатка турбины. Тепловое состояние лопатки определяется на основе решения дифференциального уравнения теплопроводности. Решение такого уравнения не составляет особого труда. Основную сложность представляет определение граничных условий второго рода (температура среды, омывающей металл, и коэффициента

теплообмена между средой и металлом лопатки). Таким образом, решение задачи определения теплового состояния неразрывно связано с решением задачи внешнего обтекания профиля лопатки горячим газом и внутреннего течения хладагента во внутренней полости лопатки. Традиционно коэффициент теплообмена между металлом лопатки и средой определяется на основе полуэмпирических экспериментальных зависимостей, что дает приемлемый уровень точности прогнозирования на этапе проектирования. К недостаткам такого метода относится ограниченный диапазон применения критериальных зависимостей, особенно для современных высоконагруженных лопаток турбин. На этапе пространственной оптимизации лопатки турбины точность прогнозирования теплового состояния на основе обобщенных экспериментальных данных оказывается недостаточной в силу неспособности описания пространственных эффектов взаимодействия пограничных слоев друг с другом и с ударной волной, эффектов перехода пограничного слоя из ламинарного состояния в турбулентное, эффектов реламинаризации и т.д. [207].

Наиболее перспективным инженерным подходом к определению тепло-массообмена в охлаждаемой лопатке турбины является решение задачи в сопряженной постановке, когда на основе совместного итерационного решения осредненных уравнений Навье-Стокса и уравнения энергии определяется тепловой баланс системы «горячий газ-металл-охлаждающий воздух». Такой подход позволяет избежать определения коэффициента теплообмена, который является фактором неопределенности при нахождении температуры металла лопатки. При этом возможен учет практически всех значимых для определения теплообмена факторов. Основным недостатком при таком подходе являются высокие требования к сеточной дискретизации и вычислительным ресурсам. Учитывая геометрическую сложность объекта, размерность сетки для определения теплового состояния охлаждаемой лопатки с петлевой или «вихревой» конвективно-пленочной системой охлаждения составляет не менее 6 млн. уз-

лов, что требует не менее 8 Гб оперативной памяти. Переход к решению аналогичной задачи в нестационарной RANS-постановке требует уже не менее 12 Гб ОЗУ и применение распараллеливания минимум на 80 процессорных ядер для получения приемлемого времени счета. Переход к решению задачи с применением, например, LES-метода требует увеличения размерности сетки на порядок и распараллеливания на 600-800 ядер. При этом для обеспечения адекватной точности прогнозирования необходима идентификация математических моделей на основе физического эксперимента (теплообмен при интенсивном вихреобразовании, ламинарно-турбулентного переход, реламинаризация).

К современным камерам сгорания сегодня предъявляется несколько основных требований: обеспечение высокого уровня полноты сгорания, нормированного значения окружной и радиальной неравномерности поля температур перед турбиной и низкие уровни эмиссии вредных веществ в атмосферу. Проектирование камеры сгорания является одной из сложнейших задач при создании газотурбинного двигателя. Это объясняется, прежде всего, сложностью самого процесса горения топлива. В первую очередь, на процесс горения оказывает влияние качество смешения топлива и окислителя (воздуха). В процессе распыла и смешения жидкого топлива имеет место взаимодействие капель топлива между собой и с окислителем, испарение капель топлива, их дробление и коагуляция. В результате этого процесса получается топливовоздушная смесь, качество смешения которой зависит от конструктивных особенностей завихрителей и форсунок камеры сгорания. Большинство работ по проектированию и доводке камеры сгорания сегодня выполняется с использованием натурального эксперимента. Методы моделирования на основе RANS-подхода позволяют на данный момент с удовлетворительным качеством определять лишь аэродинамические потери в камере сгорания.

При моделировании процессов горения погрешность прогнозирования поля температур за камерой сгорания составляет в среднем до 5 % (в локальных

областях до 20 %), а эмиссии вредных веществ до 300 %. При моделировании с использованием инженерного подхода косвенно учитываются характеристики распыла и смешения, а химическая кинетика процесса горения основывается на учете 2-3 основных реакций. При этом используемые модели горения являются полуэмпирическими (содержат коэффициенты модели, подобранные на основе модельных экспериментов) и имеют ограниченный диапазон применения. Размерность сетки при моделировании сектора камеры сгорания с форсунками и завихрителями в RANS-постановке составляет не менее 15 млн. узлов. Применение более прогрессивных методов типа LES и DES к оценке процессов в камере сгорания требует увеличения размерности сетки в 5 раз по сравнению с RANS-подходом и распараллеливания на 1000 ядер для получения разумного времени счета. Моделирование полноразмерной камеры сгорания увеличивает эти требования еще на порядок.

Повышение точности прогнозирования процессов аэродинамики, тепло-массообмена и горения в газотурбинных двигателях может быть достигнуто за счет:

- экспериментального изучения факторов, влияющих на состояние пограничного слоя в проточной части турбомашин, процессов распыла и смешения топлива;
- разработки редуцированных моделей химической кинетики, описывающих процесс горения топлива;
- совершенствования математических моделей на основе экспериментальных исследований;
- совершенствование методов решения задач на основе указанных моделей, обеспечивающих параллелизм (тысячи и десятки тысяч процессорных ядер) на вычислительных машинах с распределенной памятью.

Перечисленные выше требования к вычислительным ресурсам, наличие которых позволит перейти к более точному определению параметров конструкции ГТД за счет использования расчетных методов, сведены в таблицу 4.4. Данные по размерности различных задач получены опытным путем в ОАО «НПО «Сатурн». Количество процессорных ядер определяется по эмпирическому правилу, подтвержденному практикой ОАО «НПО «Сатурн», согласно которому оптимальное соотношение цена / производительность системы достигаются при выделении одного ядра на каждые 0,2 Гб памяти. При этом все задачи рассматриваются в стационарной ($t = const$) и нестационарной ($t \neq const$) постановке. Отметим также, что в каждом случае рассматривается расчет только одного сектора проточной части двигателя. Для расчета проточной части целиком (сектор 360°), необходимо увеличить требуемое количество ресурсов в соответствующее число раз. Так для полного нестационарного расчета камеры сгорания потребуется 2,5 Тб оперативной памяти и 12350 процессорных ядер, что при нынешнем уровне развития микропроцессорной техники примерно соответствует системе производительностью 150 Тфлопс.

Из приведенных данных следуют потенциальные ограничения, с которыми сталкиваются отечественные разработчики ГТД, решающие задачу поддержания компетенций в проектировании на мировом уровне. Помимо вышеупомянутых задач экспериментального исследования различных процессов и создания новых математических моделей на их основе, необходима разработка численных методов и реализация этих методов в программном коде, поддерживающем эффективное распараллеливание на 1000 – 10 000 ядер. Следует отметить, что в настоящее время отечественные программные продукты для расчетного исследования аэродинамики лопаточных машин, тепломассообмена и процессов горения отсутствуют, предприятия отрасли вынуждены использовать зарубежные коммерческие пакеты программ, которые допускают эффективное распараллеливание не более чем на 100 ядер. В то же время ведущие зарубеж-

ные компании аэрокосмической отрасли имеют собственные проприетарные программы, которые позволяют решать указанные задачи.

Таблица 4.4. Вычислительные мощности, необходимые для решения задач инженерного анализа при проектировании ГТД методами моделирования вихрей LES/DES.

Задача	Размерность (млн. ячеек)		Необходимая память (Гб)		Количество процессорных ядер	
	стац	нестац	стац	нестац	стац	нестац
Аэродинамика неохлаждаемой ступени турбомашин (сектор 10-12°)	5	9	7	13	35	63
Аэродинамика охлаждаемой ступени турбомашин (сектор 10-12°)	30	54	42	75	210	380
Сопряженный теплообмен охлаждаемой решетки турбомашин (одна лопатка, сектор 10-12°)	50	90	70	125	350	630
Аэродинамика и горение в камере сгорания (одна форсунка, сектор 20°)	75	135	105	190	525	950

Важнейшей компетенцией при проектировании является многокритериальная оптимизация, которая позволяет расчетным путем найти наиболее эффективное сочетание параметров изделия прежде, чем начинать изготовление опытных экземпляров. Рассмотрим без потери общности задачу многокритери-

альной минимизации с m независимыми переменными, n целями, p ограничениями в виде неравенств и q ограничениями в виде равенств [208]:

$$\begin{array}{ll} \text{минимизировать} & \mathbf{f}(\mathbf{x}) \\ \text{при условии} & \mathbf{g}(\mathbf{x}) \geq 0, \mathbf{h}(\mathbf{x}) = 0 \end{array} \quad (4.1)$$

где $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_m) \in X$, \mathbf{x} - вектор решений (независимых переменных), X - пространство параметров, $\mathbf{f}(\mathbf{x})^T = [f_1(\mathbf{x}), \dots, f_n(\mathbf{x})]$ - цели, $\mathbf{g}(\mathbf{x})^T = [g_1(\mathbf{x}), \dots, g_p(\mathbf{x})]$ - ограничения в виде неравенств, $\mathbf{h}(\mathbf{x})^T = [h_1(\mathbf{x}), \dots, h_q(\mathbf{x})]$ - ограничения в виде равенств. Вектор решений $\mathbf{a} \in X$ является доминирующим над вектором $\mathbf{b} \in X$ (отношение доминирования обозначается как $\mathbf{a} < \mathbf{b}$) если выполняется условие $\forall i \in \{1, \dots, n\}: f_i(\mathbf{a}) \leq f_i(\mathbf{b}) \wedge \exists j \in \{1, \dots, n\}: f_j(\mathbf{a}) < f_j(\mathbf{b})$. Вектор \mathbf{a} называют недоминируемым на множестве $X' \subseteq X$ если в X' нет вектора доминирующего над \mathbf{a} . Множество решений X' , для которого выполняется условие

$$\forall \mathbf{a}' \in X': \neg \exists \mathbf{a} \in X: \mathbf{a} < \mathbf{a}' \wedge \|\mathbf{a} - \mathbf{a}'\| < \varepsilon \wedge \|f(\mathbf{a}) - f(\mathbf{a}')\| < \delta,$$

где $\|\dots\|$ - метрика расстояния и $\varepsilon > 0$, $\delta > 0$, называется локальным Парето – оптимальным множеством. X' является глобальным Парето – оптимальным множеством если $\forall \mathbf{a}' \in X': \neg \exists \mathbf{a} \in X: \mathbf{a} < \mathbf{a}'$.

Таким образом, задача многокритериальной оптимизации является задачей нахождения глобального Парето - оптимального множества решений. На сегодняшний день известен ряд методов многокритериальной оптимизации, опирающихся на нелинейное программирование, генетические алгоритмы и т.д., которые используются, в том числе, и при проектировании газотурбинных двигателей. Один из наиболее эффективных алгоритмов многокритериальной оптимизации с ограничениями – генетический алгоритм NSGA-II [209]. Особенностью данного алгоритма является то, что на каждом шаге вычислений гене-

рируется новая популяция из N решений, для каждого из которых должны быть вычислены функции $f(\mathbf{x})$, $g(\mathbf{x})$ и $h(\mathbf{x})$. Типичной является популяция из 100 решений, которая эволюционирует в течение 500 поколений. Нетрудно оценить, что в этом случае необходимо 50 000 вычислений функций $f(\mathbf{x})$, $g(\mathbf{x})$ и $h(\mathbf{x})$. Таким образом, исходя из практических соображений для того, чтобы сократить затраты времени до разумных пределов, необходимо предложить способ нахождения Парето – оптимального набора решений за минимальное количество вычислений точных моделей исследуемых зависимостей. Для достижения этой цели используются подходы, опирающиеся на использование вместо зависимостей (4.1) их приближенных моделей, так называемых моделей поверхности отклика (Response Surface Model – RSM). Известен широкий ряд способов построения RSM – от наиболее простых на основе метода наименьших квадратов до более изощренных, таких как метод группового учета аргументов, нейронные сети радиального базиса и др. Как правило, подобные модели строятся на основе обучающей выборки, которая создается с помощью одного из методов планирования эксперимента (Design Of Experiment – DOE). Для решения данной задачи автором настоящей диссертационной работы разработан метод многокритериальной оптимизации на основе приближенных моделей исследуемого объекта, описание которого приведено в Приложении 1. Использование этого метода позволяет снизить требуемое количество вычислений функций $f(\mathbf{x})$, $g(\mathbf{x})$ и $h(\mathbf{x})$ на 2 порядка.

На основании данных, приведенных в табл. 4.4, можно оценить размерность задачи многокритериальной оптимизации. Например, для двигателя SaM146, разработанного совместно ОАО «НПО «Сатурн» и компанией Snecma (Франция) и имеющего одноступенчатый вентилятор, 3 ступени в компрессоре низкого давления, 6 ступеней в компрессоре высокого давления и, соответственно, 1 и 3 ступени в турбинах высокого и низкого давления, однократное вычисление функций $f(\mathbf{x})$, $g(\mathbf{x})$ и $h(\mathbf{x})$ (расчет по секторам в нестационарной постанов-

ке) может быть выполнено на системе, имеющей 0,65 Тб оперативной памяти и 2 800 процессоров за 40 часов. Данная оценка получена на основе подсчета общего количества операций с плавающей точкой, которое необходимо выполнить для расчета всех элементов описанной конструкции, и оценки быстродействия указанной системы (примерно 33 Тфлопс). Нетрудно оценить, что с использованием RSM (500 вычислений зависимостей (4.1)) полная оптимизация конструкции изделия в такой постановке составила бы 2,3 года. Полный нестационарный расчет такого двигателя по сектору 360° (при наличии соответствующего программного обеспечения) занял бы более 60 часов на системе, имеющей 11 Тб памяти и 53 750 процессоров (630 Тфлопс). Для оптимизация конструкции на базе приближенных моделей потребовалось бы более 4 лет, что уже сравнимо с циклом разработки нового двигателя (7 лет). Необходимо отметить, что данные оценки дают нижнюю границу потребного времени, поскольку помимо упомянутых выше исследований должны быть сделаны расчеты на обрыв лопатки вентилятора, попадание птицы в двигатель, акустические расчеты и др., время выполнения которых здесь не оценивалось.

Кроме того, следует отметить, что в настоящее время все большее внимание уделяется задаче исследования устойчивости найденного оптимального решения (robust analysis). В реальном мире независимые переменные \mathbf{x} могут иметь стохастические отклонения от величин, для которых найдены оптимальные значения $\mathbf{f}(\mathbf{x})$. Это может быть, например, следствием отклонений в производственном процессе, что в свою очередь приводит к изменению геометрических параметров или химического состава деталей изделия. Поэтому очень важно оценить степень влияния случайных изменений \mathbf{x} с учетом их вероятностных характеристик на итоговое значение $\mathbf{f}(\mathbf{x})$, в частности, для этого может быть использован метод Монте-Карло. Соответственно все расчеты должны быть выполнены $\prod_{i=1}^m n_i$ раз, где \mathbf{n} - вектор, содержащий количества вариаций компонентов вектора \mathbf{x} .

Таким образом, можно сделать вывод, что даже использование систем петафлопсной производительности не позволит решить задачи оптимизации двигателя в целом на нестационарном режиме и исследования устойчивости найденного решения с использованием моделей LES/DES/DNS. Очевидно, что в обозримом будущем задачи оптимизации будут решаться либо для отдельных элементов конструкции, либо для изделия целиком, но на основе упрощенных моделей.

Для решения данных проблем фактически должна быть создана новая отрасль прикладной науки, которая должна быть подкреплена соответствующими кадровыми ресурсами. Очевидно, что подобная задача превышает возможности одного предприятия или даже корпорации, ее решение возможно только в рамках модели открытых инноваций и при участии государства.

4.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСОВ С ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ СОРАЗРАБОТЧИКОВ

Как отмечалось выше, современная модель открытых инноваций предполагает создание альянсов различных организаций для разработки и продвижения новых продуктов. Для того чтобы предприятие было готово к вступлению в подобные инновационные альянсы, необходимо обеспечить простую возможность интеграции его информационной системы с системами соразработчиков.

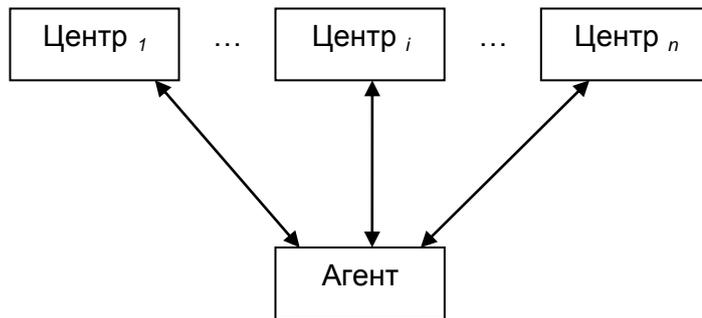


Рис. 4.4. Модель продуктового альянса.

В соответствии с предложенным в Главе 3 методом построим модель взаимодействия разработчиков и определим оптимальные сценарии сокращения T_a^{ext} . Рассмотрим организационную систему со структурой, изображенной на рисунке 4.4. Центры представляют собой головных разработчиков, которые выдают заказы на выполнение субподрядов по разработке агенту. Все работы выполняются с использованием информационных систем (ИС). Будем считать, что тип работ, выполняемых агентом, одинаков для всех центров, например, проектирование изделий в 3-мерных САПР, при этом центры не используют одинаковые системы. В этом случае возникает задача выбора оптимальной стратегии развития ИС для агента. Возможны следующие варианты:

- Внедрение множества Θ различных ИС, соответствующих информационным системам центров. В этом случае, при появлении заказчика с системой $\theta_i \notin \Theta$, агент обязан внедрить систему θ_i .
- Использование единственной внутренней ИС и создание интерфейсов со всеми системами центров.
- Комбинация двух вышеперечисленных стратегий.

В дальнейшем будем считать, что если i -ый центр и агент используют одинаковые информационные системы, взаимодействие между ними в процессе

выполнения субподряда осуществляется без дополнительных затрат. Если они используют различные информационные системы, оба осуществляют затраты на конвертацию данных.

Предпочтения n центров описываются их функциями полезности

$$f_i(w_i) = z_i(w_i) + x_i(w_i) + \sigma_i, \quad \min f_i(w_i) \quad (4.2)$$

где $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ - множество центров, $z_i(w_i)$ - затраты i -го центра на выполнение части работы w_i (в общем случае работа в рамках одного субподряда может включать несколько заданий, т.е. w_i - вектор); $x_i(w_i)$ - компенсация агенту за выполнение другой части той же работы со стороны i -го центра; σ_i - затраты на конвертацию данных в процессе взаимодействия i -го центра и агента. Затраты на конвертацию данных зависят только от вида используемых информационных систем и не зависят от вида работы, в случае использования одинаковых ИС $\sigma_i = 0$. Данная функция полезности определяет целесообразность передачи работ агенту, очевидно, что это имеет смысл только при $f_i^0(w_i) = z_i^0(w_i) > f_i(w_i)$ или $z_i^0(w_i) > z_i(w_i) + x_i(w_i) + \sigma_i$, где $z_i^0(w_i)$ - затраты i -го центра на выполнение работы без привлечения агента, т.е. когда передача работы агенту позволяет снизить затраты на ее выполнение.

Предпочтения агента представлены функцией полезности

$$f_a(W) = \sum_{i \in N} (x_i(w_i) - c_i(w_i) - \sigma_i), \quad \max f_a(W) \quad (4.3)$$

где $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ - множество всех работ, выполняемых агентом, $c_i(w_i)$ - затраты агента на выполнение работы w_i . Затраты агента на выполнение работы с помощью информационной системы можно представить как $c_i(w_i) = I + S(t_i) \frac{1}{e}$, где I - инвестиции в создание ИС, $S(t_i)$ - затраты на выполнение работ при помощи ИС, t_i - время выполнения работы w_i , e - эффективность использования

ИС. Отметим, что инвестиции в создание информационной системы равны нулю, когда агент использует уже существующую у него ИС без доработок.

Определим эффективность использования ИС исходя из следующих соображений. Если агент применяет только одну ИС, считаем, что его работники освоили 100% ее функций и эффективность использования (т.е. производительность труда с применением системы) равна 1. Если используется более одной ИС, работники вынуждены применять для выполнения однотипных работ различные системы, в результате они имеют меньше времени на полное освоение функций систем и эффективность их использования меньше 1. Будем считать зависимость эффективности использования от количества систем линейной $e = 1 - (k - 1)/\alpha$, где k - количество используемых систем, $\alpha > 1$ - произвольное целое число. Очевидно, что предложенная модель имеет смысл только при $e > 0$, это приводит к ограничению на количество используемых систем

$$k < \alpha + 1. \quad (4.4)$$

Данное ограничение означает, что при увеличении числа ИС может наступить момент, когда персонал агента будет просто не в состоянии освоить работу с ними.

Из формулы (4.2) следует, что с точки зрения центра целесообразно навязывать агенту использование той же ИС, что использует данный центр. Это ведет к сокращению затрат на интерфейс σ_i . С точки зрения агента ситуация не столь однозначна. Рассмотрим построенную модель более подробно. Для простоты положим, что все работы имеют одинаковую сложность $w_i = w$, $i \in N$ и могут быть выполнены агентом за одинаковое время $t_i = t$, $i \in N$, соответственно одинаковы и затраты $S(t_i) = S$, $z_i = z$, $x_i = x$, $i \in N$ на их выполнение, а сложность интерфейсов (т.е. затраты на их создание) между любыми рассматриваемыми ИС описывается функцией $\sigma(\theta_i, \theta_j) = \begin{cases} \sigma_0 = const, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases}$. Также будем счи-

тать, что все ИС созданы и инвестиции $I = 0$. Тогда функции полезности (4.2) и (4.3) примут вид $f_i = z + x + \sigma(\theta_i, \theta_a)$ для центра и $f_a = \sum_{i \in N} \left[x - S \frac{1}{e} - \sigma(\theta_i, \theta_a) \right]$ для агента.

Рассмотрим случай, когда агент использует только одну ИС ($k = 1$), не совпадающую с ИС ни одного из центров, и обменивается со всеми центрами данных через интерфейсы. Функции полезности в этом случае:

$$f_i = z + x + \sigma_0, \quad f_a = N[x - S - \sigma_0]. \quad (4.5)$$

В случае, когда агент использует набор ИС, соответствующий множеству ИС центров Θ ($k = N$) получаем следующие функции полезности:

$$f_i = z + x, \quad f_a = N \left[x - S \frac{\alpha}{\alpha - N + 1} \right]. \quad (4.6)$$

Из анализа функций полезности (4.5, 4.6) следует, что агенту не выгодно использовать одну ИС и интерфейсы обмена только при $S + \sigma_0 > S \frac{\alpha}{\alpha - N + 1}$. После упрощений получаем неравенство

$$\frac{\sigma_0}{S} > \frac{1}{\alpha/(N-1) - 1}. \quad (4.7)$$

Исходя из практики, максимальные затраты на создание интерфейса к системе можно оценить как 10% от затрат на выполнение работ с ее помощью, т.е. $\frac{\sigma_0}{S} \approx 0,1$. Также исходя из практических соображений будем считать, что если эффективность использования первой системы равна 1, то для второй аналогичной она не будет превосходить 0,8, для третьей – 0,6 и т.д. Это соответствует $\alpha \leq 5$. Учитывая, что из ограничения (4.4) следует $N - 1 < \alpha$ при $k = N$, приходим к выводу, что при данных условиях неравенство (4.7) никогда не выполняется. Требуемых значений правая часть данного неравенства достигает при

$N = 2$ и $\alpha \geq 11$, но такое значение α предполагает, что эффективность освоения второй ИС составит 91%.

Таким образом, с точки зрения агента эффективная стратегия развития ИС сводится к использованию единой внутренней системы и созданию универсальных интерфейсов с системами потенциальных заказчиков. Интересы центров при этом удовлетворяются в случае $x_i(w_i) + \sigma_i \leq x_i^{IS}(w_i)$, где $x_i^{IS}(w_i)$ - затраты на компенсацию агенту в случае внедрения им новой системы.

В результате такого анализа в виртуальную среду проектирования ОАО «НПО «Сатурн» были включены интерфейсы, обеспечивающие интеграцию данных о продукте, параметрах его производства и испытаний с другими разработчиками (см. рис. 5.2). Данная система использовалась при разработке авиационного газотурбинного двигателя SaM146, созданного в альянсе с французской компанией Snesta, для регионального самолета Сухой СуперДжет-100.

4.4. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОРПОРАТИВНЫМИ ИТ

В параграфе 3.3 была предложена методика оценки эффекта от реализации конкретной ИТ-инициативы, касающейся внедрения той или ИС, в параграфе 3.4 предложенный метод был использован для оценки эффективности процессов инкрементального развития и сопровождения корпоративной ИС. Для того, чтобы сформировать полный комплекс оценок эффективности стратегического управления ИТ рассмотренные методы необходимо дополнить механизмами интегральной оценка эффекта от инвестиций в ИТ.

Как было отмечено в Главе 1, предпринимательские эффекты от инвестиций в ИТ, связанные с изменением процессов, комбинацией ИТ с другими инновациями, прежде всего организационными, представляют наибольший интерес

для организаций, но механизмы формирования таких эффектов не очевидны. Тем не менее, современный взгляд предполагает, что для повышения эффективности организации необходимо одновременно развивать дополняющие друг друга ИТ-сервисы, организационные практики и человеческий капитал, рассматриваемые в данном случае как комплиментарные активы.

Для разработки количественной методики оценки эффективности стратегического планирования развитием ИТ воспользуемся результатами работ Э.Бриньолфссона и Л.Хитт [210,211] и П.Страссмана [174]. В [210] для анализа влияния инвестиций в ИТ на производительность компании на основании теории производства было предложено разделить все затраты на накопленный компьютерный капитал (т.е. результат всех капитальных инвестиций в ИТ, включая программные продукты, коммуникационное и вычислительное оборудование) и затраты на труд ИТ - специалистов (включают не только оплату труда штатных специалистов компании, но и приобретение услуг во внешних организациях). В [211] было показано, что затраты на компьютерный капитал генерируют большую выручку, чем затраты на другие виды капитала, точно также вложения в ИТ - персонал дают больший эффект, чем вложения в персонал, не связанный с ИТ.

В [174] доказано, что экономический эффект от ИТ формируется за счет сокращения транзакционных расходов корпорации, к которым относятся административные, маркетинговые и коммерческие расходы, а также затраты на исследования и разработку. Все эти затраты связаны с видами деятельности, основным содержанием которых является получение, обработка и распространение информации, эти виды деятельности характерны для работников умственного труда. П.Друкер [212] исследуя производительность работников умственного труда отметил основные черты, отличающие их от работников физического труда. Во-первых, работники умственного труда являются собственниками средств производства – знанием. Во-вторых, их деятельность не программиру-

ется станком, конвейером, технологическими процессами или производственным планом, в условиях умственного труда на первый план выходит вопрос определения задания («что делать», а не «как делать» то, что указано) и, соответственно, оценки его результата. Именно организация деятельности работников умственного труда является тем активом, который комплементарен к информационным технологиям. В зарубежной литературе существует специальный термин для обозначения работников умственного труда, использующих в своей деятельности ИТ – «информационные сотрудники» [213], фактически это пользователи корпоративной информационной системы.

Таким образом, для оценки общего эффекта от развития корпоративной информационной системы целесообразно рассматривать динамику затрат на ИТ-персонал и накопленного ИТ-капитала, приходящихся на одного пользователя корпоративной ИС. При этом вопрос оценки эффективности (производительности) собственно информационных сотрудников остается за рамками рассмотрения. Предлагаемый подход позволяет оценить лишь затраты на ИТ-поддержку информационных сотрудников в условиях, когда их эффективность относительно постоянна, нет, например, значительных разовых инвестиций в производительность их труда за счет ИТ. Таким образом, предлагаемый подход может применяться только на фазе инкрементального развития корпоративных информационных систем, в общем случае при эффективном управлении ИТ затраты на одного информационного сотрудника при этом должны снижаться.

Воспользуемся следующими относительными показателями:

$$l_i = \frac{L_i^{IT}}{L_0^{IT}} \frac{1}{1 + \alpha_i/100} (\%), \quad c_i = \frac{C_i^{IT}}{C_0^{IT}} \frac{1}{1 + \alpha_i/100} (\%),$$

где L_i^{IT} - затраты на ИТ персонал и услуги внешних организаций в i -том году, L_0^{IT} - те же затраты в первом году рассматриваемого периода, C_i^{IT} - накопленный ИТ капитал в i -том году, C_0^{IT} - накопленный ИТ капитал на начало рас-

сма­три­вае­мо­го пе­ри­о­да. По­сколь­ку рос­сий­ская э­ко­но­ми­ка ха­рак­те­ри­зу­ет­ся дос­та­точ­но боль­шим уров­нем ин­ф­ля­ции, вве­ден коэф­фи­ци­ент уве­ли­че­ния цен к на­ча­лу пе­ри­о­да α_i . На­коп­лен­ный ИТ ка­пи­тал рас­счи­ты­ва­ет­ся с уче­том сро­ка амор­ти­за­ции и вы­бы­тия ак­ти­вов, при­об­ре­тен­ных в пред­шес­т­вую­щие рас­сма­три­вае­мо­му го­ды:

$$C_i^{IT} = \sum_{k=0}^{n-1} \left(1 - \frac{1}{n}k\right) I_{i-k}^{IT}.$$

Зде­сь n – срок ис­поль­зо­ва­ния ком­пью­тер­но­го и ком­му­ни­ка­ци­он­но­го обо­ру­до­ва­ния и спи­са­ния нематериальных активов на се­бе­сто­им­ость (лет), I_{i-k}^{IT} – ин­вес­ти­ции в ком­пью­тер­ный ка­пи­тал в $i-k$ -ом го­ду. Для ОАО «НПО «Са­турн», как и для боль­шин­ства рос­сий­ских пред­при­ятий, фак­ти­че­ский срок ис­поль­зо­ва­ния ком­пью­тер­ных ак­ти­вов со­став­ля­ет 5 лет, не­смот­ря на то, что пра­ви­ла­ми бух­гал­тер­ско­го уче­та ус­та­нов­лен срок амор­ти­за­ции 3 го­да, по­то­му для от­ра­же­ния объ­ек­тив­ной си­ту­а­ции в даль­ней­ших рас­че­тах при­ня­то $n=5$.

Ди­на­ми­ка от­но­си­тель­ных по­ка­за­те­лей l_i и c_i для ОАО «НПО «Са­турн» пред­став­ле­на на рис. 4.5. При­ве­ден­ные дан­ные сви­де­тель­ст­вую­ют, что в ре­зуль­та­те ис­поль­зо­ва­ния опи­сан­ной zde­сь ме­то­до­ло­гии ОАО «НПО «Са­турн» за 10 лет уда­лось зна­чи­тель­но со­кратить за­тра­ты на од­но­го поль­зо­ва­те­ля КИС (на 40% за­тра­ты на ИТ ка­пи­тал и на 55% за­тра­ты на ИТ пер­со­нал). При э­том об­щее ко­ли­че­ство поль­зо­ва­те­лей КИС уве­ли­чи­лось бо­лее чем в 1,6 ра­за, ко­ли­че­ство ИТ-пер­со­на­ла со­кратилось в 1,5 ра­за, сред­няя оп­ла­та тру­да од­но­го штат­но­го ИТ спе­ци­а­ли­ста уве­ли­чи­лась в 3,5 ра­за.

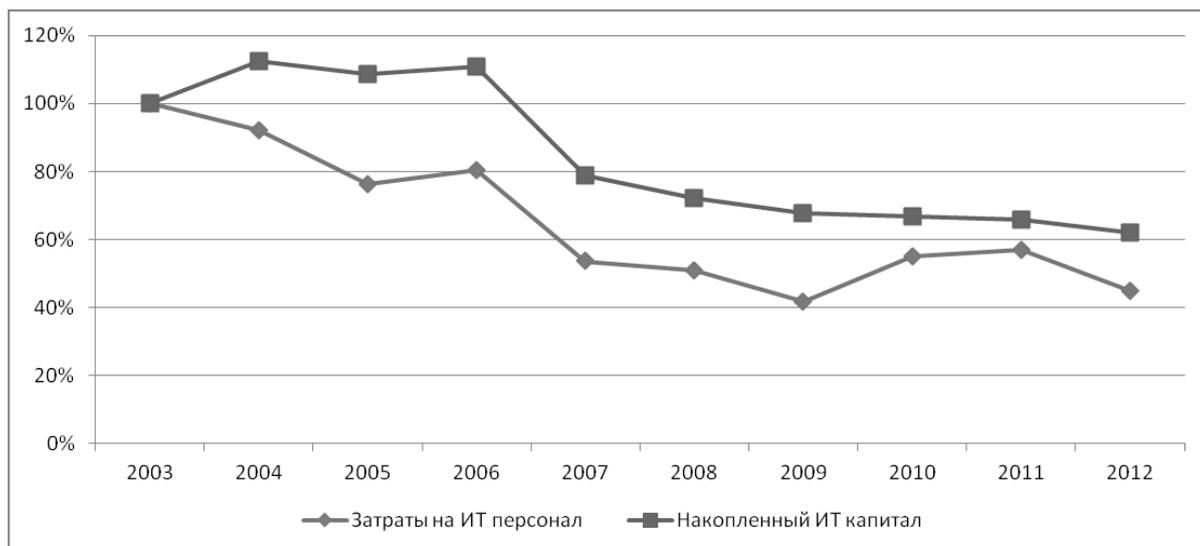


Рис. 4.5. Изменение накопленного ИТ капитала и затрат на ИТ персонал, приходящихся на одного пользователя КИС в 2003-2012 гг.



Рис. 4.6. Изменение числа пользователей КИС, приходящихся на одного специалиста по ИТ в 2003-2012 гг.

На рис. 4.6 представлен график изменения численности пользователей КИС, приходящихся на одного ИТ специалиста. Следует также отметить, что

при этом доля услуг по развитию и сопровождению КИС, закупаемых во внешних организациях, сократилась в общем объеме затрат на ИТ-персонал с 20% до 5%. Это связано с отсутствием вне столичного региона адекватных предложений по ИТ-услугам, а также со значительными требованиями НПО «Сатурн» к обеспечению информационной безопасности.

Отметим, что на ранних стадиях развития (до 2007 г.) создаваемая корпоративная ИС была ориентирована в основном на поддержку продуктовых инноваций, повышение ключевых компетенций в проектировании и производстве. Основные акценты были сделаны на внедрении систем, поддерживающих процессы разработки новой продукции. На более поздних этапах главной задачей развития корпоративной ИС стало повышение операционной эффективности, акцент сместился в сторону создания систем управления материальными и финансовыми потоками. Это вызвало соответствующие изменения в структуре бюджета затрат на информационные технологии. Если в начале 2000-х годов затраты на создание новых систем составляли 90%, а затраты на поддержку только 10% бюджета, то к 2013 г. доля затрат на развитие снизилась до 55%. В целом такая структура затрат соответствует среднеотраслевым показателям для российского крупного бизнеса [214], но отличается от показателей зарубежных компаний, которые сегодня на развитие систем направляют не более 36% ИТ бюджета [215]. Это различие объясняется тем, что западные компании в большинстве уже реализовали более совершенные практики управления, поддерживаемые соответствующими КИС, отечественные предприятия все еще находятся в процессе адаптации управленческих систем к рыночным требованиям.

4.5. ВЫВОДЫ

В четвертой главе диссертации решены следующие задачи:

- Предложена модель формирования ИТ-стратегии как позиции на основе рассмотрения продуктовых инноваций и новых бизнес-моделей;
- Проведен анализ современных тенденций в организации процесса разработки новой продукции для машиностроительной отрасли, сформулированы соответствующие требования к корпоративным ИС; построена модель сценариев развития ИС предприятия, вступающего в инновационные альянсы по разработке новых продуктов и решающего задачу интеграции с ИС партнеров; проведен анализ влияния ИТ на ключевые компетенции предприятия для отрасли газотурбинного двигателестроения;
- Предложена методика интегральной оценки эффективности инвестиций в ИТ, и соответственно, эффективности принятой ИТ-стратегии;

В данной главе продемонстрировано, что формирование стратегической перспективы организации и, как следствие, соответствующей стратегической перспективы в использовании ИТ должно опираться на анализ идей, касающихся продуктовых и управленческих инноваций. В настоящее время к наиболее важным тенденциям относятся:

1. Расширение кооперации при создании новых продуктов, открытые бизнес-модели, формирование инновационных альянсов. При этом также необходимо учитывать высокую турбулентность внешней среды. Все это предъявляет высокие требования не только к «внутренней», но и «внешней» адаптивности корпоративных ИС, которая должна обеспечивать простую интеграцию с аналогичными системами партнеров по альянсу.
2. Концентрация на ключевых компетенциях. В данной главе сделан анализ ключевых компетенций в области газотурбинного двигателестроения, показано, что наибольший эффект в их увеличении может быть достигнут за счет использования вычислительного эксперимента на высокопроизводительных суперкомпьютерах.

Использование параметризованных продуктовых платформ открывает путь к сокращению циклов проектирования и соответствующих затрат, при этом на первое место выходит уровень владения инженерными расчетами и многокритериальной оптимизацией в вычислительной среде. Причем одновременно оптимизироваться должны не только физические и геометрические свойства продукта, но и эффективность процессов его производства, сборки, обеспечения качества, себестоимость и т.д. (в зарубежной литературе уже выделяются такие направления в проектировании как Design for Manufacturing, Design for Assembly, Design for Quality, Design for Cost и др.). Все эти характеристики конечного продукта определяются его структурными параметрами и должны быть заложены на стадии проектирования, они не зависят от внешних условий и их крайне сложно изменить. Поэтому именно владение инженерным анализом на базе суперкомпьютерных вычислений определяет сегодня ключевые компетенции на рынке высокотехнологичного машиностроения.

Однако, следует отметить, что сегодня отечественные предприятия сталкиваются со следующими проблемами. Во-первых, отсутствуют адекватные математические модели, позволяющие моделировать физические процессы аэродинамики, горения и тепломассообмена с заданным уровнем точности. Зарубежные компании используют проприетарные системы инженерных расчетов, опережающие по функциональности на 5-10 лет коммерческие пакеты, которые вынуждены приобретать российские разработчики. Соответственно, необходимо экспериментально исследовать физические процессы, разработать соответствующие математические модели, создать программное обеспечение, способное эффективно распараллеливаться на 1000 и более процессорных ядер (анализ, сделанный выше, показывает, что при проектировании ГТД на современном мировом уровне возникают задачи такой размерности). Во-вторых, многокритериальная оптимизация задач такой размерности на относительно доступных в настоящее время вычислительных мощностях (порядка 1 Пфлопс) может

быть выполнена только за время, сравнимое с циклом разработки нового ГТД. Необходима разработка методов, снижающих количество вычислений на 2-3 порядка по сравнению с существующими, один из подобных методов разработан автором настоящей диссертации, его описание приведено в Приложении 1. В-третьих, мало исследованы и не апробированы на практике процессы и модели, увязывающие характеристики продукта с процессами его производства и сборки, логистического обеспечения, себестоимостью, затратами на обслуживание в эксплуатации и т.д.

Перечисленные факторы негативно влияют на ключевые компетенции российских предприятий, но в то же время задают актуальные направления научных исследований.

Предложенная модель интегральной оценки эффективности стратегического управления корпоративными ИТ базируется на оценке накопленного ИТ капитала и затрат на ИТ-работы и услуги, приходящихся на одного информационного сотрудника.

Представленные на рис. 4.5 и 4.6 результаты, доказывают, что предложенная в данной диссертации методология стратегического управления развитием ИТ позволяет эффективно управлять процессами создания и развития корпоративных ИС в условиях неопределенности, которые характерны для современного бизнеса. Предложенная методология не требует наличия формализованной бизнес-стратегии, позволяет принимать решения по мере возникновения необходимости, переносит акцент на создание систем с высоким уровнем адаптивности. Это позволяет сократить затраты на ИТ, которые приходятся на одного пользователя корпоративной ИС.

ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДОЛОГИИ В ОАО «НПО «САТУРН»

В данной главе представлены результаты внедрения предложенных в диссертации моделей и методов в ОАО «НПО «Сатурн» и описывается корпоративная информационная система, поддерживающая весь цикл разработки новой продукции, созданная в результате последовательного использования изложенной методологии.

5.1. ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИТ В ОАО «НПО «САТУРН»

Результаты сделанного выше анализа современных тенденций к разработке новой продукции были использованы в ОАО «НПО «Сатурн» при формировании стратегической перспективы развития компании и соответствующей разделяемой точки зрения на роль ИТ в этом развитии. На рисунке 5.1 показаны основные элементы бизнес-стратегии ОАО «НПО «Сатурн» и соответствующие проекты по внедрению различных ИС, реализованные в 2000-2010 гг.

Бизнес-стратегия НПО «Сатурн», которую можно трактовать как перспективу по классификации Г.Минцберга, в начале 2000-х годов сводилась к следующему: стать крупнейшим разработчиком газотурбинных двигателей в России, выйти на зарубежный рынок, освоить новые виды бизнеса (послепродажное обслуживание). При этом необходимо было сократить сроки разработки новых продуктов и затраты на ее осуществление до уровня ведущих зарубежных компаний. Для этого надо было вступить в альянс с одной из ведущих западных компаний, чтобы получить доступ к современным практикам ведения бизнеса, а также максимально использовать возможности ИТ. Ключевым проектом по разработке нового продукта стала программа по созданию двигателя

SaM146 для российского регионального самолета Сухой СуперДжет-100, выполненная совместно с компанией Snesta (Франция).

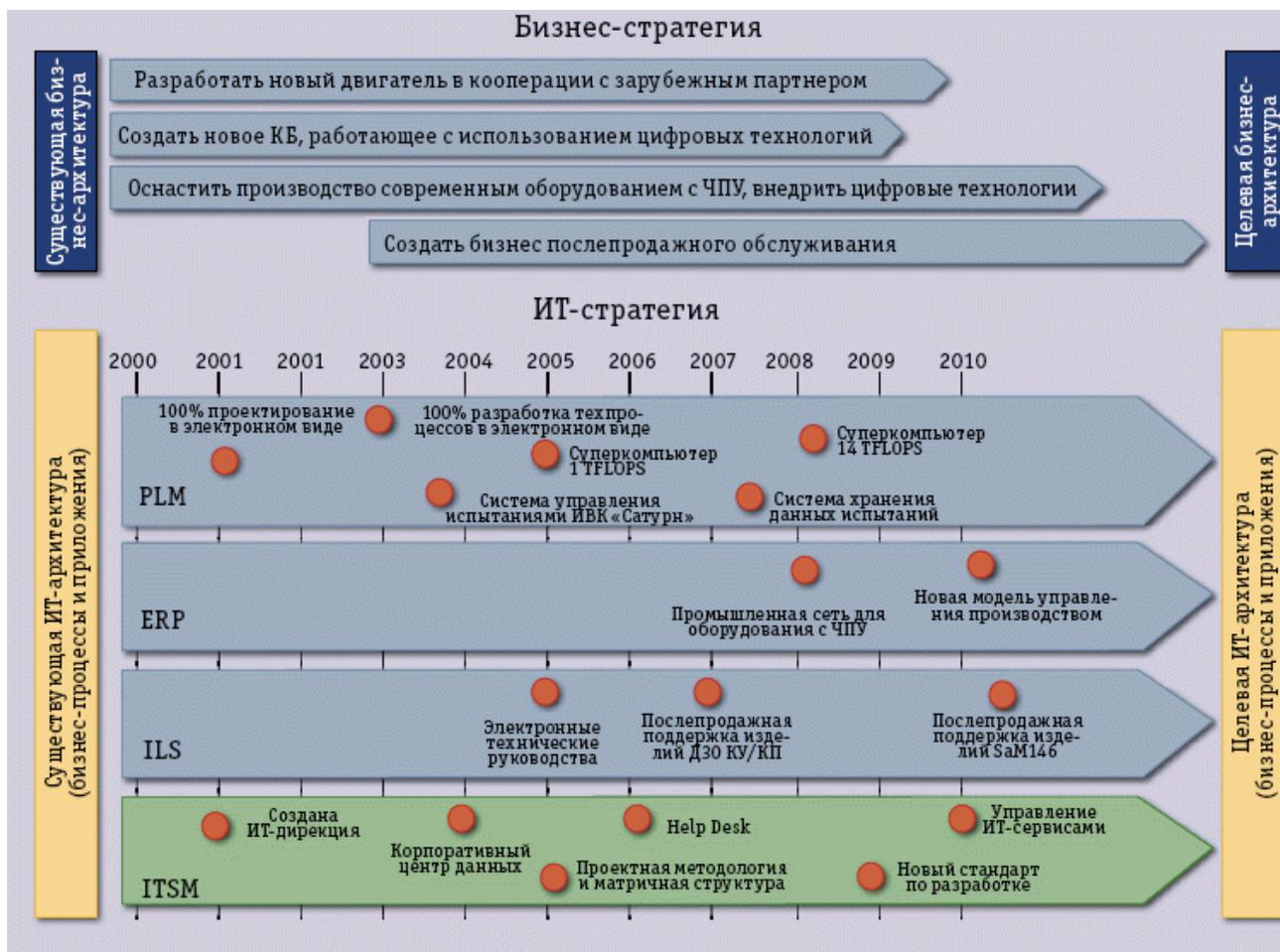


Рис. 5.1. Сопоставление бизнес- и ИТ-стратегий ОАО «НПО «Сатурн»

На основании данной бизнес-стратегии была сформирована позиция (разделяемая точка зрения) на перспективы использования ИТ в компании. Основными направлениями развития ИТ-сервисов были признаны:

- PLM (Product Lifecycle Management, управление жизненным циклом продукта) - системы поддержки процессов разработки новой продукции,
- ERP (Enterprise Resource Planning, планирование корпоративных ресурсов) - системы управления производством и цепочками поставок,
- ILS (Integrated Logistic Support, интегрированная логистическая поддержка) - системы послепродажной поддержки и интегрированной логистики

- ITSM (IT Service Management, управление ИТ-сервисами) - управление ИТ-сервисами, как обеспечивающая функция.

Основным приоритетом при этом являлись системы поддержки проектирования.

Далее перспективы использования ИТ были трансформированы в конкретные задачи. По направлению PLM:

- Обеспечить инфраструктуру и системы для управления данными о продукте и процессах его изготовления в электронном виде (внедрить 3D САПР, системы управления конфигурацией, обеспечить конструкторов и технологов соответствующими графическими станциями и сетями передачи данных).
- Создать инфраструктуру инженерных расчетов, включая суперкомпьютеры, средства автоматизации повторяющихся вычислительных задач и защищенные каналы удаленного доступа к вычислительным ресурсам.
- Расширить возможности сбора и обработки данных при испытаниях, дать инструменты стыковки этих данных с конструкторскими моделями.
- Предоставить средства структурированного доступа ко всем данным сложного мультидисциплинарного проекта.

В результате была создана виртуальная среда проектирования, которая описана в следующем разделе.

Основными задачами по направлению ERP были:

- Точечные улучшения существующих процедур планирования и учета (задача общей модернизации производственных систем была отложена на период после 2010 года, поскольку требовала значительных ресурсов, которые были направлены на совершенствование системы разработки новых продуктов, эта задача становится наиболее актуальной в настоящее время). Данное решение было принято на основании анализа перспектив повышения эффек-

тивности управления производством, который представлен в разделе 3.1.3 настоящей диссертации.

- Создание промышленной сети, объединяющей оборудование с ЧПУ и позволяющей удаленно загружать программы, контролировать актуальность их версий, следить за их загрузкой.

По направлению ILS были запланированы и решены следующие задачи:

- Создание системы выпуска эксплуатационной документации в электронном виде;
- Создание информационной системы послепродажного обслуживания (ППО) для двигателя Д30КУ/КП (устанавливается на самолеты ТУ-154 и ИЛ-76),
- Развертывание полной системы ППО для двигателя SaM146.

По направлению совершенствования внутренних процессов ИТ-подразделения были поставлены и решены следующие задачи:

- Разработана и внедрена методология управления ИТ-проектами, осуществлен переход на матричную организацию ИТ-подразделения, решены вопросы с бизнес-подразделениями о выделении «ответственных за ИС».
- Создан ServiceDesk, как обособленное подразделение, разработаны и внедрены системы автоматизации его деятельности (каталог сервисов, обработка заявок и инцидентов, ведение базы данных конфигурации средств вычислительной техники).
- Стандартизирована деятельность по разработке и сдаче в эксплуатацию новых систем.

В разделе 3.4 представлены количественные результаты измерения эффективности процессов поддержки и разработки инкрементальных изменений ИС.

Все мероприятия по созданию новых приложений сопровождалось инфраструктурными проектами (создание центров обработки данных, защищенной сети, платформы для мобильных сотрудников и т.д.).

Таблица 5.1. Характеристики корпоративной ИС ОАО «НПО «Сатурн»

Объекты	2001 год	2010 год
Сетевая инфраструктура (шт.)		
Центры обработки данных	1	7
Серверы	33	141
Суперкомпьютеры	-	2
Активное сетевое оборудование	150	422
Сетевые порты	2000	8150
Объем хранимых данных (Тбайт)	0,12	12
Пользователи ИС		
Зарегистрировано пользователей	2500	6800
Заявки на обслуживание (в год)	4500	16500
АСУТП		
ИВК на испытательных стендах	5	14
Каналов на испытательных стендах	150	13 850
DNC терминалы	-	265
Численность ИТ-сотрудников	321	223

В таблице 5.1 приведены некоторые количественные характеристики корпоративной информационной системы НПО «Сатурн» на август 2001 и 2010 г. Нетрудно заметить, что за 10 лет количество обслуживаемых объектов выросло

в 3-4 раза (а по некоторым направлениям на порядок и более), при этом численность персонала ИТ-подразделения уменьшилась на 30%.

Интегральные показатели эффективности инвестиций в ИТ в ОАО «НПО «Сатурн» приведены в Главе 4 на рис. 4.5 (затраты на одного информационного сотрудника) и 4.6 (количество информационных сотрудников на одного ИТ-специалиста).

5.2. ВИРТУАЛЬНАЯ СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОАО «НПО «САТУРН»

Из приведенного в Главе 4 материала следует, что одной из проблем построения эффективной компании, ориентирующейся на разработку высокотехнологичных продуктов, является создание виртуальной среды проектирования, которая должна служить инструментом интеграции и взаимодействия междисциплинарных рабочих групп, создаваемых не только внутри предприятия, но и за его пределами.

Отметим, что предлагаемый здесь термин «виртуальная среда проектирования» (далее - ВСП) является более широким понятием, чем традиционно используемый в отечественной литературе термин САПР (система автоматизированного проектирования), которым определяются все информационные системы, имеющие отношение к разработке новой продукции [216]. Можно сказать, что виртуальная среда проектирования является средством интеграции неоднородных САПР различных предприятий, участвующих в разработке нового продукта. При этом к ней также, как и к САПР, предъявляется требование сокращения затрат на разработку за счет исследования и оптимизации геометрических и физических свойств продукта в вычислительной среде [217], упрощения коммуникаций между междисциплинарными рабочими группами. Таким образом, основными характеристиками ВСП должны быть:

- Открытость – информационная система должна обеспечивать простую интеграцию процессов и данных с системами партнеров по разработке.
- Адаптивность – система должна обеспечивать простую перенастройку для поддержки новых процессов и данных, в идеальном случае это должно происходить за счет переконфигурирования ИС, или, в крайнем случае, при помощи частичной замены некоторых старых модулей на новые. Необходимо избегать ситуации, когда потребуется полная замена ИС из-за ее несовместимости с новыми принципами работы, поскольку это ведет к значительным затратам.
- Поддержка разработки семейства продуктов на базе параметризованной платформы, использование средств инженерного анализа и многокритериальной оптимизации.
- Обеспечение сокращения затрат времени и ресурсов на разработку за счет перехода на параллельное проектирование, замены натуральных испытаний вычислительным экспериментом, увеличение объема собираемых данных в том случае, когда испытаний избежать нельзя, обеспечение унифицированного безопасного доступа ко всем данным проекта.

Отметим, что такой подход, продиктованный современными требованиями рынка, сдвигает акцент с автоматизации процесса проектирования на обеспечение его открытости и адаптивности.

Применительно к авиадвигателестроению концепция автоматизированного проектирования газотурбинных двигателей (ГТД) в нашей стране была сформулирована И.А.Биргером [218] и получила свое развитие в работах О.К. Югова, В.А. Сосунова, Л.Н.Дружинина и др. Общее представление об использовавшихся методах проектирования и математических моделях можно получить из работы [219]. Среди отечественных исследований необходимо также отметить труды Тунакова А.П. [216]. Из зарубежных работ можно отметить труды Патрика Т. Хомера и его коллег [220,221] по созданию Distributed

Numerical Propulsion Simulation System (распределенной системы цифрового моделирования реактивных двигателей).

Информационная система, отвечающая сформулированным выше требованиям, была создана в ОАО «НПО «Сатурн» в 2000-2010 гг. с использованием предложенных в данной диссертации методов и моделей. Она включает компоненты, обеспечивающие выполнение следующих задач:

- цифровое проектирование на основе 3-мерной мастер - модели, параллельная разработка конструкции деталей и методов их изготовления;
- аэродинамические, акустические, тепловые и прочностные инженерные расчеты на базе суперкомпьютеров, многокритериальная оптимизация;
- сбор максимального количества данных при испытаниях, их обработка, визуализация и стыковка с расчетными данными.

Создание системы шло последовательно, «снизу – вверх» в соответствии с моделью, представленным на рисунке 3.1. На первом этапе были реализованы системы, направленные на снижение трансформационных затрат T_w (сети, ПК, локальные системы CAD/CAM/CAE). На втором – обеспечена групповая работа в подразделениях, ответственных за разработку продуктов и процессов их изготовления (интеграция CAD/CAM/CAE на базе мастер–моделей под управлением PDM-системы), что привело к сокращению затрат T_m . На третьем этапе – интегрированы все данные, связанные с разработкой продукта (модели, фактические данные производства, данные испытаний), что позволило сократить T_a^{int} . Одним из важнейших вопросов при разработке системы был выбор сценария сокращения затрат на взаимодействие с внешними контрагентами T_a^{ext} , анализ различных вариантов реализации такого сценария был сделан в разделе 4.3.

Описание компонент созданной виртуальной среды проектирования приведено в таблице 5.2. Общая архитектура созданной ВСП представлена на рисунке 5.2.

Таблица 5.2. Компоненты виртуальной среды проектирования ОАО «НПО «Сатурн»

Процесс	Реализуемые функции	Программный продукт
Параллельное 3D проектирование	Создание 3D моделей деталей и сборок	Unighraphics
	Управление цифровым макетом	TeamCenter Engineering
	Разработка технологических процессов	Techcard
	Создание 3D моделей производственной оснастки	Unigraphics
	Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ	Unigraphics
Управление конфигурацией	Управление конфигурацией изделия (as designed и as built)	TeamCenter Engineering
	Управление производственными данными (техпроцессы, оснастка, программы ЧПУ)	Search
Инженерные расчеты	Управление потоком работ по подготовке и выполнению расчетных задач и анализу их результатов	Собственная разработка на базе системы управления заданиями IBM LoadLeverer.
Испытания	Управление испытательным стендом и объектом испытаний	Управляющий информационно - вычислительный комплекс (УИВК) собственной разработки.
	Сбор данных во время испытаний	
	Управление данными испытаний (хранение, поиск, постобработка)	Система управления данными Mars-XL собственной разработки.

Детальное описание всех компонент виртуальной среды проектирования ОАО «НПО «Сатурн» приведено в следующих разделах настоящей Главы.

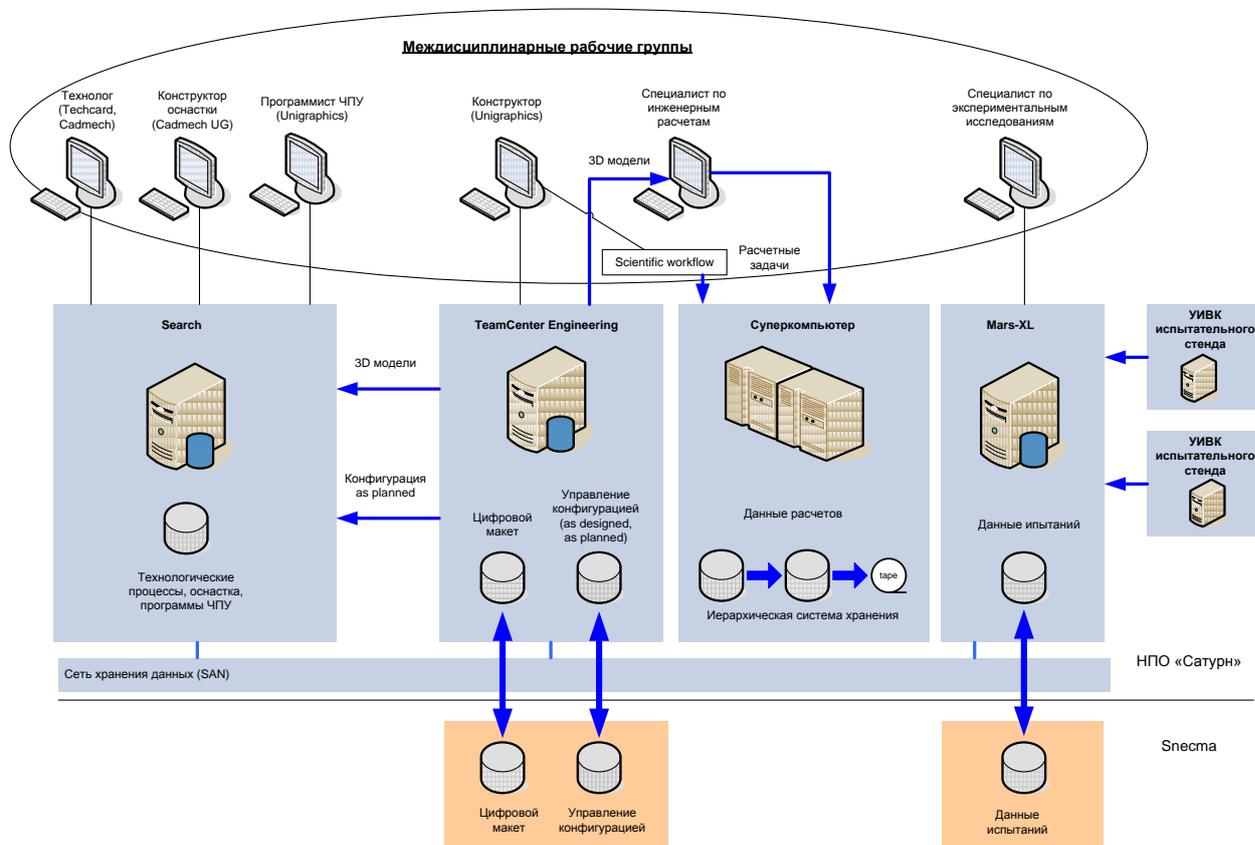


Рис. 5.2. Виртуальная среда проектирования ОАО «НПО «Сатурн»

5.3. ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ РАБОЧИХ ГРУПП

Проектирование газотурбинного двигателя включает большое количество тесно связанных между собой видов расчетных и экспериментальных исследований (термодинамика, аэродинамика, гидравлика, прочность, теплопередача, акустика, горение, материаловедение, освоение новых производственных процессов и пр.) и реализуется в виде итерационных циклов с трудно прогнозируемой структурой. Все это приводит к большим затратам ресурсов и необходимости, как следствие, ограничивать количество требуемых итераций, что

проявляется в недостаточной проработке проекта и, в конечном итоге, приводит к удорожанию фазы доводки. Как известно, автоматизированное проектирование сокращает сроки разработки и экономит ресурсы, но не менее важно, что ИТ-поддержка процесса разработки стала сегодня неотъемлемой частью процессов производства и эксплуатации.

Конструкция и процессы изготовления изделия – это основная информация для производства, а значит, большинство подразделений, так или иначе, использует информацию из систем автоматизации конструкторской деятельности, если не напрямую, глядя на чертеж, то косвенно, получая адекватно трансформированные для данного подразделения данные. На этапе эксплуатации изделия строится модель его обслуживания, которая также прорабатывается на стадии конструирования.

В 70-80-е годы XX в. цикл проектирования нового авиационного ГТД составлял 12-15 лет (в 2-3 раза больше, чем цикл проектирования планера самолета), из которых собственно определение конструкции занимало не более двух лет, а все остальное время тратилось на экспериментальную доводку параметров. После изготовления первого опытного экземпляра проводились его испытания, проверялись технические характеристики и в результате уточнялись параметры конструкции. Далее изготавливался следующий экземпляр, испытывался, вновь уточнялись параметры конструкции и так далее, до получения приемлемых характеристик. Например, при разработке двигателя АЛ-31Ф для истребителя Су-27 было построено и разрушено при испытаниях 50 полноразмерных опытных экземпляров, не говоря уже о различных испытаниях отдельных узлов и компонентов. Затем, после прохождения сертификационных испытаний и получения сертификата на конструкцию, наступала фаза освоения серийного производства.

Перед НПО «Сатурн» стояла задача не менее чем в двое уменьшить продолжительность разработки нового двигателя, а соответствующие затраты - в 4-

5 раз (рисунок 5.3), что соответствует уровню ведущих зарубежных компаний. Достижение этих целей возможно только через создание виртуальной среды проектирования (ВСП), определение которой дано выше в разделе 5.2.



Рис. 5.3. Цикл проектирования авиационного газотурбинного двигателя.

Принцип параллельного проектирования (concurrent engineering) базируется на использовании трехмерных мастер-моделей изделия и входящих в него деталей, которые создаются средствами системы автоматизированного проектирования. Конечноэлементная модель для инженерных расчетов, чертеж детали, 3D-модель оснастки и программа обработки на оборудовании с ЧПУ строятся на основе конструкторской 3D-модели. При изменении исходной мастер-модели появляется возможность проследить по ассоциативным связям зависящие от нее объекты и произвести необходимые корректировки. В результате разработка процессов изготовления и необходимой оснастки может быть начата еще до окончательного утверждения конструкторской документации, что в итоге сокращает общие затраты времени на проектирование.

Для обеспечения всей необходимой функциональности в данном случае недостаточно только САПР, также необходима система управления данными о

продукте (Product Data Management, PDM). Полный переход конструкторских подразделений НПО «Сатурн» на проектирование в электронном виде был завершен к 2000 году, следующим этапом стала работа по обеспечению аналогичными инструментами технологов. Для этого была выбрана система Techcard компании Интермех, в 2003 году состоялся полный переход на выпуск технологической документации в электронном виде.

5.4. МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКАЯ СРЕДА ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ.

Можно выделить два типа расчетов, выполняемых при проектировании двигателя. К первому типу относятся сложные задачи, для решения которых необходимо создавать группы высококвалифицированных специалистов, каждый из которых отвечает за определенную часть вычислительного цикла (постановку задачи, разработку матмодели, выбор метода решения, настройку и запуск ПО, интерпретацию результатов и т.д.). Ко второму типу относятся стандартизированные, достаточно часто повторяющиеся задачи, решаемые на разных этапах проектирования того или иного узла. Запуск таких задач целесообразно передать из специализированного подразделения по расчетам в конструкторские отделы, занятые непосредственно проектированием различных узлов ГТД.

На рис. 5.4 в качестве примера представлен реализованный на НПО «Сатурн» цикл проектирования вентилятора ГТД. Данный итерационный процесс включает несколько последовательных этапов, которые выполняются с использованием различного прикладного программного обеспечения на вычислительном кластере. При этом в одном цикле проектирования выполняются задачи как первого (исследование обрыва лопатки или попадания посторонних предметов на вход двигателя), так и второго типа (аэродинамические и прочностные расчеты).

Отметим, что каждый вид инженерных расчетов (аэродинамика, прочность и т.д.) включает помимо вычислительных операций также операции пре- и постпроцессинга, в том числе и расчет визуализации. Основная масса запускаемых расчетных заданий обладает достаточно скромными требованиями к вычислительным ресурсам (менее 12 млн. ячеек в расчетной сетке, 4-6 процессорных ядер), но количество этих заданий весьма велико, особенно в случае решения задачи многокритериальной оптимизации.



Рис. 5.4. Процесс проектирования вентилятора ГТД

В результате анализа типичных расчетных задач и условий их выполнения были сформулированы требования к вычислительным мощностям. Главной целью стало расширение пропускной способности систем, чтобы обеспечить как можно большее количество одновременно запускаемых сравнительно неболь-

ших вычислительных заданий. Архитектура кластера, спроектированного для выполнения перечисленных требований, представлена на рисунке 5.5. Отметим, что в системе представлены два основных типа узлов: вычислительные и узлы пре- и постпроцессинга. Данное разделение обусловлено тем, что задачи построения расчетных сеток и визуализации результатов требуют больших объемов памяти, чем собственно инженерные вычисления.

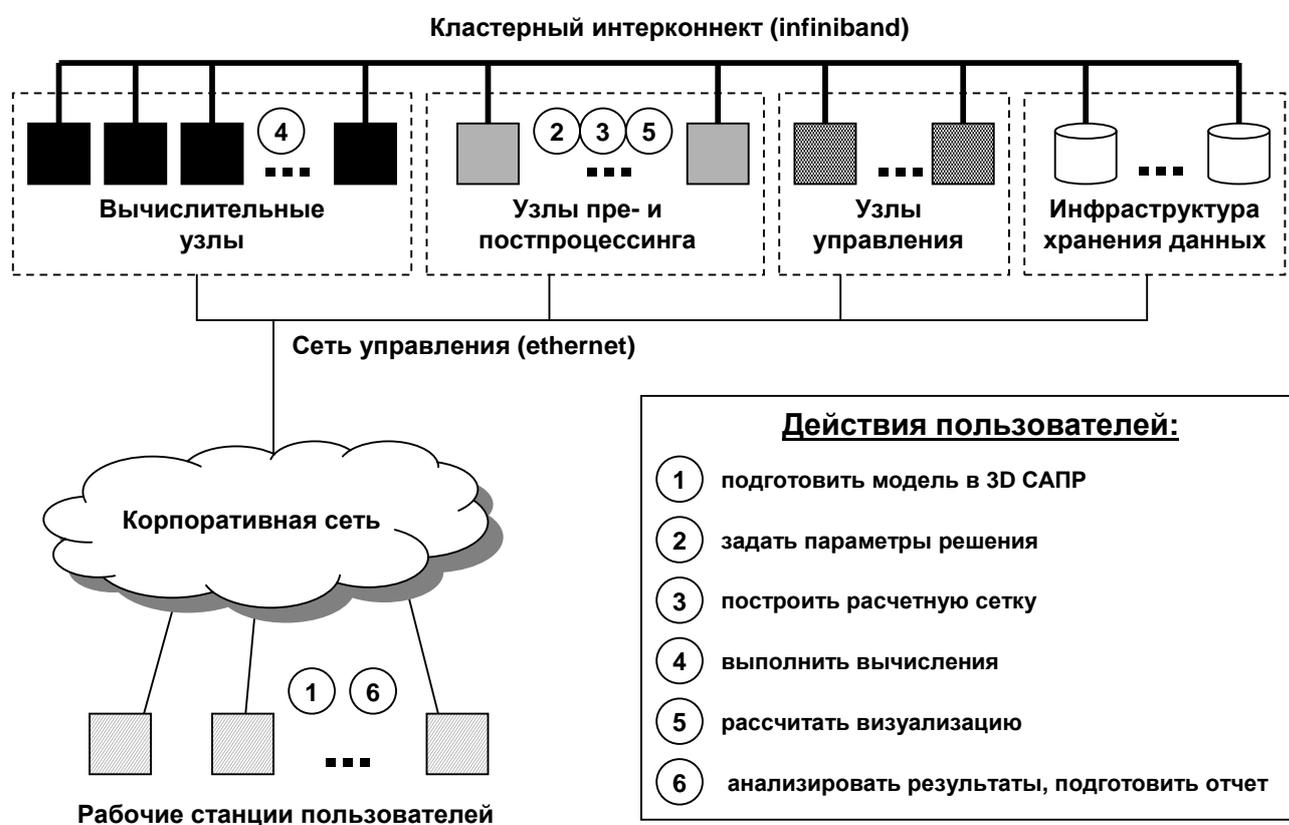


Рис. 5.5. Архитектура вычислительного кластера.

На рис.5.5. также представлен типичный порядок действий пользователя при подготовке и запуске расчетных заданий и анализе полученных результатов. Обычно он должен выполнить следующие операции:

- Подготовить геометрическую модель исследуемой конструкции в 3D САПР. Данное действие выполняется на рабочей станции пользователя.
- Определить начальные и граничные условия, параметры и способы генерации расчетной сетки, метод и параметры вычислений. Данные действия выполняются в терминальном режиме на узле препроцессинга.
- Построить конечноэлементную модель – в пакетном режиме на узле препроцессинга.
- Выполнить собственно расчеты – в пакетном режиме на одном или нескольких вычислительных узлах кластера. При этом необходимо задать параметры выполнения расчетов (как минимум, число процессорных ядер), а также указать соответствующие имена файлов с входными данными
- В случае необходимости провести расчет анимированной визуализации в терминальном или пакетном режиме на узле постпроцессинга на основании выходных файлов расчетной программы
- Подготовить отчет о результатах расчетов на рабочей станции, загрузив туда все необходимые файлы.

Как следует из приведенного списка, выполнение всех этих действий требует высокой квалификации пользователя, поскольку ему приходится взаимодействовать с несколькими программными средами (как правило, это MS Windows на рабочей станции и Linux на различных узлах кластера). При этом пользователь обязан выполнять множество рутинных операций (login / logout, копирование файлов и т.д.). Другие пользователи в это время не могут оценить текущую и предполагаемую загрузку кластера, поскольку каждый из них работает независимо. В итоге ручной запуск расчетов приводит к неэффективному использованию вычислительной техники. Кроме того, отсутствие автоматизированного управления потоком работ не позволяет решать задачи оптимизации, когда выполняются однотипные вычислительные задачи, незначительно различающиеся по исходным данным.

Также следует учитывать, что современная корпорация имеет, как правило, территориально распределенную структуру, поэтому для части пользователей необходимо обеспечить безопасный удаленный доступ по сравнительно медленным каналам связи.

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачу создания многопользовательской среды инженерных расчетов, которая должна включать следующие компоненты:

- Программные средства, автоматизирующие процессы подготовки, запуска и постпроцессорной обработки заданий, скрывающие сложность взаимодействия с несколькими вычислительными подсистемами
- Средства мониторинга загрузки кластера.
- Средства удаленного доступа к системе по каналам с относительно низкой пропускной способностью.
- Параллельная файловая система.

Для реализации первого компонента обсуждаемой многопользовательской среды (средства автоматизации процессов подготовки и запуска заданий) был разработан набор шаблонов управляющих программ для различных видов расчетов (стационарные и нестационарные аэродинамические расчеты, расчет напорной характеристики компрессора, прочностные расчеты и т.д.) и программа генерации, запустив которую, пользователь получает требуемый сценарий на языке shell. При этом у пользователя запрашивается минимальный набор параметров (как правило, это только требуемое количество вычислительных узлов), остальные значения (последовательность запуска препроцессора, решателя, постпроцессора, параметры этих программ, имена промежуточных файлов и пути к ним) устанавливаются по умолчанию. Таким образом, в компетенции пользователя остаются только функции общего управления заданиями.

За счет сочетания готовых программных компонент (систем управления очередями, мониторинга, удаленного доступа и параллельная файловая система) и компонент собственной разработки (генератор управляющих программ для системы управления задания) была создана многопользовательская среда инженерных расчетов (рисунок 5.6, подробнее см. статью [5]). Это позволило упростить использование кластера для неспециалистов по параллельным вычислениям и тем самым обеспечить эффективную загрузку (в среднем более 90% по процессорному времени) суперкомпьютерных ресурсов.

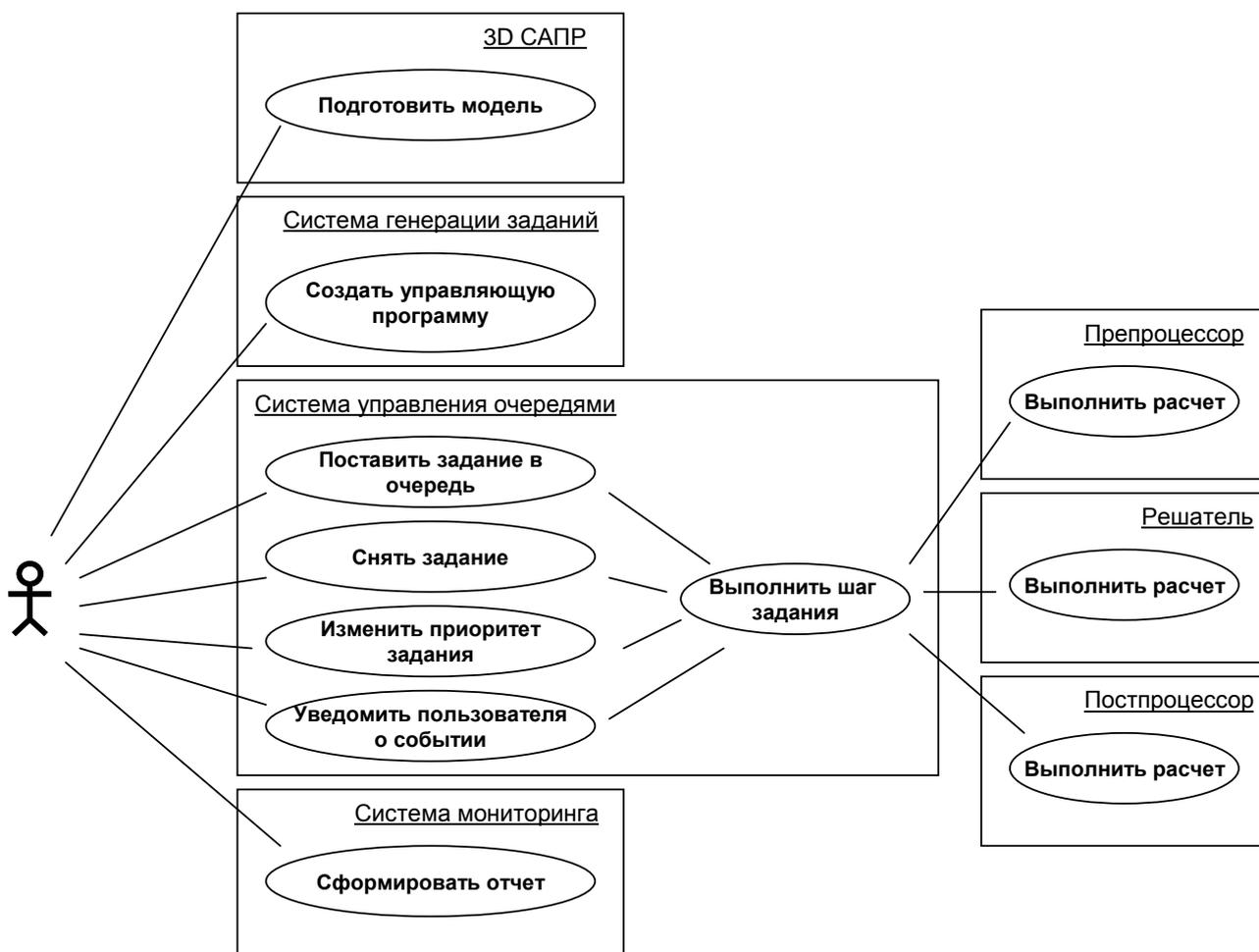


Рис. 5.6. Многопользовательская среда инженерных расчетов

5.5. КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Можно выделить следующие типы испытаний ГТД и их узлов:

- Научно-исследовательский эксперимент, проводимый на стадии разработки;
- Испытания на этапе доводки и подготовки к сертификационному тестированию;
- Сертификационные и государственные испытания;
- Серийные испытания при производстве.

Стенды для опытных (научно-исследовательских, доводочных и сертификационных) испытаний являются гораздо более сложными инженерными сооружениями, чем стенды для серийных испытаний. Основное различие между ними – количество каналов сбора данных, а также наличие специализированных систем (заброс льда, заброс птицы, обдув боковым ветром и т.д.), которые используются только для сертификационных испытаний в соответствии с требованиями авиационных властей.

Таблица 5.3. Число каналов сбора данных при испытаниях ГТД.

Вид измерений	Опытные испытания	Серийные испытания
Стационарные и переходные процессы	2000	200
Динамические процессы	250	10
Расчетные каналы	200	10
Аналоговые сигналы стендовых систем	40	40
Дискретные сигналы стендовых систем	150	150

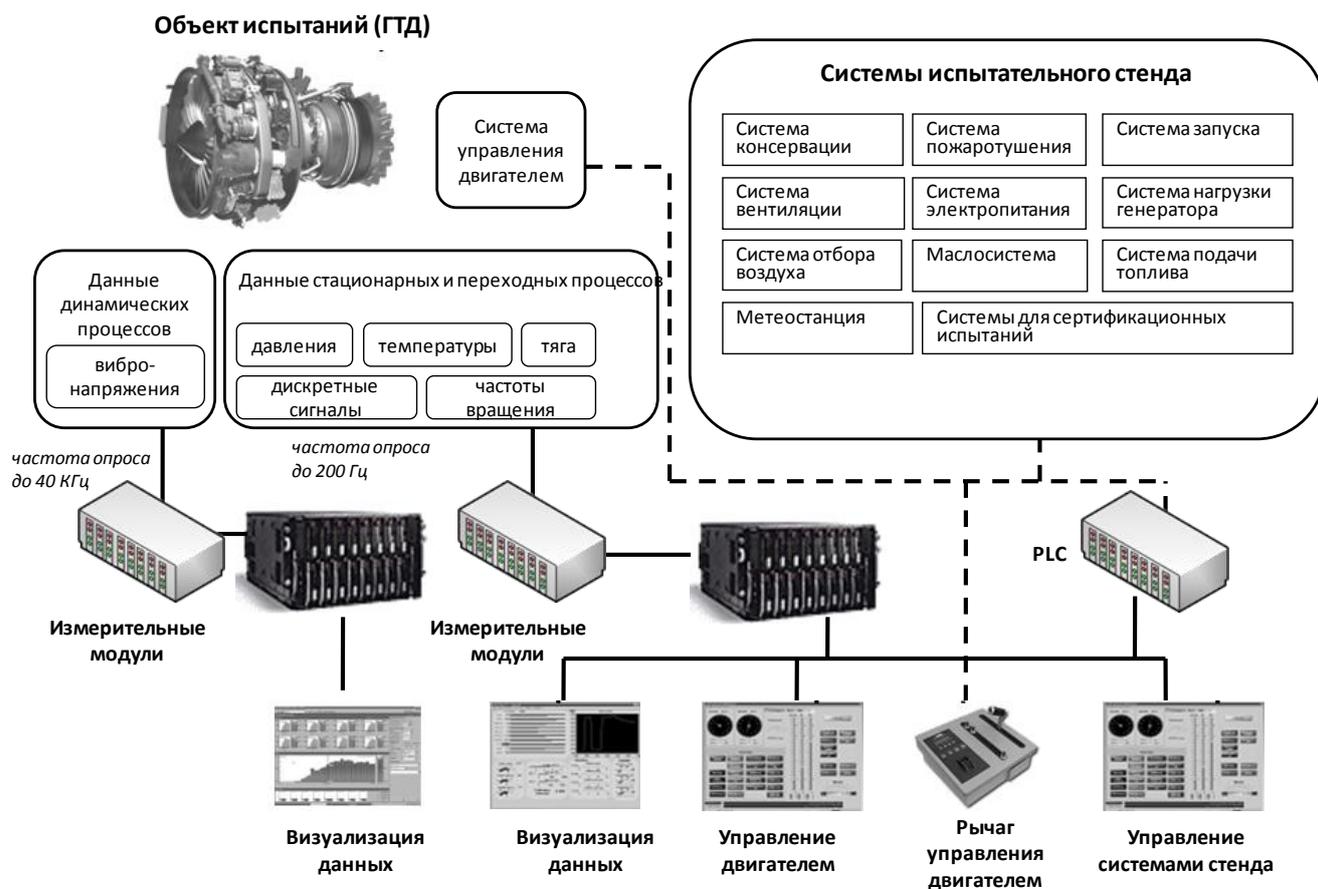


Рис. 5.7. Структурная схема испытательного стенда.

Измерительная система испытательного стенда состоит из стендовых датчиков, каналов связи, устройств нормализации сигналов, вторичных преобразователей – собственно измерительных модулей, компьютера и измерительного программного обеспечения. Среди измерительных каналов можно выделить каналы сбора данных стационарных и переходных процессов (температура, давление и т.д.) с частотами опроса до 2 КГц, каналы динамических процессов (как правило, это вибронпряжения и пульсации давления) с частотами опроса до 40 КГц, расчетные каналы (эти значения вычисляются на основании измеренных величин в темпе процесса), а также дискретные и аналоговые сигналы, поступающие от стендовых систем и системы управления двигателем. Типичные количества измерительных каналов для опытных и серийных испытаний приведены в таблице 5.3, структурная схема испытательного стенда представлена на рисунке 5.7.

На основании сказанного выше можно сформулировать следующие требования к системе сбора данных и управления стендом, которую в дальнейшем будем называть УИВК (управляющий измерительно-вычислительный комплекс):

- Возможность измерения сигналов с разных видов датчиков;
- Встроенные схемы нормализации, преобразования и согласования сигналов;
- Возможность дискретного управления исполнительными элементами стенда и испытуемого изделия;
- Высокая надежность, в том числе механическая прочность и виброустойчивость;
- Возможность автоматического создания протоколов испытаний;
- Высокая производительность – возможность сбора и обработки данных в режиме реального времени, возможность проведения испытаний в параллельном режиме;
- Возможность визуализации в темпе процесса и сохранения больших объемов измеренных данных;
- Возможность записи и просмотра «черного ящика» - регистрация необходимых параметров до / после наступления критического события;
- Функционально гибкое программное обеспечение, дающее возможность корректирования программ стендовых испытаний непосредственно во время их проведения, а также применения встроенных алгоритмов обработки и постобработки данных измерений.

Структурно в УИВК можно выделить следующие подсистемы:

- Подсистема управления стендом и объектом испытаний. Реализуется, как правило, на базе программируемого логического контроллера (PLC);
- Рычаг управления двигателем (РУД). В процессе испытаний оператор задает положение РУД, а автоматика по заданным законам преобразует его в циф-

ровой код, который через систему управления двигателем устанавливает положение дроссельной заслонки. Для длительных циклических испытаний необходимо использовать автоматическое управление РУД по заданной программе. Это предотвращает влияние ошибок испытателя и обеспечивает повторяемость результатов отдельных циклов испытаний;

- Подсистема сбора данных стационарных и переходных процессов. Предоставляет механизмы визуализации и сохранения данных, а также средства организации расчетных каналов;
- Подсистема сбора динамических данных. Также включает механизмы визуализации и записи данных и создания расчетных каналов;
- Подсистема синхронизации времени, поскольку измерения физических величин разного типа могут осуществляться с разной частотой опроса.

Подсистемы управления стендом и сбора данных стационарных процессов, как правило, поставляют компании, оказывающие инжиниринговые услуги по созданию стендов под ключ - MDS Aero Support (Канада) [222], Cenco International (Бельгия – США) [223]. При этом стоимость одного измерительного канала может достигать 2 тысяч евро, кроме того, эти системы, как правило, допускают использование оборудования только данных поставщиков. Известен также ряд российских поставщиков, предлагающих программно-аппаратные комплексы с собственной архитектурой. Системы динамических измерений поставляются такими компаниями, как DSPCon (США) [224], LMS International (Бельгия) [225], цена одного канала может достигать 5 тысяч евро. Поэтому общие затраты на автоматизацию стендов чрезвычайно велики и составляют 30-40% общей стоимости стенда. Учитывая данные обстоятельства на НПО «Сатурн» в рамках программы модернизации испытательной базы было принято решение о разработке собственного УИВК, который должен отвечать всем вышеперечисленным требованиям и при этом обеспечивать сокращение стои-

мости создания канала в 3-4 раза, а эксплуатационные расходы в 10 раз по сравнению с системами зарубежных поставщиков.

Согласно рекомендациям Главы 3 последовательно рассмотрим архитектуры бизнес-процессов, данных, приложений и технической архитектуры. Упрощенная модель бизнес-процессов опытных испытаний ГТД и используемых ими данных представлена на рисунке 5.8 в нотации BPMN 1.2 [226].

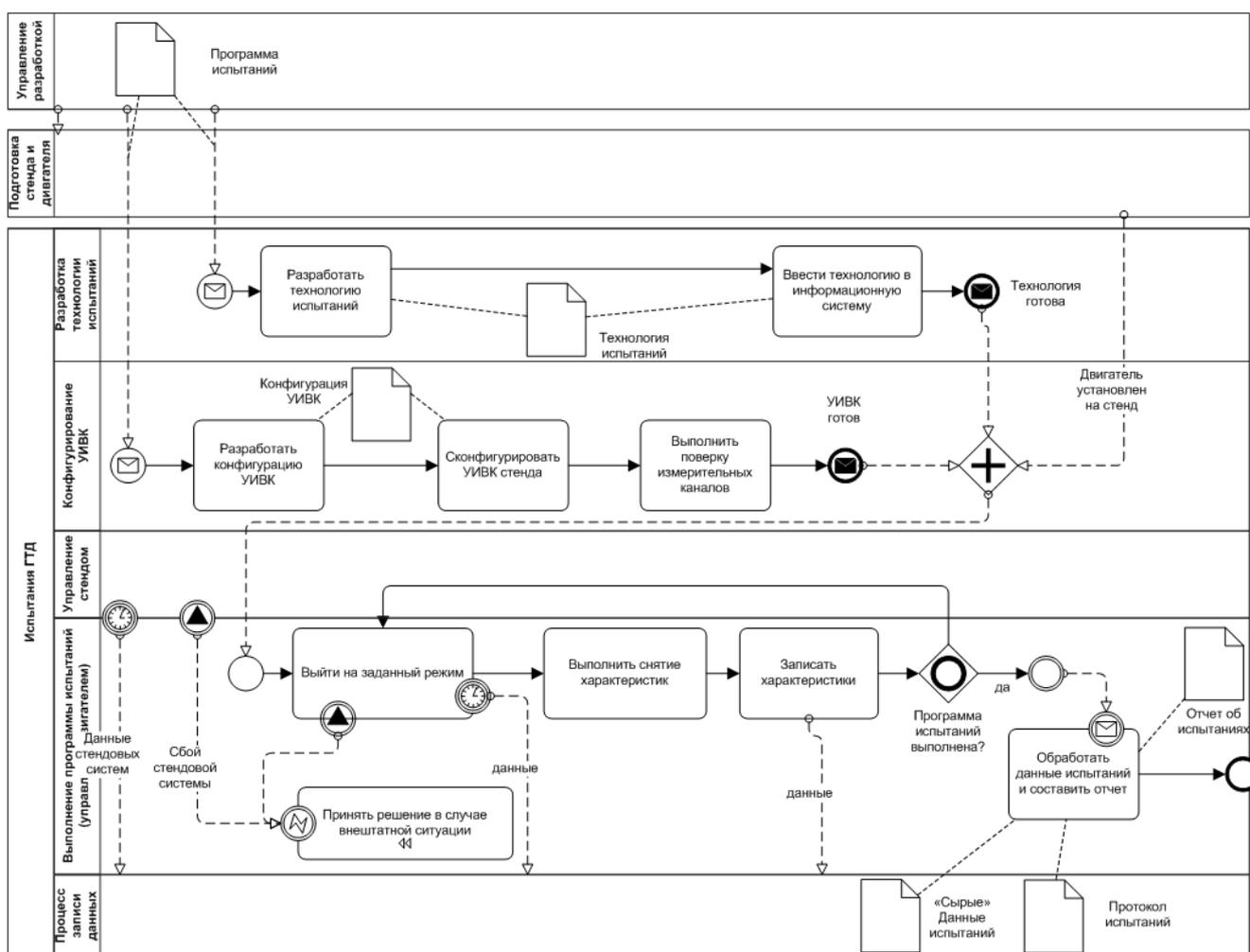


Рис. 5.8. Бизнес-процессы опытных испытаний ГТД

Согласно данной нотации каждая горизонтальная полоса (lane) соответствует одному процессу, которые состоят из шагов. Группа однородных процес-

сов может быть объединена в пул (pool). В данном случае в один пул объединены процессы, выполняемые непосредственно на испытательной станции. Процессы выполняются асинхронно, взаимодействие между ними осуществляется с помощью передачи сообщений (изображаются штрих - пунктирными линиями со стрелочкой на конце). Детерминированная последовательность выполнения шагов процесса обозначается сплошной линией со стрелочкой на конце. В случае наступления какого-либо события, которое необходимо обработать (прерывание по таймеру, ошибка и т.д.), выполнение шага процесса или процесса в целом может быть прервано с помощью «исключения» (exception). Исключения изображаются окружностью на границе прямоугольника, соответствующего данному шагу, или линии, соответствующей процессу. Внутри окружности может быть указан тип исключения. Данные, ассоциированные с шагом процесса, изображаются с помощью пиктограммы документа.

Как следует из рисунка 5.8 в процесс подготовки и проведения испытаний включены несколько подразделений предприятия, поэтому рассматриваемая система относится к третьему уровню сложности модели, представленной на рис. 3.1. Ее создание должно было позволить сократить не только затраты на проведение испытаний T_w , но и затраты на интеграцию всех данных и управление процессом T_m и T_a^{int} .

Ключевыми с точки зрения обеспечения испытаний на стенде являются процессы и функции (шаги процессов), требования к автоматизации которых приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4. Процессы обеспечения испытаний ГТД

Процесс	Требования к автоматизации
Разработка технологии испытаний	При разработке технологии описывается последовательность действий вида «режим двигателя (частота вращения, время наработки) – выполняемые измерения». Необходимо иметь эту последовательность в электронном виде для исключения ошибок персонала в процессе испытаний и обеспечения прослеживаемости.
Конфигурирование УИВК	При большом количестве каналов необходимо обеспечить централизованную настройку всех компонентов системы, чтобы избежать ручного конфигурирования каналов при изменении программы испытаний. Конфигурация УИВК должна сохраняться во внешнем файле.
Метрологическая поверка	В соответствии с требованиями сертификационных органов все измерительные каналы должны быть метрологически поверены. При большом количестве каналов необходимы средства автоматизации, упрощающие эту задачу.
Управление стендовыми системами	Необходимо иметь централизованную систему мониторинга и управления всеми стендовыми системами с современным интерфейсом.
Управление объектом испытаний (ГТД)	Необходимо иметь автоматизированную систему управления РУД по заранее заданному закону, интегрированную с мониторингом ключевых параметров двигателя.
Запись данных	Необходимо обеспечивать возможность одновременной записи разных наборов параметров с разной частотой дискретизации.
Формирование отчета по результатам испытаний	Необходимо предоставить гибкую систему формирования пользовательских экранов для наблюдения за параметрами изделия в темпе процесса, а также средства генерации отчетов по итогам испытаний.

В результате анализа этой модели процессов и данных выделены следующие приложения (АРМы), которые должны входить в состав УИВК:

- АРМ бригадира-испытателя – предназначен для конфигурирования УИВК и контроля всех систем в процессе испытаний;
- Универсальный АРМ инженера-аналитика для специалистов в различных предметных областях (термодинамика, акустика, прочность и т.д.) с возможностью конфигурирования экранов пользователем в режиме WISIWYG;
- АРМ управления стендом – предназначен для управления стендовыми системами и РУД;
- АРМ метролога, должен обеспечивать поверку сквозного канала (от датчика до отображающего устройства), групповую калибровку, поверку и градуировку датчиков и каналов выдачу метрологических протоколов установленного образца;
- АРМ технолога – предназначен для пошагового описания процесса испытаний (последовательности выхода на режимы двигателя и выполняемых измерений);
- Генератор отчетов в текстовой, табличной и графической форме с возможностью экспорта в популярные форматы (PDF, CSV, JPEG и др.).

На уровне технической (системной) архитектуры выделены следующие компоненты:

- Системы сбора данных (ССД), обеспечивающие изоляцию аппаратного и программного уровней УИВК, поставку данных в унифицированной форме. ССД различаются по виду собираемых данных и, соответственно, виду измерительного оборудования. В настоящее время реализованы ССД для сбора данных на оборудовании National Instruments, термостанций и тензостанций производства VXI Technology и т.д.

- Сервер - расчетное ядро системы, обеспечивающее обмен данными между всеми компонентами системы, сохранение значений каналов между запусками, ведение лог-файлов и запись всех данных («сырых» данных);
- Система записи, обеспечивающая запись контрольных точек, динамических протоколов, протоколов аварийного останова. Разработан собственный формат хранения данных на основе языка XML;
- Система синхронизации времени, обеспечивающая формирование единой системы временных отсчетов для всех компонентов УИВК, ведение таймеров для расчета времени работы ГТД на режимах и измерение временных интервалов, а также реализацию триггерных событийных каналов;
- Монитор, осуществляющий запуск компонентов системы, проверку их функционирования и автоматический перезапуск в случае сбоев, а также отображение состояния всех каналов.

Поскольку при разработке УИВК была поставлена задача радикально сократить затраты на его создание и эксплуатацию, при выборе конкретных решений как можно шире использовались стандартные технологии, протоколы и оборудование. Такой подход позволяет создать модульную распределенную систему, различные компоненты которой могут заменяться и обслуживаться независимо друг от друга. При этом также снижаются квалификационные требования как к обслуживающему персоналу, так и к инженерам, занятым развитием комплекса.

В данном конкретном случае были выбраны протоколы Ethernet и TCP/IP для организации связи компонентов системы, для промышленных сетей – протоколы ProfiBus и др., для связи с САУ двигателя – ARINC-429, для синхронизации времени – IRIG. Основу измерительной части составляет оборудование компании National Instruments, поддерживающее стандарт PXI, для согласования сигналов измерительных систем используется стандарт SCXI. Также предусмотрен сбор данных с приборов с интеллектуальным выходом (расходо-

ры, терморегистраторы) по протоколу ModBUS. Все компьютеры, используемые в составе УИВК, имеют стандартную архитектуру IA32/IA64. Аппаратная структура УИВК, созданного с использованием перечисленных выше принципов показана на рисунке 5.9.

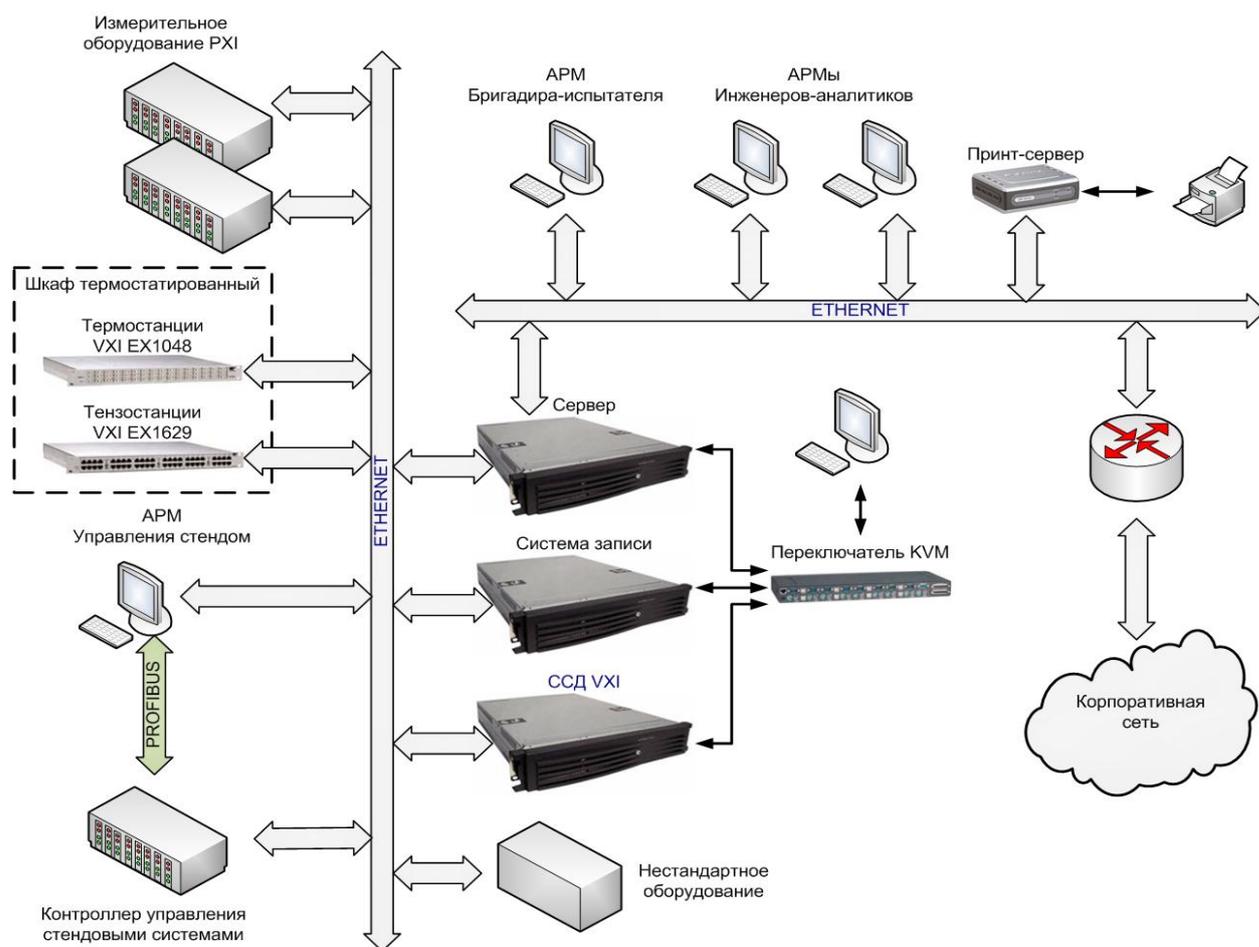


Рис. 5.9. Аппаратная структура УИВК

УИВК фактически представляет собой локальную сеть испытательной станции, в которой также реализованы основные сетевые сервисы – печать, совместный доступ к файлам и т.д. Для предотвращения несанкционированного доступа к данным испытаний УИВК подключается к корпоративной сети с помощью маршрутизатора.

Системное программное обеспечение, обеспечивающее функционирование системы (сервер, монитор, система записи), реализовано на языке С, экраны отображения информации – с помощью виртуальных инструментов, созданных в системе LabView (использование этой системы для автоматизации серийных испытаний ГТД рассмотрено в работе [227]). Однако опыт эксплуатации созданных УИВК показал, что возможность применения виртуальных инструментов LabView ограничена системами с небольшим количеством каналов и малыми частотами опроса. Поэтому в настоящее время разработан ряд собственных средств отображения быстро изменяющихся параметров.

В таблице 5.5 приведены основные характеристики созданного комплекса по сравнению с системами компании Мера и MDS Aero Support (система ProDAS). Как следует из приведенных данных, созданный УИВК превосходит аналоги по функциональности и в то же время обеспечивает сокращение затрат на внедрение и эксплуатацию.

Увеличение числа каналов сбора данных и частот опроса ведет к резкому росту объема получаемой информации — общий объем данных опытных испытаний по одной модели нового двигателя может достигать 1 Пбайт, причем эти данные необходимо хранить на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Для управления получаемыми при испытаниях данными требуется специализированное программное обеспечение, позволяющее производить поиск, извлечение и постпроцессорную обработку результатов. Для этих целей на НПО «Сатурн» была разработана собственная система, предоставляющая базовые механизмы поиска, средства создания шаблонов документов (протоколы испытаний, отчеты), которые автоматически заполняются данными, и инструменты визуализации и постпроцессинга.

Таблица 5.5. Характеристики УИВК

	Мера	MDS Aero Support	НПО «Сатурн»
Архитектура системы	Несколько ССД + 1 АРМ	1 сервер + несколько АРМ	Модульная распре- деленная структура
Виды АРМ (возмож- ность настройки)	1 управляющий (да)	1 управляющий (нет), инженерные (да)	1 управляющий (да), инженерные (да)
Конфигурирование	изменение про- граммного кода системы	XML с экспортом в файл настройки	Единый configura- ционный файл XML
Макс. количество ка- налов	100 на крейт	Без ограничений	Без ограничений
Макс. скорость опроса	4 канала – 50 Гц, прочие – 0,5 Гц	200 Гц	100 Гц
Поддерживаемые ап- паратные средства	Мера, PXI	NI, VXI, Pressure Systems, ARINC	NI, PXI, LXI, VXI, Pressure Systems, ARINC
Интеграция с системами управления	Дискретные сиг- налы	Дискретные сигналы	Siemens Simatic, NI FieldPoint, дискрет- ные сигналы
Формат выходных данных	BIN, TXT	XML, CSV	XML, CSV

Модель бизнес-процессов подготовки, сбора и обработки данных испытаний при разработке ГТД представлена на рис. 5.10 в нотации BPMN 1.2 [226] (это модель является более общей, чем представленная на рис. 5.8).

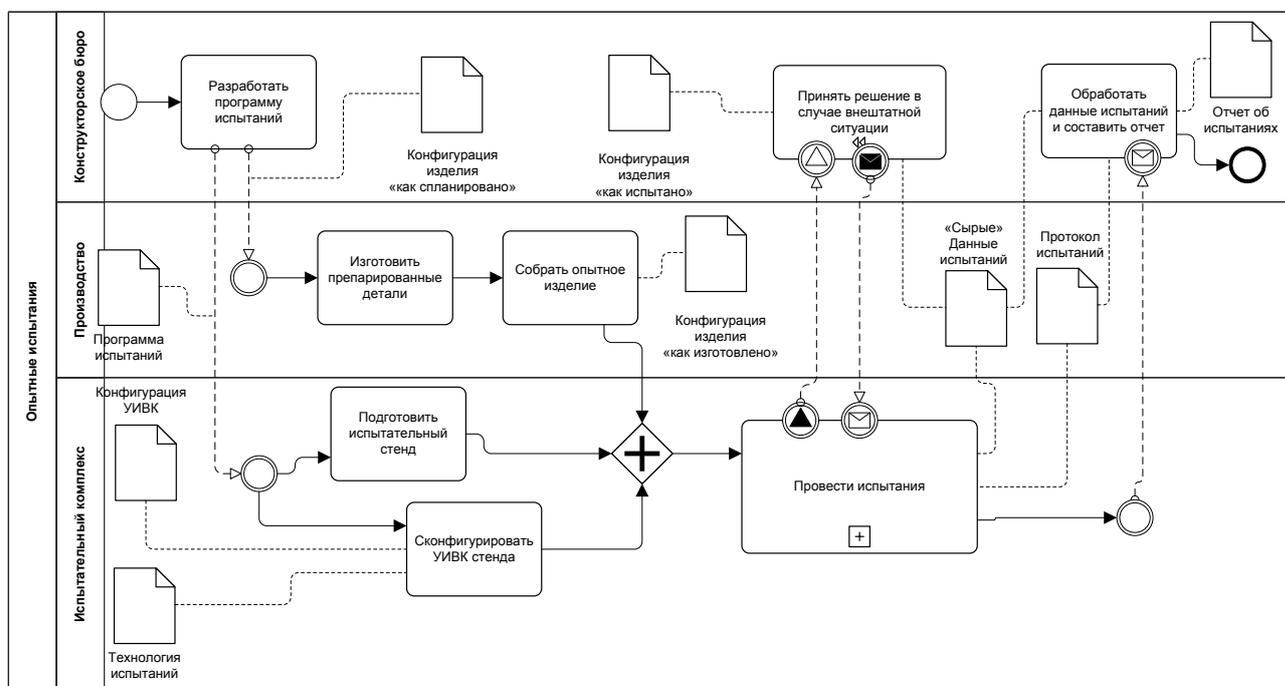


Рис. 5.10. Процессы подготовки, сбора и обработки данных испытаний при разработке ГТД

Все опытные испытания проводятся на основании программы испытаний, которую разрабатывают конструкторские подразделения. Для каждого испытания формируется конкретная конфигурация изделия, которая может включать специально препарированные детали (например, с наклеенными тензодатчиками). Данная конфигурация («как запланировано») вычисляется на основании сведений о применимости деталей и передается в производство. В процессе производства формируется конфигурация «как изготовлено», включающая индивидуальные номера прослеживаемых деталей, данные об их изготовлении, а также документы, подтверждающие разрешение использовать детали с откло-

нениями от требований, заданных конструкторами. Готовое изделие передается на испытательную станцию.

Параллельно с изготовлением опытного изделия ведется подготовка испытательного стенда, включая приобретение и установку необходимого оборудования и систем для специ испытаний, разработку технологии испытаний, конфигурирование и метрологическую поверку управляющего измерительно-вычислительного комплекса (УИВК).

В процессе испытаний по различным причинам могут быть заменены те или иные детали и узлы двигателя, данные замены фиксируются в конфигурации «как испытано». Соответственно, результаты испытаний (как «сырые» данные, так и сгенерированные на их основе отчеты) должны быть увязаны с конкретной конфигурацией «как испытано». Кроме того, некоторые детали имеют ограничения по количеству циклов запуска, времени наработки и т.д. Необходимо обеспечить прослеживаемость этих деталей и фиксацию значений ограничиваемых параметров.

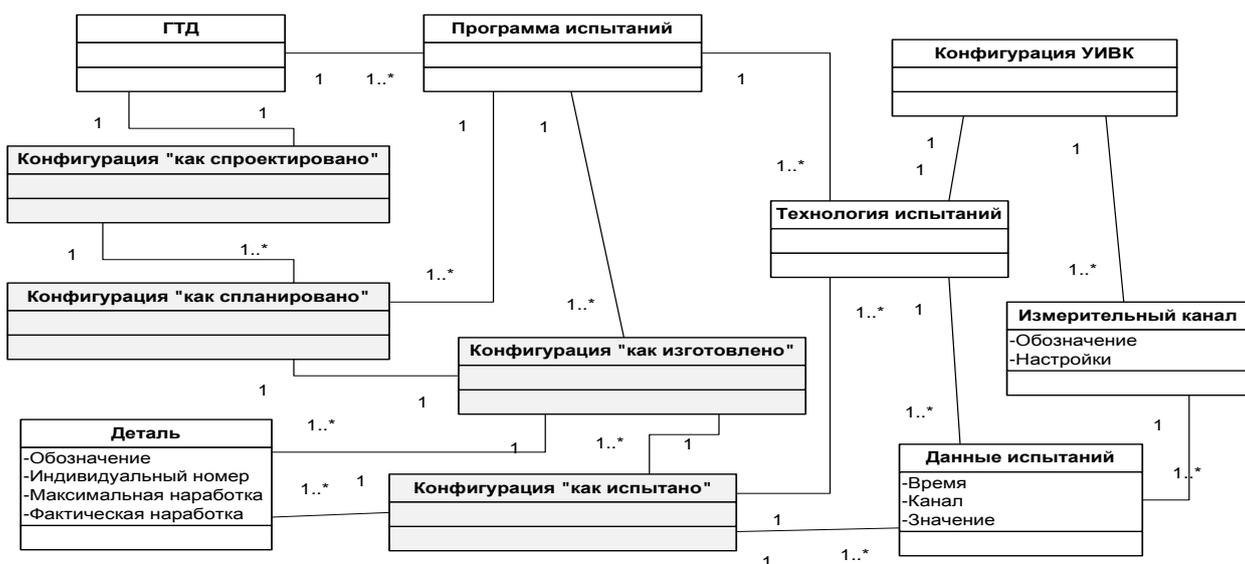


Рис. 5.11. Диаграмма классов UML.

Согласно требованиям авиационных сертифицирующих органов все вышеперечисленные информационные объекты должны быть сохранены в форме, обеспечивающей прослеживаемость. Диаграмма классов UML для описанных выше данных приведена на рисунке 5.11.

На основании вышеизложенного очевидно, что необходима информационная среда, обеспечивающая структурированный доступ ко всем данным моделирования в рамках сложного мультидисциплинарного проекта, каким является создание нового ГТД (особенно если ставится также задача интеграции данных испытаний с трехмерными моделями САПР и результатами инженерного анализа). Следует отметить, что создание подобной среды на основе одного продукта управления данными (например TeamCenter Engineering [228] или MCS SimManager [229]) невозможно. Каждый подобный продукт, так или иначе, накладывает ограничения на модель данных, а также предлагает свой подход к организации поддерживаемых бизнес-процессов. Поэтому при создании систем был выбран прагматичный подход, согласно которому максимально используется функционал систем «из коробки», но в случае необходимости всегда рассматривается вариант альтернативной разработки.

Дополнительным аргументом в пользу такого подхода было требование обеспечения высокой адаптивности процесса управления данными испытаний (см. Главу 3 диссертации). На момент создания системы уже была очевидна необходимость вступать в альянсы с другими организациями для создания различных продуктов, что соответственно требовало включения в нее простых средств интеграции для сокращения общих затрат T_a^{ext} на управление проектом в рамках альянса.

Архитектура приложений, обеспечивающих работу пользователей НПО «Сатурн» с описанными выше данными, и интерфейсов между приложениями представлена на рисунке 5.12. При этом каждый объект может создаваться и изменяться только в одном приложении, если необходимо его использование в

другой системе, производится копирование через программный интерфейс. Идентификация объекта в различных системах обеспечивается уникальностью его обозначения, которое совпадает с обозначением чертежа детали или сборки.

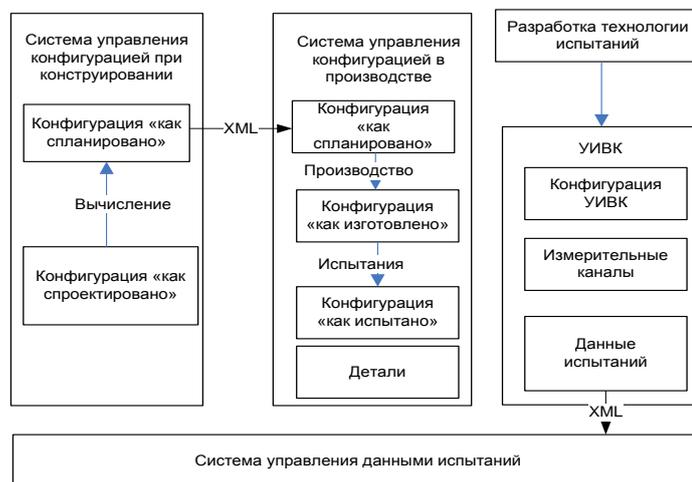


Рис. 5.12. Архитектура приложений.

В процессе испытаний создаются и используются следующие виды данных:

- данные стационарных процессов (контрольные точки) в единицах физических величин;
- данные переходных процессов;
- данные динамических процессов;
- результаты предварительной обработки данных на стенде (редуцированные данные и отчеты в форматах MS Office, файлы в графических форматах и т.д.);
- любые файлы, имеющие отношение к испытаниям (например, программа испытаний в формате MS Word или конфигурационный файл УИВК в формате XML).

Особо необходимо остановиться на обработке данных динамических процессов. Современные стенды для опытных испытаний имеют до 250 измерительных динамических каналов с частотами опроса до 40 КГц, и объем данных, генерируемых за одно испытание, чрезвычайно велик. Поэтому предварительная обработка динамических данных производится с помощью стендовой системы во время испытаний или сразу после их окончания. Результаты обработки передаются в описываемую здесь систему управления данными, исходные данные переносятся на магнитную ленту и хранятся в течение жизненного цикла ГТД.

Так как рассматриваемая система должна поддерживать многопользовательский режим, ее разработку решено было выполнить в архитектуре «клиент – сервер». Минимальные требования к функциональности серверной части были сформулированы следующим образом:

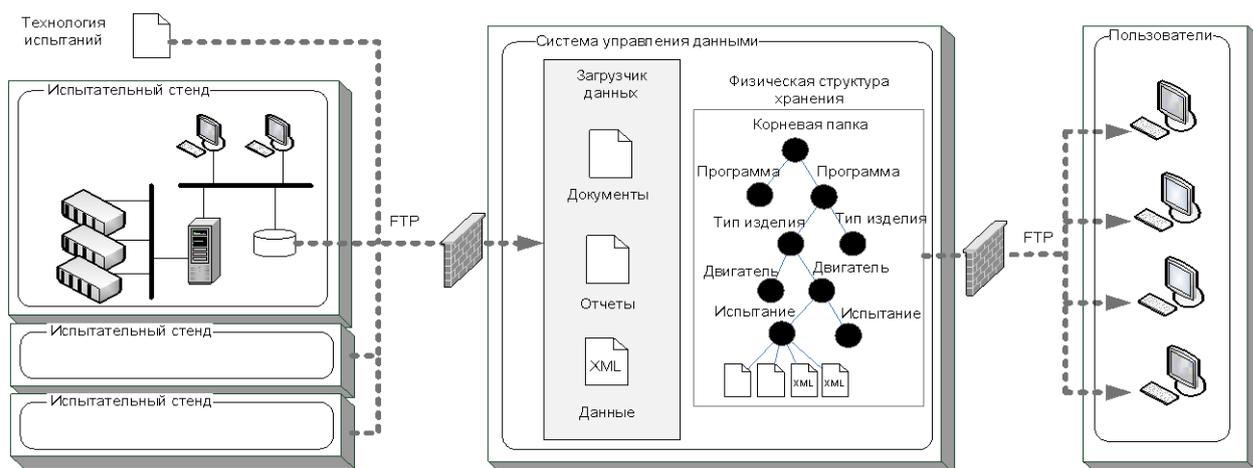
- загрузка данных по локальной сети непосредственно со стендовых УИВК;
- централизованный архив данных с иерархической системой хранения, обеспечивающей перемещение неиспользуемых данных на магнитные ленты;
- хранение результатов испытаний в течение всего жизненного цикла двигателя;
- разграничение доступа к данным для различных групп пользователей (по двигателю, испытанию, группе измерительных каналов);
- интеграция каталога пользователей с внешними источниками по протоколу LDAP.

Клиентское рабочее место должно обеспечивать удобный доступ к данным, а также набор базовых операций анализа, наиболее широко используемых при проектировании ГТД. Требования к клиентскому рабочему месту:

- средства сохранения индивидуальной настройки экранного интерфейса;

- поиск данных по любому атрибуту записи базы данных или комбинированному запросу (например, по дате испытаний, по названию параметра, по названию измерительной системы, с помощью которой получены эти данные и пр.);
- 2-мерная и 3-х мерная визуализация;
- редактирование визуализируемых значений с обеспечением версионности наборов данных;
- просмотр текста и изображений;
- средства автоматизации процедур создания отчетов и графиков (API);
- функции передискретизации, в том числе адаптивной передискретизации (переход от временного представления сигнальных функций к угловому);
- средства построения дроссельных характеристик;
- открытый программный интерфейс для создания пользовательских функций обработки данных.

Отметим, что упомянутые выше системы общего назначения для управления инженерными данными Siemens TeamCenter и MCS SimManager не обладают необходимой функциональностью. На рынке также имеется специализированная система для управления данными испытаний Intespace DynaWorks [230], практически удовлетворяющая перечисленным требованиям. Однако анализ данной системы показал, что она разработана с использованием несовместимых технологий (например, одна часть экранных форм реализована с использованием X-сервера и протокола X11, другая – на платформе Java), что резко повышает требования к аппаратному обеспечению и усложняет поддержку. Поэтому было принято решение о собственной разработке.



5.13. Техническая архитектура системы управления данными испытаний

Техническая архитектура системы представлена на рисунке 5.13. В системе предусмотрен загрузчик данных, который по команде оператора загружает все данные с жестких дисков УИВК. Отметим, что и система хранения данных, и УИВК разработки НПО «Сатурн» используют единый формат хранения данных на основе языка разметки XML. При загрузке данных с измерительных систем других поставщиков используются конвертеры в указанный формат данных.

Внутренняя физическая структура хранения данных реализована на основе файловой системы, доступ ко всем данным, как со стороны загрузчика, так и со стороны пользователя, осуществляется по протоколу FTP. Для обеспечения безопасности используется изоляция различных сегментов сети при помощи VPN. Поверх физической структуры хранения реализованы виртуальные пути доступа («стенд – тип изделия – двигатель – испытание» и «вид испытания – тип изделия – двигатель – испытание»), которые позволяют совершать навигацию альтернативным способом. Перечисленные здесь и на рисунке атрибуты означают следующее:

- Программа – программа разработки нового изделия;

- Тип изделия – опытное, сертификационное, серийное и т.д.;
- Двигатель – индивидуальный номер двигателя;
- Сборка – вариант конфигурации данного двигателя;
- Стенд – номер (наименование) испытательного стенда;
- Вид испытания – определяет назначение данного испытания (например, тензометрирование лопаток вентилятора или длительная наработка);
- Испытание – время проведения испытаний.

Организация хранения на основе файловой системы позволила предоставить пользователям интуитивно понятный интерфейс, совместимый с традиционными файловыми менеджерами. Графический интерфейс системы представлен на рисунке 5.14, где цифрами обозначены: 1 – область выбора папки, содержащей данные испытаний, 2 – область выбора файлов данных, 3 – область отображенных файлов данных, 4 – график изменения параметров, записанных в отображенных файлах, в зависимости от времени, 5 – результаты обработки отображенных данных (в данном случае построена дроссельная характеристика), 6 – окно, куда выводятся сообщения системы.

В результате выполнения описанных работ были созданы системы, обеспечивающие комплексную автоматизацию всех процессов испытаний ГТД, включая управление стендом, сбор, хранение и обработку данных. Данные системы интегрированы в единую виртуальную среду с системами управления конфигурацией, цифровым макетом и результатами расчетов, что обеспечивает структурированный безопасный доступ ко всем данным проекта. При этом значительно сокращены затраты как на создание и эксплуатацию описанных здесь систем, так и в итоге на разработку новых изделий с их помощью.

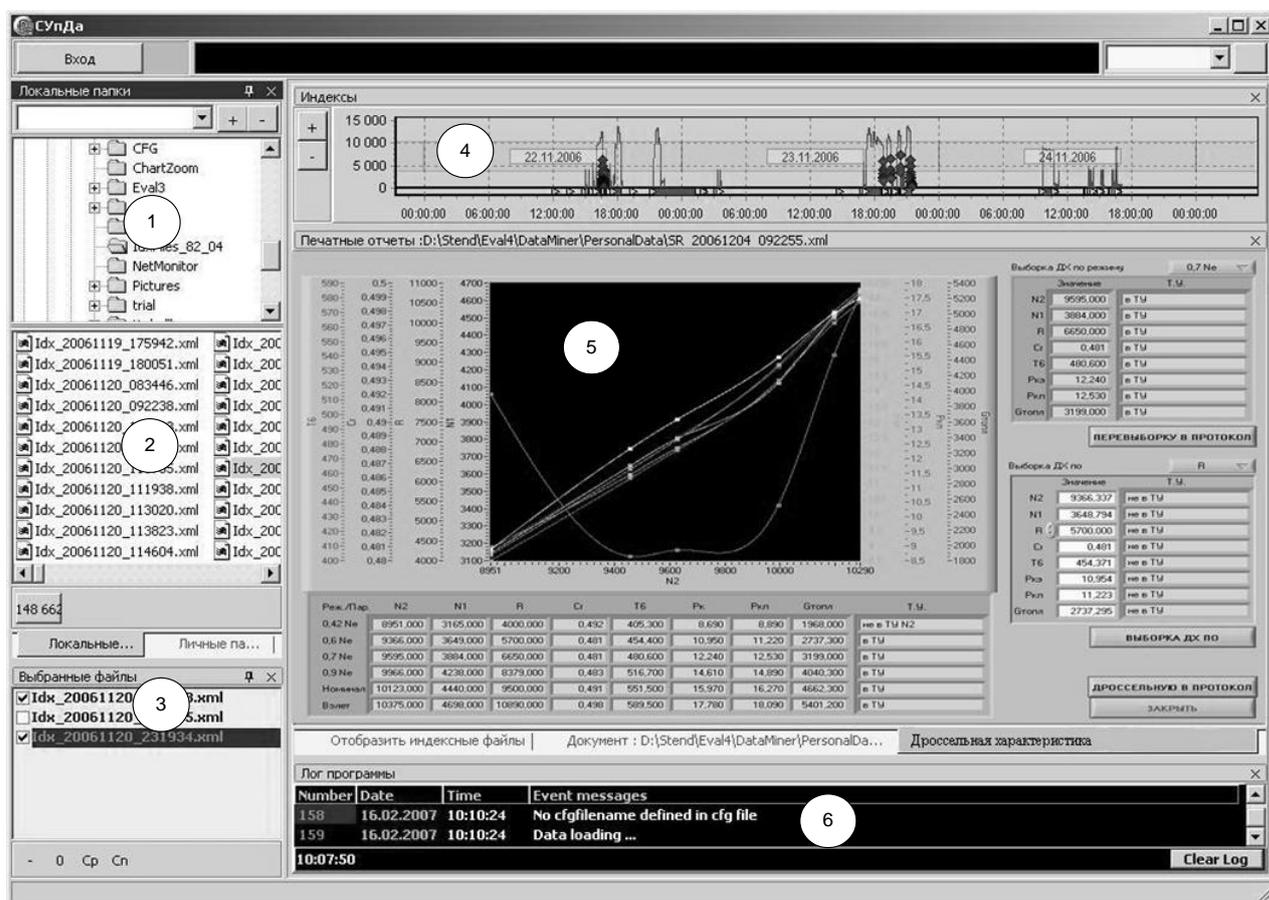


Рис. 5.14 Пользовательский интерфейс системы

5.6. ВЫВОДЫ

Предложенная в диссертации методология стратегического управления развитием ИТ практически реализована в ОАО «НПО «Сатурн», где на основании оценки перспектив бизнес-стратегии разработана и внедрена виртуальная среда проектирования новых продуктов, включающая системы 3D параллельного инжиниринга, инженерного анализа на базе суперкомпьютерных технологий и сбора, обработки и хранения данных испытаний; созданы соответствующая ИТ-инфраструктура и организационная структура ИТ-подразделения для

реализации изложенных выше методов, разработаны и внедрены необходимые программные системы, продемонстрирована эффективность результатов применения методологии. При создании системы были учтены современные тенденции в организации процесса проектирования: открытые инновации, 3D параллельный инжиниринг, ориентация на семейства продуктов на базе единой платформы.

Создание системы шло последовательно, «снизу – вверх» в соответствии с моделью, представленным на рис. 3.1. На первом этапе были реализованы системы, направленные на снижение трансформационных затрат T_w (сети, ПК, локальные системы CAD/CAM/CAE). На втором – обеспечена групповая работа в подразделениях, ответственных за разработку продуктов и процессов их изготовления (интеграция CAD/CAM/CAE на базе мастер–моделей под управлением PDM-системы), что привело к сокращению затрат T_m . На третьем этапе – интегрированы все данные, связанные с разработкой продукта (модели, фактические данные производства, данные испытаний), что позволило сократить T_a^{int} . На основании анализа различных вариантов организации интерфейсов с системами соразработчиков было показано, что наиболее эффективная стратегия развития ИС сводится к использованию единой внутренней системы и созданию универсальных интерфейсов с системами потенциальных заказчиков.

Создание такой системы оказало значительное положительное влияние на все подразделения предприятия, вовлеченные в процесс создания новой продукции. Сроки разработки новых ГТД были сокращены в 2 раза, соответствующие затраты – в 3 раза. Полностью в новой виртуальной среде проектирования были разработаны авиационные двигатели SaM146 (предназначен для регионального самолета Sukhoi Superjet -100) и АЛ-55И (создан по контракту с индийской фирмой HAL для учебно-тренировочного самолета НТ-36 индийских ВВС).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы и результаты диссертационной работы заключаются в следующем.

Создание и институционализация ИТ-стратегии является важнейшим инструментом построения эффективного предприятия. Существующие методы стратегического планирования развития ИТ предполагают в той или иной степени следование корпоративной стратегии более высокого уровня - бизнес-стратегии. Но при этом, в большинстве случаев, формализованная бизнес-стратегия, которой компания действительно следует, отсутствует. Это объясняется высоким уровнем турбулентности внешней среды за счет изменения требований потребителей, действий конкурентов и партнеров, актов регуляторов рынка, дрейфа социальных факторов. Поэтому любая корпоративная стратегия имеет дело не с непредсказуемыми, а с неизвестными факторами. Все это выдвигает требования к адаптивности организации, которая понимается, как способность обнаруживать изменения во внешней среде и эффективно реагировать на эти изменения. Очевидно, что данное требование должно распространяться и на ИС организации, поскольку они фиксируют определенную практику ведения бизнеса, сложившуюся на момент их внедрения.

На основании положений эволюционной экономики и новой институциональной теории в диссертации предложена эволюционная модель фирмы, включающая модель поиска новых принципов поведения и классификацию инновационных действий. Показано, что большая часть инновационных действий, реализуемых с помощью ИТ, направлена на повышение операционной эффективности организации.

На основании построенной эволюционной модели сформулирован подход к стратегическому развитию ИТ, сочетающий взгляды на нее как на перспективу (разделяемая точки зрения на роль ИТ внутри компании), так и как на паттерн (принцип поведения относительно новых ИТ–инициатив). В диссертации разработан паттерн стратегического поведения, включающий модель оценки сложности реализации ИТ–инициатив, количественную метрику измерения эффекта от реализованных ИТ–инициатив и модель обеспечения адаптивности ИС.

Предложенная модель оценки сложности реализации ИТ–инициатив, направленных на повышение операционной эффективности, базируется на классификации трансформационных и транзакционных затрат, снижение которых предполагает рассматриваемая инициатива, что обеспечивает связь ИТ–стратегии и ИТ–архитектуры. При этом в дополнение к традиционным аспектам рассмотрения ИТ–архитектуры (бизнес-процессы, данные, приложения, техническая архитектура) в процесс планирования также включен домен методов управления ИТ, что позволяет синхронизировать внедрение различных практик управления с проектами по внедрению собственно ИС/ИТ. Также предложенная модель отличается тем, что для описание технической архитектуры сегментировано по различным направлениям (сеть, рабочее место, центр обработки данных и т.д.) применительно к потребностям машиностроительного предприятия, работающего в сфере высоких технологий и обеспечивающего поддержку полного жизненного цикла своей продукции.

Предложенный метод измерения эффекта от внедрения ИС базируется на информационной энтропии случайной величины, которой является результат выполнения бизнес-процесса, поддерживаемого ИС, и позволяет оценить уровень неопределенности управляемой системы.

Предложенная модель адаптивной ИС включает структурные параметры, обеспечивающие адаптивность (рассматривается социотехническая модель ИС), и операционные (время, объем и стоимость проведения изменений, устойчивость

процесса проведения изменений), которые позволяют количественно измерить достигнутый уровень адаптивности. Исследованы различные способы поддержания адаптивности ИС, при этом учтены как технологические, так и социальные компоненты системы. Предложена стратегическая модель поддержания адаптивности корпоративной ИС, которая опирается на следующие принципы:

- план повышения зрелости сервисов корпоративной ИС, выделение таких сервисов должно производиться в соответствии с требованиями аксиомы независимости, т.е. создание и развитие каждого сервиса не должны влиять на функционирование и развитие других сервисов;
- сервисы корпоративной ИС поддерживаются и развиваются независимыми группами разработчиков, использующими гибкие (agile) методы разработки;
- все сервисы реализуются на базе корпоративной технологической платформы, которая также планомерно развивается в соответствии с планом повышения зрелости сервисов.

Разработано организационно-методическое обеспечение предложенных методов стратегического развития ИТ, предложена модель организации ИТ-подразделения.

В диссертации показано, что ИТ-стратегия как перспектива должна формироваться на основе взглядов на потенциальные продуктовые инновации и новые бизнес-модели. Проведен анализ современных исследований в этой области, как основные выделены тенденции расширения использования открытых бизнес-моделей (создание новых продуктов в составе инновационных альянсов) и концентрации на ключевых компетенциях. Отображение этих тенденций на функции корпоративной ИС позволяет сделать вывод, что помимо традиционного требования сокращения затрат на автоматизируемые процессы инвестиции в ИТ должны увеличивать открытость и адаптивность организации. На основе этих соображений в диссертации предложена концепция виртуальной среды проектирования, которая объединяет данные различных этапов разработки новой продукции (3D

дизайн продукта и производственных процессов, компьютерное моделирование и оптимизация, натурный эксперимент) и позволяет просто интегрироваться с аналогичными системами партнеров по инновационному альянсу.

В качестве интегрального механизма оценки эффективности стратегического управления ИТ предложено использовать затраты на ИТ-работы и услуги и накопленный ИТ-капитал, приходящиеся на одного информационного сотрудника.

Практическим результатом диссертационной работы является внедрение всех описанных моделей и методов в ОАО «НПО «Сатурн» и ЦИАМ им. П.И.Баранова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зеленков, Ю.А.** ИТ-стратегия на практике [Текст] / Ю.А. Зеленков // Открытые системы. – 2010. – № 9. – С. 42-45.
2. **Шмотин, Ю.Н.** Виртуальная среда проектирования [Текст] / Ю.Н. Шмотин, П.В.Чупин, Ю.А.Зеленков // Открытые системы. – 2010. – № 7. – С. 42-45.
3. **Зеленков, Ю.А.** Формирование ИТ-стратегии предприятия: архитектура, проекты, организация [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вестник РГАТА имени П.А.Соловьева. – 2010. – № 3(18) . – С.190-198.
4. **Зеленков, Ю.А.** Метод многокритериальной оптимизации на основе приближенных моделей исследуемого объекта [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вычислительные методы и программирование. – 2010. – Т.11, № 2. – С. 92-102.
5. **Зеленков, Ю.А.** Многопользовательская среда инженерных расчетов [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вестник РГАТА имени П.А.Соловьева. – 2011. – № 1(19) . – С.123-129.
6. **Зеленков, Ю.А.** Комплексная автоматизация испытаний газотурбинных двигателей. Часть 1: управление стендом и сбор данных [Текст] / Ю.А. Зеленков, В.Ю. Чувилин, В.Е. Журавлев // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15, № 2 (42) . – С. 119-125.
7. **Зеленков, Ю.А.** Комплексная автоматизация испытаний газотурбинных двигателей. Часть 2: хранение и обработка данных [Текст] / Ю.А. Зеленков, В.Ю. Чувилин, В.Е. Журавлев // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15, № 2 (42) . – С. 126-131.
8. **Зеленков, Ю.А.** Оптимизация рабочего диска турбины высокого давления газотурбинного двигателя [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Математическое моделирование. Оптимальное управление. – 2011. – № 3(2) . – С.36-41.

9. **Зеленков, Ю.А.** Текущее состояние и перспективы суперкомпьютерных вычислений при проектировании газотурбинных двигателей [Текст] / Ю.А.Зеленков, Ю.Н. Шмотин, П.В.Чупин // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т.16, № 3 (48) . – С.91-98.
- 10.**Зеленков, Ю.А.** О стратегическом планировании развития информационных технологий в корпорации [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика, выпуск 1.– 2012. – № 46(305). – С.73-87.
- 11.**Зеленков, Ю.А.** Адаптивность корпоративных информационных систем [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вестник РГАТУ имени П.А.Соловьева. – 2012. – № 2 (23). – С. 161-168.
- 12.**Зеленков, Ю.А.** Об измерении эффективности бизнес-процессов и поддерживающих их информационных систем [Текст] / Ю.А. Зеленков // Управление большими системами / ИПУ РАН. – 2013. – Выпуск 41. – С.146-161.
- 13.**Зеленков, Ю.А.** Сервисно-ориентированная модель ИТ-службы крупной организации [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2013. – Том 13, выпуск 3. – С.37-45.
- 14.**Зеленков, Ю.А.** Использование модели скользящих слоев для обеспечения адаптивности корпоративной информационной системы [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2013. – Том 13, выпуск 3. – С.109-116.
- 15.**Логиновский, О.В.** О методологии стратегического управления развитием корпоративных информационных систем в условиях неопределенности [Текст] / О.В. Логиновский, Ю.А. Зеленков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2013. – Том 13, выпуск 3. – С.83-91.

16. **Зеленков, Ю.А.** Текущее состояние и перспективы использования суперкомпьютерных вычислений при проектировании газотурбинных двигателей [Текст] / Ю.А.Зеленков, Ю.Н. Шмотин, П.В.Чупин // Научный сервис в сети Интернет: экзафлопсное будущее: Труды Международной суперкомпьютерной конференции (19-24 сентября 2011 г., г. Новороссийск). – М.: Изд-во МГУ, 2011. – С. 399-406.
17. **Зеленков, Ю.А.** Современные требования к процессу проектирования новых изделий в машиностроении и их реализация в информационных системах [Текст] / Ю.А. Зеленков // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2012). Труды 12-й международной конференции. / Под ред. Е.И. Артамонова. – М.: ООО «Аналитик», 2012. – С. 169-173.
18. **Зеленков, Ю.А.**, Генерация нейронных сетей на основе генетических алгоритмов для задачи классификации образов [Текст] / Ю.А. Зеленков, П.Г. Серебряков, В.Г. Шаров // Моделирование и обработка информации в технических системах. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Рыбинск: РГАТА, 2004. – С.86-89.
19. **Зеленков, Ю.А.** Формирование ИТ – стратегии НПО «Сатурн» [Текст] / Ю.А. Зеленков // Авиадвигатели XXI века. Москва, 6-9 декабря 2005 г. Сборник тезисов докладов, том 3. – М.: ЦИАМ, 2005. – С.170-171
20. **Зеленков, Ю.А.** Система хранения данных об изделии на протяжении его жизненного цикла [Текст] / Ю.А. Зеленков // Авиадвигатели XXI века. Москва, 6-9 декабря 2005 г. Сборник тезисов докладов, том 3. – М.: ЦИАМ, 2005. – С.187-189
21. **Зеленков, Ю.А.** Решение задачи многокритериальной оптимизации с ограничениями на основе приближенных моделей исследуемых функций [Текст] / Ю.А. Зеленков // Материалы XV Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам

- (ВМСППС-2007), 25-31 мая 2007 г., Алушта. – М.: Вузовская книга, 2007. – С. 235-236.
22. **Зеленков, Ю.А.** Виртуальная среда проектирования ГТД [Текст] / Ю.А. Зеленков // Авиадвигатели XXI века: материалы конференции. – М.: ЦИАМ, 2010. – С.1518 – 1520.
23. **Zelenkov, Y.** Evolutionary Approach for IS Strategy: Decision Making Framework and Efficiency Measurement [Электронный ресурс] / Y. Zelenkov // CONFENIS 2012 presentations (6th International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems, 19-21 September 2012, Ghent, Belgium). – Режим доступа: <http://www.slideshare.net/Confenis2012/presentations>
24. **Зеленков, Ю.А.** Поддержание адаптивности информационных систем как основа стратегического управления корпоративными ИТ [Текст] / Ю.А. Зеленков // Сборник трудов второй конференции «Информационные технологии на службе оборонно-промышленного комплекса России» . – М.: ООО “Коннект-ИКТ”, 2013. – С.76 – 77.
25. **Зеленков, Ю.А.** Аппроксимация функций на основе радиальных нейронных сетей, генерируемых при помощи эволюционных алгоритмов [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вестник РГАТА им. П.А. Соловьева: Сборник научных трудов. – Рыбинск, 2004. – № 1–2 (4-6). – С. 87-93.
26. **Зеленков, Ю.А.** Ориентируясь на жизненный цикл [Текст] / Ю.А. Зеленков // Intelligent Enterprise. – 2006. – Спецвыпуск 8. – С. 14-17
27. **Пионтковский, А.С.** IT стратегия «Сатурна» [Текст] / А.С. Пионтковский, Ю.А. Зеленков // Авиапанорама. – 2006. – Май-июнь.
28. **Зеленков, Ю.А.** Использование суперкомпьютеров в машиностроении. Опыт НПО «Сатурн» [Текст] / Ю.А. Зеленков // Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности. / Под ред. В.А. Садовниченко, И.Г. Савина, Вл.В. Воеводина. – М.: Изд-во Московского университета, 2009. – 232 с.

29. **Зеленков, Ю.А.** ИТ-департамент может предлагать прорывные технологии [Текст] / Ю.А. Зеленков // *Intelligent Enterprise*. – 2010. – № 11(221) . – С.23-25
30. **Зеленков, Ю.А.** Проблемы создания информационной системы управления производством в отечественном машиностроении [Текст] / Ю.А. Зеленков // *Information Management*. – 2012. – № 2.– С.68 – 76.
31. **Зеленков, Ю.А.** Стратегическое планирование развития ИТ. Часть 1. Обзор методов формирования ИТ-стратегии [Текст] / Ю.А. Зеленков // *Information Management*. – 2012. – № 3. – С.24-38.
32. **Зеленков, Ю.А.** Стратегическое планирование развития ИТ. Часть 2. Модель принятия стратегических решений в условиях неопределенности [Текст] / Ю.А. Зеленков // *Information Management*. – 2012. – № 4. – С.26-38.
33. **Зеленков, Ю.А.** Стратегическое планирование развития ИТ. Часть 3. Измерение эффективности информационных систем [Текст] / Ю.А. Зеленков // *Information Management*. – 2012. – № 7. – С.42-42.
34. **Зеленков, Ю.А.** Стратегическое планирование развития ИТ. Часть 4. Измерение и поддержание адаптивности информационных систем [Текст] / Ю.А. Зеленков // *Information Management*. – 2013. – № 1. – С. 25-33.
35. **Зеленков, Ю.А.** О согласовании ИТ и бизнеса. Часть 1 [Текст] / Ю.А. Зеленков // *IT Менеджер*. – 2012. – № 9. – С. 16 – 20.
36. **Зеленков, Ю.А.** О согласовании ИТ и бизнеса. Часть 2 [Текст] / Ю.А. Зеленков // *IT Менеджер*. – 2012. – № 10. – С. 32 – 34.
37. **Зеленков, Ю.А.** Искусство бега по граблям [Текст] / Ю.А. Зеленков / *IT Manager*. – 2013. – № 1. – С. 2-9.
38. **Зеленков, Ю.А.** Методология управления развитием информационных систем промышленных предприятий [Текст] / Ю.А. Зеленков, О.В. Логиновский // *Известия высших учебных заведений. Уральский регион*. – 2013. – № 3. – С.57-66.

39. **Зеленков, Ю.А.** Искусство бега по граблям. Стратегическое управление ИТ в условиях неопределенности [Текст] / Ю.А. Зеленков. – М.: Да!Медиа, 2013. – 136 с.
40. **Русаков А.И.** Принципы организации современных широкополосных сетей интегрированных услуг [Текст] / А.И. Русаков, Ю.А. Зеленков. – Ярославль: ЯрГУ, 2006. – 135 с.
41. **Зеленков Ю.А.** Перспективные виды сервиса в высокоскоростных сетях [Текст] / Ю.А. Зеленков, А.И. Русаков. – Ярославль: ЯрГУ, 2006. – 92 с.
42. **Друкер, П.** Задачи менеджмента в XXI веке [Текст] / П. Друкер. – М.: Вильямс, 2007. – 286 с.
43. **Ciborra, C.** The labyrinths of information [Текст] / C. Ciborra. – New York: Oxford University Press, 2004. – 212 p.
44. **Elbanna, A.** Rigid technology and improvised implementation: The case of ERP systems [Текст] / A. Elbanna // Bricolage, Care and Information. Claudio Ciborra's Legacy in Information Systems Research. – New York: Palgrave Macmillan, 2009. – P.327-347.
45. **Devos, J.** Rethinking IT Governance for SMEs [Текст] / J. Devos, H. Van Landeghem, D. Deschoolmeester // Industrial Management and Data Systems. – 2012. – Volume 112, Issue 2. – P. 206-223.
46. **Карр, Н.** Блеск и нищета информационных технологий. Почему ИТ не являются конкурентным преимуществом [Текст] / Н. Карр. – М.: Секрет фирмы, 2005. – 176 с.
47. **Brynjolfsson, E.** Wired for Innovation: How Information Technology is Reshaping Economy [Текст] / E. Brynjolfsson, A. Saunders. – Cambridge, MA: MIT Press. – 2010. – 154 p.
48. **Brynjolfsson, E.** Strength in Numbers: How Does Data-Driven Decisionmaking Affect Firm Performance? (April 2011) [Электронный ресурс] / E. Brynjolfsson,

- L.M. Hitt, H.H. Kim. – Режим доступа: <http://ssrn.com/abstract=1819486> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1819486>
- 49.Эффективность инвестиций в ИТ. Альманах лучших работ [Электронный ресурс] // Information Management. – 2013. – № 8-10. – 193 с. – Режим доступа: <http://infomanagement.rucio.ru/>
- 50.**David, P.** Dynamo and the Computer: An Historical Perspective to the Modern Productivity Paradox [Текст] / P. David // American Economic Review. – 1990. – 80(2). – P. 355-361.
- 51.**Milgrom, P.** The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization [Текст] / P. Milgrom, J. Roberts // American Economic Review. – 1990. – 80(3). – P. 511 – 528
- 52.**Bresnahan, T.** Technical Progress and Co-Invention in Computing and in the Uses of Computers / T. Bresnahan, S. Greenstein // Brookings Papers of Economic Activity: Microeconomics. – 1996. – P. 1-83.
- 53.**Ансофф, И.** Стратегическое управление [Текст] / И. Ансофф. – М.: Экономика, 1989. – 519 с.
- 54.Six Building Blocks for Creating Real IT Strategies [Текст] / Gartner, Inc. – R. Mack, N. Frey. - 2002. – ID Number: R-17-3607.
- 55.**Lederer, A.L.** The Implementation of Strategic Information Systems Planning Methodologies [Текст] / A.L. Lederer, V. Sethi, V. // MIS Quarterly. – 1988. – 12(3). – P. 445-461.
- 56.**Chen, D.Q.** Information systems strategy: reconceptualization, measurement, and implication [Текст] / D.Q. Chen, M. Mocker, D.S. Preston, A. Teubner // MIS Quarterly. – 2010, 34(2). – P. 233–259.
- 57.**Минцберг, Г.** Школы стратегий [Текст] / Г. Минцберг, Б. Альстрэнд, Д. Лэмпел. – СПб.: Питер, 2000 – 336 с.
- 58.**Минцберг, Г.** Стратегический процесс: Концепции, проблемы, решения [Текст] / Г. Минцберг, Дж. Б. Куин, С. Гошал. – СПб: Питер, 2001. – 688 с.

- 59.**Henderson, J.C.** Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations [Текст] / J.C. Henderson, N. Venkatraman. – IBM systems journal. – 1993. – 32(1). – P. 4-16.
- 60.**Maes, R.** An Integrative Perspective on Information Management [Текст] / R. Maes // Information Management: Setting the Scene / Huizing, A., de Vries, E.J. (Eds.). – Amsterdam: Elsevier Science, 2007. – P. 5-11.
61. Competing in the Information Age: Align in the Sand [Текст] / J. N. Luftman (ed.). – Oxford, Oxford University Press, 2003. – 413 p.
62. Introducing the Gartner IT Infrastructure and Operations Maturity Model [Текст] / Gartner, Inc. – D. Scott, J. Pultz, E. Holub, T. Bittman, P. McGuckin. – 2007. – ID Number: G00147962.
- 63.**Mueller-Eberstein, M.** Agility. Competing and Winning in a Tech-Savvy Marketplace [Текст] / M. Mueller-Eberstein. – New York: Wiley, 2010. – 247 p.
- 64.**Giachetti, R.E.** Design of Enterprise Systems, Theory, Architecture, and Methods [Текст] / R.E. Giachetti. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. – 429 p.
- 65.**Zachman, J.A.** A framework for information-systems architecture [Текст] / Zachman, J.A. // IBM Systems Journal. – 1987. – 26(3). – P. 276-292
66. TOGAF Introduction. The Open Group Architecture Framework [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.opengroup.org/architecture/togaf8-doc/arch/>
- 67.**Wisnosky, D.** DoDaf Wizdom: a Practical Guide to Planning, Managing and Executing Projects to Build Enterprise Architectures using the Department of Defense Architecture Framework [Текст] / Wisnosky, D., Vogel, J. – Naperville, IL: Wizdom Systems, Inc. – 2004. – 266 p.
- 68.**Ross, J.W.** Enterprise Architecture As Strategy: Creating a Foundation for Business Execution [Текст] / J.W. Ross, P. Weill, D. Robertson. – Boston: Harvard Business School Press, 2006. – 234 p.
- 69.**Weill, P.** IT Savvy. What Top Executives Must Know to go from pain to gain [Текст] / P. Weill, J.W. Ross. – Boston: Harvard Business Press, 2009. – 182 p.

70. CobiT 4.1 [Электронный ресурс] / IT Governance Institute, 2007. – Режим доступа: <http://www.isaca.org/Knowledge-Center/cobit/Documents/COBIT4.pdf>
71. Aligning CobiT 4.1, ITIL V3 and ISO/IEC 27002 for Business Benefit [Электронный ресурс] / IT Governance Institute, 2008. – Режим доступа: <http://www.isaca.org/Knowledge-Center/Research/Documents/Aligning-COBIT,ITILV3,ISO27002-Bus-Benefit-12Nov08-Research.pdf>
72. **Bentley, W.** Lean Six Sigma Secrets for the CIO [Текст] / W. Bentley, P.T. Davis. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. – 284 p.
73. **Weill, P.** IT Governance. How Top Performers Manage IT Decision Rights for Superior Results [Текст] / P. Weill, J.W. Ross. – Boston, Harvard Business School Press, 2004. – 269 p.
74. **Уэйл, П.** Управление ИТ: опыт компаний-лидеров. Как информационные технологии позволяют достигать превосходных результатов [Текст] / П. Уэйл, Д. Росс. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 293 с.
75. Strategic Information Management. Challenges and Strategies in Managing Information Systems [Текст] / R.D. Galliers, D.E Leidner (Eds.). – Oxford: Butterworth Heinemann, 2003. – 625 p.
76. **Lewis, E.** The Viable Governance Model – A Theoretical Model of the Governance of IT [Текст] / E. Lewis, G. Millar // Corporate Governance. – 2009. – 12. – P. 1-10.
77. **Beer, S.** Diagnosing the System for Organizations [Текст] / S. Beer. – New York: Wiley, 1985. – 152 p.
78. **Hanschke, I.** Strategic IT Management. A toolkit for enterprise architecture management [Текст] / I. Hanschke. – Berlin: Springer-Verlag, 2010. – 348 p.
79. **Cassidy, A.** A Practical Guide to Information Systems Strategic Planning [Текст] / A. Cassidy. – Boca Raton, FL: Auerbach Publications, 2006. – 395 p.
80. **Theuerkorn, F.** Lightweight Enterprise Architecture [Текст] / F. Theuerkorn. – Boca Raton, FL: Auerbach Publications, 2005. – 345 p.

81. **Saha, P.** Handbook of Enterprise systems architecture in practice [Текст] / P. Saha. – Hershey: Information Science Reference, 2007. – 499 p.
82. **Lam, W.** Enterprise Architecture and Integration: Methods, Implementation, and Technologies [Текст] / W. Lam, V. Shankararaman. – Hershey: Information Science Reference, 2007 – 365 p.
83. **Minoli, D.** Enterprise Architecture A to Z. Frameworks, Business Process Modeling, SOA, and Infrastructure Technology [Текст] / D. Minoli. – Boca Raton: CRC Press, 2008. – 500 p.
84. **Gunasekaran, A.** Techniques and Tools for Design and Implementation of Enterprise Information Systems [Текст] / A. Gunasekaran. – Hershey: Information Science Reference 2008. – 408 p.
85. **Gunasekaran, A.** Global Implications of Modern Enterprise Information Systems [Текст] / A. Gunasekaran. – Hershey: Information Science Reference, 2009. – 400 p.
86. **Gupta, J.N.D.** Handbook of research in Enterprise Systems [Текст] / J. N.D. Gupta, M.A. Rashid, S. K. Sharma. – Hershey: Information Science Reference, 2009. – 460 p.
87. Handbook of Research on Socio-Technical Design and Social Networking Systems [Текст] / B. Whitworth, A. de Moor (eds.). – Hershey: Information Science Reference, 2009. – 966 p.
88. Harvard Business Review On Business Value of IT [Текст]. – Boston: Harvard Business School Press, 1999. – 248 p.
89. **Van Grembergen, W.** Enterprise Governance of Information Technology. Achieving Strategic Alignment and Value [Текст] / W. Van Grembergen, S. De Haes. – New York: Springer, 2009. – 233 p.
90. **Gallivan, M.J.** Analyzing IS research productivity: an inclusive approach to global IS scholarship [Текст] / M. J. Gallivan, R. Benbunan-Fich // European Journal of Information Systems. – 2007. – 16. – P. 36–53.

91. **Willcocks, L.** The ranking of top IS journals: a perspective from the London School of Economics [Текст] / L. Willcocks, E. A. Whitley, C. Avgerou // European Journal of Information Systems. – 2008. – 17. – P. 163–168.
92. Основы системного анализа и проектирования АСУ [Текст] / А.А. Павлов, С.Н. Гриша, В.Н. Томашевский и др.; Под общ. ред. А.А. Павлова. – К.: Выща школа, 1991. – 367 с.
93. **Бурков, В.Н.** Введение в теорию управления организационными системами [Текст] / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков. – М.: Либроком, 2000. – 264 с.
94. **Бурков, В.Н.** Теория активных систем: состояние и перспективы [Текст] / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 1999. – 128 с.
95. **Логиновский, О.В.** Управление промышленным предприятием [Текст] / О.В. Логиновский, А.А. Максимов. – М.: Машиностроение, 2006. – 576 с.
96. **Levinthal, D.A.** A behavioral approach to strategy – what's the alternative? [Текст] / Levinthal, D.A. // Strategic Management Journal. – 2011. – 32. – P. 1517-1523.
97. **Коренная, К.А.** Интегрированные информационные системы промышленных предприятий [Текст] / К.А. Коренная, О.В. Логиновский, А.А. Максимов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 315 с.
98. **Giachetti, R.** Enterprise Integration: An information integration perspective [Текст] / Giachetti, R. // International Journal of Production Research. – 2004. – 42(6) . – P. 1147-1166.
99. **Логиновский, О.В.** Корпоративное управление [Текст] / О.В. Логиновский, А.А. Максимов. – М.: Машиностроение, 2007. – 624 с.
100. **Коренная, К.А.** Математические модели в управлении промышленными предприятиями [Текст] / К.А. Коренная, А.А. Максимов. – Челябинск, Издательский центр ЮУрГУ, 2011. - 327 с.
101. **Костров, А.В.** Основы информационного менеджмента [Текст] / А.В. Костров. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 336 с.

102. **Александров, Д.В.** Методы и модели информационного менеджмента [Текст] / Д.В. Александров, А.В.Костров, Р.И. Макаров, Е.Р. Хорошева. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 336 с.
103. **Данилин, А.** Архитектура и стратегия. «Инь» и «Янь» информационных технологий предприятия [Текст] / А. Данилин, А. Слюсаренко. – М.: Интернет Ун-т Информ. Технологий, 2005. – 504 с.
104. **Васильев, Р.Б.** Управление развитием информационных систем [Текст] / Р.Б. Васильев, Г.Н. Калянов, Г.А. Левочкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 376 с.
105. Information Management: The Organizational Dimension [Текст] / Earl, M.J. (ed.) . – New York: Oxford University Press, 1998. – 294 p.
106. **Ходжсон, Дж.** Эволюционная и институциональная экономика как новый мейнстрим? [Текст] / Дж. Ходжсон // Экономический вестник Ростовского государственного университета. – 2008. – Том 6, № 2. – С. 8-21
107. **Лукша, П.О.** Самовоспроизводство в эволюционной экономике [Текст] / П.О. Лукша. — СПб. : Алетейя, 2009. — 208 с.
108. **Акоф, Р.** Планирование будущего корпорации [Текст] / Р. Акоф. — М.: Прогресс, 1985. — 328 с.
109. **Гараедаги, Д.** Системное мышление. Как управлять хаосом и сложными процессами. Платформа для моделирования архитектуры бизнеса [Текст] / Д. Гараедаги. — Минск.: Гревцов Паблишер, 2007. — 480 с.
110. **Адизес, И.** Управление жизненным циклом корпорации [Текст] / И. Адизес . — СПб.: Питер, 2011. — 384 с.
111. **Хаммер, М.** Реинжиниринг корпорации. Манифест революции в бизнесе [Текст] / М. Хаммер, Дж. Чампи. — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2007. – 288 с.
112. **Chesbrough, H.** Open innovation: the new imperative for creating and profiting from technology [Текст] / H.W. Chesbrough. – Boston, MA: Harvard Business School Press, 2003. – 227 p.

113. **Chesbrough, H.** Open business models: how to thrive in the new innovation landscape [Текст] / H.W. Chesbrough. – Boston, MA: Harvard Business School Press, 2006. – 256 p.
114. **Nelson, R.** An Evolutionary Theory of Economic Change [Текст] / R. Nelson, S. Winter. — Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982. — 437 p.
115. The evolutionary foundations of economics [Текст] / Dopfer, K.(ed.) . — Cambridge: Cambridge University Press, 2005. — 577 p.
116. **Eisenhardt, K.M.** Dynamic capabilities: what are they? [Текст] / K. M. Eisenhardt, J. A. Martin // Strategic Management Journal. – 2000. – 21. – P. 1105 – 1121.
117. **Imai, K.** Managing new product development process: how Japanese companies learn to learn [Текст] / K. Imai, N. Ikujiro, H. Takeuchi // The uneasy alliance: managing the productivity-technology dilemma / R.H. Hayes, K. Clark, J. Lorens (Eds.). – Boston, MA: Harvard Business School Press. — 1985. – P. 337 – 375.
118. **Dougherty, D.** Interpretive barriers to successful product innovation in large firms [Текст] / D. Dougherty // Organizational Science. – 1992. – 3. – P. 179 – 202.
119. **Hugos, M.** Business Agility. Sustainable Prosperity in a Relentlessly Competitive World [Текст] / Hugos, M. – Hoboken, NJ: Wiley, 2009. – 162 p.
120. **Спир, С.** Догнать зайца: как лидеры рынка выигрывают в конкурентной борьбе и как великие компании могут их настичь [Текст] / С. Спир. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2010. – 288 с.
121. Управление инновациями: 17-модульная программа для менеджеров «Управление развитием организации». Модуль 7 [Текст] / Гунин В.Н. и др. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 328 с.
122. **Новиков, Д.А.** Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы [Текст] / Д.А. Новиков, А.А. Иващенко. – М.: Ком-Книга, 2006. – 332 с.

123. **Фатхутдинов, Р.А.** Инновационный менеджмент [Текст] / Р.А. Фатхутдинов. – СПб.: Питер, 2008. – 448 с.
124. **Remenyi, D.** The effective measurement and management of ICT costs and benefits [Текст] / D. Remenyi, F. Bannister, A. Money. – Oxford: Elseiver, 2007. – 379 p.
125. Business Performance Measurement. Unifying Theory and Integrating Practice. [Текст] / A. Neely (ed.) – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 529 p.
126. **Lynch, R.L.** Measure up! Yardsticks for continuous improvement [Текст] / R.L. Lynch, K.F. Cross. – Oxford: Blackwell, 1995. – 272 p.
127. **Kaplan, R.S.** The balanced scorecard: measures that drive performance [Текст] / R.S. Kaplan, D.P. Norton // Harvard Business Review. – 1992. – 70(1). – P.71-92.
128. **Neely, A.D.** The performance prism: the scorecard for measuring and managing stakeholder relationships [Текст] / A.D. Neely, C. Adams, M. Kennerley. – London.: Financial Times / Prentice Hall, 2002. – 208 p.
129. **Marshall, W. M.** Rethinking performance measurement: beyond the balanced scorecard [Текст] / W. M. Marshall. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – 220 p.
130. **Pearn, W.L.** Encyclopedia and handbook of process capability indices. A comprehensive exposition of quality control measures [Текст] / W.L. Pearn, S. Kotz. – Singapore.: World Scientific Publishing, 2006. – 391 p.
131. **Muir, A.K.** Lean six sigma statistics. Calculating process efficiencies in transactional projects [Текст] / Muir A.K. – New York: McGraw-Hill, 2006. – 354 p.
132. **DeLone, W.H.** The DeLone and McLean model of information system success: a ten-year update [Текст] / W.H. DeLone, E.R. McLean. // Journal of Management Information Systems. – 2003. – 19(4). – P.9-30.
133. Achieving agility: how enterprise information management overcomes information silos [Текст] / Gartner, Inc. - Newman D., Logan D. – 2006. – ID Number: G00137817.

134. **Федюкин, В.К.** Управление качеством процессов [Текст] / В.К. Федюкин. – СПб.: Питер, 2004. – 208 с.
135. **Cunha, M.M.** Agile virtual enterprises: implementation and management support [Текст] / M.M. Cunha, G.D. Putnik.– Hershey, PA: Idea Group Publishing, 2006. – 381 p.
136. **Иванова, Т.Ю.** Теория организации [Текст] / Т.Ю. Иванова, В.И. Приходько. – СПб.: ООО «Питер Принт», 2004. – 269 с.
137. **Donaldson, L.** The contingency theory of organization [Текст] / L. Donaldson. – London: Sage Publications, 2001. – 326 p.
138. **Цыпкин Я. З.** Основы теории обучающихся систем [Текст] / Я.З. Цыпкин. — М.: Наука, 1970. — 252 с.
139. **Тюкин И.Ю.** Адаптация в нелинейных динамических системах [Текст] / И.Ю. Тюкин, В.А. Терехов. — М.: ЛКИ, 2008. — 384 с.
140. **Holland, J.H.** Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence [Текст] / J.H. Holland. – Cambridge: MIT Press, 1992. – 211 p.
141. **Gell-Mann, M.** The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex [Текст] / M.Gell-Mann. - New York: W.H. Freeman, 1994. – 392 p.
142. **Минцберг, Г.** Структура в кулаке. Создание эффективной организации [Текст] / Г. Минцберг. – СПб.: Питер, 2003. – 512 с.
143. **Mitra, A.** Creating Agile Business Systems with Reusable Knowledge [Текст] / A. Mitra, A. Gupta. – New York: Cambridge University Press, 2006.– 404 p.
144. **Тюрина, А.Д.** Теория организации. Конспект лекций [Текст] / А.Д. Тюрина. – М.: Эксмо, 2008. – 160 с.
145. **Sherehiy, B.** A review of enterprise agility: Concepts, frameworks, and attributes [Текст] / B. Sherehiy, W. Karwowski, J.K. Layer. // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2007. – V.37. – P. 445-480.

146. **Sharifi, H.** A methodology to achieving agility in manufacturing organizations: an introduction [Текст] / H. Sharifi, Z. Zhang // International Journal of Production Economics. – 1999. – 62(1-2). – P.7-22.
147. Agile Software Development: Current Research and Future Directions [Текст] / T. Dingsoyr, T. Dyba, N. B. Moe (Eds.). – Berlin: Springer, 2010. – 238 p.
148. **Hoque, F.** The power of convergence: linking business strategies and technology decisions to create sustainable success [Текст] / F. Hoque. – New York: American Management Association, 2011 – 256 p.
149. **Highsmith, J.** Agile Project Management: Creative Innovative Products [Текст] / J. Highsmith. – Boston: Addison-Wesley, 2004. – 277 p.
150. Agile Information Systems. Conceptualization, Construction, and Management. [Текст] / Desouza, K.C. (Ed.). – Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2007. – 328 p.
151. **Kurtz, C. F.** The new dynamics of strategy: Sense-making in a complex and complicated world [Текст] / C. F. Kurtz, D. J. Snowden // IBM Systems Journal. – 2003. – 42(3). – P. 462-483.
152. **Snowden, D.** A Leader's Framework for Decision Making [Текст] / D. Snowden, M. Boone // Harvard Business Review. – 2007. – 85(11). – P. 68-76.
153. **Lyytinen, K.** Explaining information systems change: a punctuated socio-technical change model [Текст] / K. Lyytinen, M. Newman // European Journal of Information Systems. – 2008. – No.17. – P. 589-613.
154. **Leavitt, H.J.** Applied organization change in industry: structural, technical, and human approaches [Текст] / H.J. Leavitt // New perspectives in organizational research / S. Cooper, H. Leavitt, K. Shelly (Eds.). – Chichester, UK: Wiley, 1964. – P.55-71.
155. System engineering fundamentals [Текст]. – Department of Defense USA, 2001. – 216 p.
156. System engineering handbook [Текст]. – NASA, 2007. – 341 p.

157. **Browning, T.R.** Key concepts in modeling product development processes [Текст] / T.R. Browning, E. Fricke, H. Negele // *System Engineering*. – 2006. – Vol. 9, No. 2. – P. 104-128.
158. **ГОСТ ИСО/МЭК 2382-1-99.** Межгосударственный стандарт. Информационная технология. Словарь. Часть 1. Основные термины. [Текст]. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2000. – 40 с.
159. Управление исследованиями и разработками в российских компаниях. Национальный доклад [Текст]. – М.: Ассоциация менеджеров, 2011 – 80 с.
160. **Al-Debei, M.M.** Developing a unified framework of the business model concept [Текст] / M.M. Al-Debei, D.Avison // *European Journal of Information Systems*. – 2010. – 19. – P. 359-376.
161. **Fine, C.H.** Clockspeed: wining industry control in the age of temporary advantage [Текст] / C.H. Fine. – Reading, MA: Perseus Books, 1998. – 272 p.
162. **Zolghadri, M.** Modeling the mutual dependencies between product architectures and network of partners [Текст] / M. Zolghadri, C. Baron, P. Girard // *International Journal of New Product Development*. – 2010. – Vol. 10, Nos. 1/2/3. – P.62 – 86.
163. **Sosa, M.E.** The misalignment of product architecture and organization structure in complex product development [Текст] / M.E. Sosa, S.D. Eppinger, C.M. Rowles // *Management Science*. – 2004. – Vol. 52, No. 12. – P.1674-1689.
164. **Rothwell, R.** Robustness and product design families [Текст] / R. Rothwell, P. Gardiner // *Design management: a handbook of issues and methods* / M. Oakley (Ed). – Cambridge, MA: Basil Blackwell Inc., 1990. – P. 279-292.
165. Product platform and product family design methods and applications [Текст] / T.W. Simpson, Z. Siddique, J. Jiao (Eds.). – New York: Springer, 2006. – 548 p.
166. **Prahalad, C.K.** The Core Competence of the Corporation [Текст] / C. K. Prahalad, G. Hamel // *Harvard Business Review*. – 1990. – № 68 (3). – P. 79-91.

167. **Verganti, R.** Design-driven Innovation: changing the rules of competition by radical innovating what things mean [Текст] / R. Verganti. – Boston: Harvard Business Press, 2009. – 356 p.
168. **Аузан, А.А.** Институциональная экономика. Новая институциональная экономическая теория [Текст] / А.А. Аузан. – М.: Инфра-М, 2010. – 416 с.
169. История экономических учений [Текст] / Под ред. В. Автономова, О.Ананьина, Н. Макашевой.- М.: Инфра-М, 2001. - 784 с.
170. **Реус, А.Г.** Знания в управлении и управление знаниями. Опыт интеграции высокотехнологичных отраслей [Текст] / А.Г. Реус. – М. : Изд-во «Дело» АНХ, 2010. – 140 с.
171. **Новиков Д.А.** Теория управления организационными системами [Текст] / Д.А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
172. **Treacy, M.** The discipline of market leaders: choose your customers, narrow your focus, dominate your market [Текст] / M. Treacy, F. Wiersema. – Reading, MA: Addison Wesley Longman, 1994. – 208 p.
173. **Hamel, G.** The Future of Management [Текст] / G. Hamel, B. Breen. – Boston, Harvard Business School Press, 2007. – 272 p.
174. **Strassmann, P. A.** The Squandered Computer – Evaluation the Business Alignment of Information Technologies [Текст] / P. A. Strassmann. – New Chanaan, CN: Information Economics Press, 1997. – 426 p.
175. **Зиндер, Е. З.** Архитектура предприятия в контексте бизнес - реинжиниринга. Часть 1 [Текст] / Е. З. Зиндер // Intelligent Enterprise. – 2008. - № 4.
176. **Зиндер, Е. З.** Архитектура предприятия в контексте бизнес - реинжиниринга. Часть 2 [Текст] / Е. З. Зиндер // Intelligent Enterprise. – 2008. - № 7.
177. **Зиндер, Е. З.** “3D-предприятие” - модель трансформирующейся системы [Текст] / Е. З. Зиндер // Директор информационной службы. – 2000. – № 4. – С. 31-33.

178. **Bernus, P.** Knowledge sharing in the integrated enterprise: interoperability strategies for the enterprise architect [Текст] / P. Bernus, M. Fox. – New York: Springer, 2005. – 458 p.
179. **Ван Бон, Я.** ИТ сервис-менеджмент. Введение [Текст] / Я. Ван Бон, Г. Кеммерлинг, Д. Пондман. - М.: Компания ИТ-Expert, 2003. – 228 с.
180. **Големенцев, Б.В.** Глубокая модернизация высокотехнологичных машиностроительных предприятий мелкосерийного производства [Текст] / Б.В. Големенцев // Вестник УГТУ-УПИ, Серия «Экономика и управление». – 2006. - № 9(80) – С. 35-41.
181. **Woodward, J.** Industrial Organization: Theory and Practice [Текст] / J. Woodward. – Oxford: Oxford University Press, 1980. – 281 p.
182. ERP – PDM. Bilan et perspectives [Текст] / Snecma Moteurs. Carnet de bord 10. – Numero 10. – Juin 2003.
183. **Giachetti, R.E.** Analysis of the structural measures of flexibility and agility using a measurement theoretical framework [Текст] / R.E. Giachetti, L.D. Martinez, O.A. Saenz, S.-C. Chen // International Journal of Production Economics. – 2003. – V.86. – P. 47-62.
184. **Dove, R.** Response ability. The language, structure, and culture of the agile enterprise [Текст] / R. Dove. – New York: Wiley, 2001. – 368 p.
185. **Suh, N.P.** Axiomatic Design [Текст] / Suh Nam-Pio. – New York: Oxford University Press, 2001 – 528 p.
186. **Leffingwell, D.** Scaling software agility: best practices for large enterprises [Текст] / D. Leffingwell. – Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley, 2007. – 349 p.
187. **Cummins, F.A.** Building the agile enterprise with SOA, BPM and MBM [Текст] / F.A. Cummins. – Amsterdam: MK/OMG Press/Elsevier, 2009. – 306 p.
188. **Ethiraj, S.K.** Modularity and Innovation in Complex Systems [Текст] / S.K. Ethiraj, D. Levinthal // Management Science. – 2004. – No. 50(2). – P. 159-173.

189. **Brand, S.** How Buildings Learn: What Happens After They're Built [Текст] / S.Brand. – New York: Viking, 1994. – 243 p.
190. **Soo, L.L.** Anticipating Change in Requirements Engineering. Relating Software Requirements and Architecture [Текст] / L.L. Soo, A. Finkelstein. – Berlin: Springer, 2011. – P. 17-34.
191. **Hevner, A.** Design Research in Information Systems: Theory and Practice [Текст] / Hevner, A., S. Chatterjee. – New York: Springer, 2010. – 320 p.
192. **Giachetti, R.E.** Research Framework for Operationalizing Measures of Enterprise Integration [Текст] / R.E. Giachetti, P. Hernandez, A. Nunez, D.P. Truex // Knowledge Sharing in the Integrated Enterprise: interoperability strategies for the enterprise architect. – New York: Springer, 2005. – P. 237—247.
193. **Uram, M.** Services are the language and building blocks of an agile enterprise [Текст] / M. Uram, B. Stephenson // The agile enterprise: reinventing your organization for success in an on demand world. / N. Pal, D.C. Pantaleo (Eds.). – New York: Springer, 2005. – P.49-86.
194. **Sitter, L. U.** From complex organizations with simple jobs to simple organizations with complex jobs [Текст] / L. U. Sitter, J. F. Hertog, B. Dankbaar // Human Relations. – 1997. – 50(5). – P. 497-536.
195. **Mitchell, M.** Complexity. A guided tour [Текст] / M. Mitchell. – Oxford: Oxford University Press, 2009. – 368 p.
196. **Jung, J.Y.** An entropy-based uncertainty measure of process models [Текст] / J.Y. Jung, C.H. Chin, J. Cardoso // Information Processing Letters. – 2011. – №111. – P. 135–141.
197. **Arteta, B.M.** A measure of agility and the complexity of the enterprise system [Текст] / B.M. Arteta, R.E. Giachetti // Robotics and computer-integrated manufacturing. – 2004. – № 20. – P. 495-503.

198. **Прангишвили, И.В.** Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами [Текст] / И.В. Прангишвили. – М.: Наука, 2003. – 428 с
199. **Lin, Y.** Measuring agility of networked organizational structures via network entropy and mutual information [Текст] / Y. Lin, K.C. Desouza, S. Roy // Applied Mathematics and Computation. – 2010. – № 216 – P. 2824-2836.
200. **Уайт, О.** Управление производством и материальными запасами в век ЭВМ. [Текст] / О. Уайт. – М.: Прогресс, 1978. – 304 с.
201. **Голицын, Г.А.** Вариационные принципы в научном знании [Текст] / Г.А. Голицын, А.П. Левич // Философские науки. – 2004, № 1. – с. 105-136.
202. **Overby, E.** Enterprise agility and the enabling role of information technology [Текст] / E. Overby, A. Bharadwaj, V. Sambamurthy // European Journal of Information Systems. – 2006. – 15. – P.120-131/
203. **Murer, S.** Managed Evolution. A Strategy for Very Large Information Systems [Текст] / S. Murer, B. Bonati, F.G. Furrer. – Berlin: Springer, 2011. – 264 p.
204. **Anda, B.** Estimating software development effort based on use cases – experiences from industry [Электронный ресурс] / B. Anda, H. Dreiem, D. Sjoberg, M. Jorgensen. – 2008. – Режим доступа: http://www.bfpug.com.br/Artigos/UCP/Anda-Estimating_SW_Dev_Effort_Based_on_Use_Cases.pdf
205. New Product Management in the 1980's [Текст]. – New York: Booz, Allen, and Hamilton, 1982. – 24 p.
206. **Шмотин, Ю. Н.** Численное моделирование нестационарных явлений в газотурбинных двигателях [Текст] / В. Г. Августинович, Ю. Н. Шмотин и др.– М.: Машиностроение, 2005. – 536 с.
207. **Шмотин, Ю. Н.** Влияние выбора математической модели на достоверность предсказания коэффициента теплоотдачи на поверхности лопатки турбины [Текст] / Ю.Н. Шмотин, П.В. Чупин, Д.В. Карелин, Д.Г. Иевлев // Конверсия в машиностроении. – 2007. – №4/5 (83-84). - С. 48-55.

208. **Liu, G.P.** Multiobjective Optimization and Control [Текст] / G.P. Liu, J.B. Yang, J.F. Whidborne. – Philadelphia: Research Studies Press Ltd., 2001 – 330 p.
209. **Deb, K.** A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II [Текст] / K. Deb, S. Agrawal, A. Pratap, T. Meyarivan // Parallel problem solving from nature - PPSN VI : 6th international conference, Paris, France, september 2000 : proceedings. – Berlin: Springer, 2000. – P. 849-858.
210. **Hitt, L.** Productivity, Business Profitability and Consumer Surplus: Three Different Measures of Information Technology Value [Текст] / L. Hitt, E. Brynjolfsson // MIS Quarterly. – 1996. – 20(2). – P. 121-142.
211. **Brynjolfsson, E.** Paradox Lost: Firm-Level Evidence on the Returns to Information Systems Spending [Текст] / E. Brynjolfsson, L. Hitt // Management Science. – 1996. – 42(4). – P. 541-558.
212. **Друкер, П.** Менеджмент [Текст] / П. Друкер, Д. Макьярелло. – М.: Вильямс, 2010. – 704 с.
213. **Aral, S.** Information, Technology, and Information Worker Productivity [Текст] / S.Aral, E.Brynjolfsson, M. Van Alstyne // Information Systems Research. – 2012. – 23(3, Part 2 of 2). – P.849-867.
214. Потребности крупного российского бизнеса в ИТ-решениях на перспективу до 2015 г. [Электронный ресурс] // Headwork Analytics. – 2013. – Режим доступа: www.headwork.ru
215. Gartner IT Key Metrics Data 2012: IT Enterprise Summary Report [Электронный ресурс] / J. Guevara, E. Stegman, L. Hall // Gartner, Inc. – 2012. – Режим доступа: <http://itsurvey.gartner.com/>
216. **Тунаков, А.П.** САПР газотурбинных двигателей [Текст] / А. П. Тунаков, И. А. Кривошеев, Д. А. Ахмедзянов. – Уфа: УГАТУ, 2005. – 272 с.
217. **Ли, К.** Основы САПР (CAD/CAM/CAE) [Текст] / К. Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.

218. **Биргер, И.А.** Основы автоматизированного проектирования [Текст] / И.А. Биргер // Изв. вузов. Машиностроение. – 1977. – №8. – С. 32-35.
219. Научный вклад в создание авиационных двигателей [Текст] / Под ред. В.А. Скибина, В.И. Солонина. – М.: Машиностроение, 2000. – 616 с.
220. **Afjeh, A.** Development of an intelligent monitoring and control system for a heterogeneous numerical propulsion system simulation [Текст] / A. Afjeh, P. T. Homer, H. Lewandowski, J. A. Reed, R. D. Schlichting // A Proceedings 28th Annual Simulation Symposium, Phoenix AZ . – 1995. – P. 278-287.
221. **Afjeh, A.** Implementing monitoring and zooming in a distributed jet engine simulation [Текст] / A. Afjeh, P. T. Homer, H. Lewandowski, J. A. Reed, R. D. Schlichting // Simulation. – 1997. – 69(4). – 205-218.
222. MDS Aero Support Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mdsaero.com>
223. Cenco International [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cenco-international.com>
224. DSPcon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dspcon.com>
225. LMS International [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lmsintl.com>
226. Business Process Model and Notation (BPMN). Version 1.2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.omg.org/spec/BPMN/1.2/PDF>
227. **Ахмедзянов, Д. А.** Автоматизация процесса испытания авиационных ГТД на базе SCADA-системы LabView [Текст] / Д. А. Ахмедзянов [и др.] // Вестник УГАТУ. – 2009. – Т.13, №2 (35) . – С. 61-68.
228. Teamcenter: Product Lifecycle Management (PLM) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/products/teamcenter/

229. MSC SimManager [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.mscsoftware.com/Products/Virtual-Build-And-Test-Management/SimManager.aspx>
230. DynaWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://dynaworks.intespace.fr/english/>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИБЛИЖЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА

Переход к проектированию продукта полностью в цифровом виде открывает путь к многокритериальной оптимизации его конструкции в вычислительной среде. Существующие методы оптимизации [1] позволяют расчетным путем найти наиболее эффективное сочетание параметров изделия прежде, чем начинать изготовление опытных экземпляров. Особенно важным является использование многокритериальной оптимизации [2], что ведет, однако, к значительному увеличению числа выполняемых расчетов. Очень часто связи между целевыми функциями и независимыми переменными описываются системами уравнений в частных производных или интегро-дифференциальными уравнениями, решение которых можно получить только численными методами, а также эмпирическими зависимостями в виде таблиц, причем по своей природе данные зависимости имеют мультидисциплинарный характер. Применяемые в современной практике расчеты, базирующиеся на методе конечных элементов, требуют значительных затрат машинного времени. Согласно экспериментальным результатам, полученным на НПО «Сатурн», для расчета газотурбинного двигателя (ГТД) на стационарном режиме (при постоянной частоте вращения ротора) требуется выполнение $4,6 \cdot 10^{17}$ операций с плавающей точкой. На суперкомпьютере производительностью 0,6 Тфлопс данный расчет может быть выполнен за 14 дней при условии отсутствия потерь при распараллеливании задач. При многокритериальной оптимизации данные вычисления необходимо повторить 1000 и более раз. Поэтому весьма актуальным является использование приближенных моделей оптимизируемых конструкций, позволяющих значительно сократить требуемые объемы вычислений.

Без потери общности рассмотрим задачу многокритериальной минимизации с m независимыми переменными, n целями, p ограничениями в виде неравенств и q ограничениями в виде равенств [3]:

$$\begin{array}{ll} \text{минимизировать} & \mathbf{f}(\mathbf{x}) \\ \text{при условии} & \mathbf{g}(\mathbf{x}) \geq 0, \mathbf{h}(\mathbf{x}) = 0 \end{array} \quad (1)$$

где $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_m) \in X$, \mathbf{x} - вектор решений (независимых переменных), X - пространство параметров, $\mathbf{f}(\mathbf{x})^T = [f_1(\mathbf{x}), \dots, f_n(\mathbf{x})]$ - цели, $\mathbf{g}(\mathbf{x})^T = [g_1(\mathbf{x}), \dots, g_p(\mathbf{x})]$ - ограничения в виде неравенств, $\mathbf{h}(\mathbf{x})^T = [h_1(\mathbf{x}), \dots, h_q(\mathbf{x})]$ - ограничения в виде равенств. Вектор решений $\mathbf{a} \in X$ является доминирующим над вектором $\mathbf{b} \in X$ (обозначается как $\mathbf{a} \prec \mathbf{b}$) если выполняется условие $\forall i \in \{1, \dots, n\}: f_i(\mathbf{a}) \leq f_i(\mathbf{b}) \wedge \exists j \in \{1, \dots, n\}: f_j(\mathbf{a}) < f_j(\mathbf{b})$.

Вектор \mathbf{a} называют недоминируемым на множестве $X' \subseteq X$ если в X' нет вектора доминирующего над \mathbf{a} . Множество решений X' , для которого выполняется условие $\forall \mathbf{a}' \in X': \neg \exists \mathbf{a} \in X: \mathbf{a} \prec \mathbf{a}' \wedge \|\mathbf{a} - \mathbf{a}'\| < \varepsilon \wedge \|f(\mathbf{a}) - f(\mathbf{a}')\| < \delta$, где $\|\cdot\|$ - метрика расстояния и $\varepsilon > 0$, $\delta > 0$, называется локальным Парето – оптимальным множеством. X' является глобальным Парето – оптимальным множеством если $\forall \mathbf{a}' \in X': \neg \exists \mathbf{a} \in X: \mathbf{a} \prec \mathbf{a}'$.

Таким образом, задача многокритериальной оптимизации является задачей нахождения глобального Парето - оптимального множества решений. В случае проектирования авиационного ГТД данное множество представляется эксперту, который выбирает один из вариантов конструкции для дальнейшей проработки.

Анализ даже упрощенных методов термогазодинамического расчета одно-контурного ГТД [4] показывает, что на определение рабочего процесса и, следо-

вательно, конструктивного облика двигателя влияют более 30 параметров (независимых переменных). При этом зависимости, связывающие целевые и независимые переменными являются нелинейными, и невозможно гарантировать, что они являются дифференцируемыми функциями. На сегодняшний день известен ряд методов многокритериальной оптимизации, опирающихся на нелинейное программирование [5], генетические алгоритмы [6], которые используются, в том числе, и при проектировании газотурбинных двигателей [7,8]. Один из наиболее эффективных алгоритмов многокритериальной оптимизации с ограничениями – генетический алгоритм NSGA-II [9]. Особенностью данного алгоритма является то, что на каждом шаге вычислений генерируется новая популяция из N решений, для каждого из которых должны быть вычислены функции $f(x)$, $g(x)$ и $h(x)$. Типичной является популяция из 100 решений, которая эволюционирует в течение 500 поколений. Нетрудно оценить, что в этом случае необходимо 50 000 вычислений функций $f(x)$, $g(x)$, $h(x)$. Таким образом, исходя из практических соображений для того, чтобы сократить затраты времени до разумных пределов, необходимо предложить способ нахождения Парето – оптимального набора решений не более чем за 500 вычислений выражений точных моделей исследуемых зависимостей. Для достижения этой цели предлагается использовать подход, опирающийся на использование вместо зависимостей (1) их приближенных моделей.

Предлагаемый алгоритм вычислений спроектирован исходя из следующих соображений. Как уже упоминалось выше, исследуемые зависимости носят междисциплинарный характер, невозможно гарантировать дифференцируемость или выпуклость этих функций. Кроме того, при разработке новых изделий никогда не ставится задача найти наилучшие параметры нового продукта (т.е. глобальное Парето – оптимальное множество), а все усилия направлены лишь на обеспечение заданных технических требований. Очень часто выбирается решение с менее эффективными параметрами, но обеспечивающее большую устойчивость к отклонениям, которые неизбежно возникают в процессе производства. В-третьих, избы-

точно большое Парето – оптимальное множество требует значительных затрат времени и ресурсов на анализ всех альтернативных решений, вполне допустимым является наличие 15-20 вариантов проектируемого изделия. Поэтому в предлагаемом методе многокритериальной оптимизации используются эвристические подходы (эволюционные и генетические алгоритмы). Описываемый метод (рисунок П.1) состоит из следующих шагов:

- Генерируется начальная обучающая выборка \mathbf{x}_s небольшого объема $s \in X$ на основе одного из методов планирования эксперимента. Вычисляются вектора значений целевых функций $\mathbf{f}(\mathbf{x}_s)$ и ограничений $\mathbf{g}(\mathbf{x}_s)$ и $\mathbf{h}(\mathbf{x}_s)$ во всех полученных точках.
- На основе обучающей выборки \mathbf{x}_s и соответствующих значений $\mathbf{f}(\mathbf{x}_s)$, $\mathbf{g}(\mathbf{x}_s)$ и $\mathbf{h}(\mathbf{x}_s)$ строятся приближенные модели $\tilde{\mathbf{f}}(\mathbf{x})$, $\tilde{\mathbf{g}}(\mathbf{x})$ и $\tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x})$ всех исследуемых зависимостей. Предлагаемый метод построения приближенных моделей рассматривается ниже.
- На основе полученных приближенных моделей $\tilde{\mathbf{f}}(\mathbf{x})$, $\tilde{\mathbf{g}}(\mathbf{x})$ и $\tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x})$ при помощи алгоритма NSGA-II находится вектор \mathbf{x}_{opt} , который определяет Парето – оптимальное множество решений задачи (1).
- В точках полученного таким образом множества решений \mathbf{x}_{opt} вычисляются точные значения функций $\mathbf{f}(\mathbf{x}_{opt})$, $\mathbf{g}(\mathbf{x}_{opt})$ и $\mathbf{h}(\mathbf{x}_{opt})$. Если условие окончания вычислений не выполняется, все значения, полученные на точных моделях, добавляются в обучающую выборку $\mathbf{x}_s = \mathbf{x}_s + \mathbf{x}_{opt}$, $\mathbf{f}(\mathbf{x}_s) = \mathbf{f}(\mathbf{x}_s) + \mathbf{f}(\mathbf{x}_{opt})$, $\mathbf{g}(\mathbf{x}_s) = \mathbf{g}(\mathbf{x}_s) + \mathbf{g}(\mathbf{x}_{opt})$, $\mathbf{h}(\mathbf{x}_s) = \mathbf{h}(\mathbf{x}_s) + \mathbf{h}(\mathbf{x}_{opt})$ и осуществляется возврат к шагу 2, где строятся вновь приближенные модели.

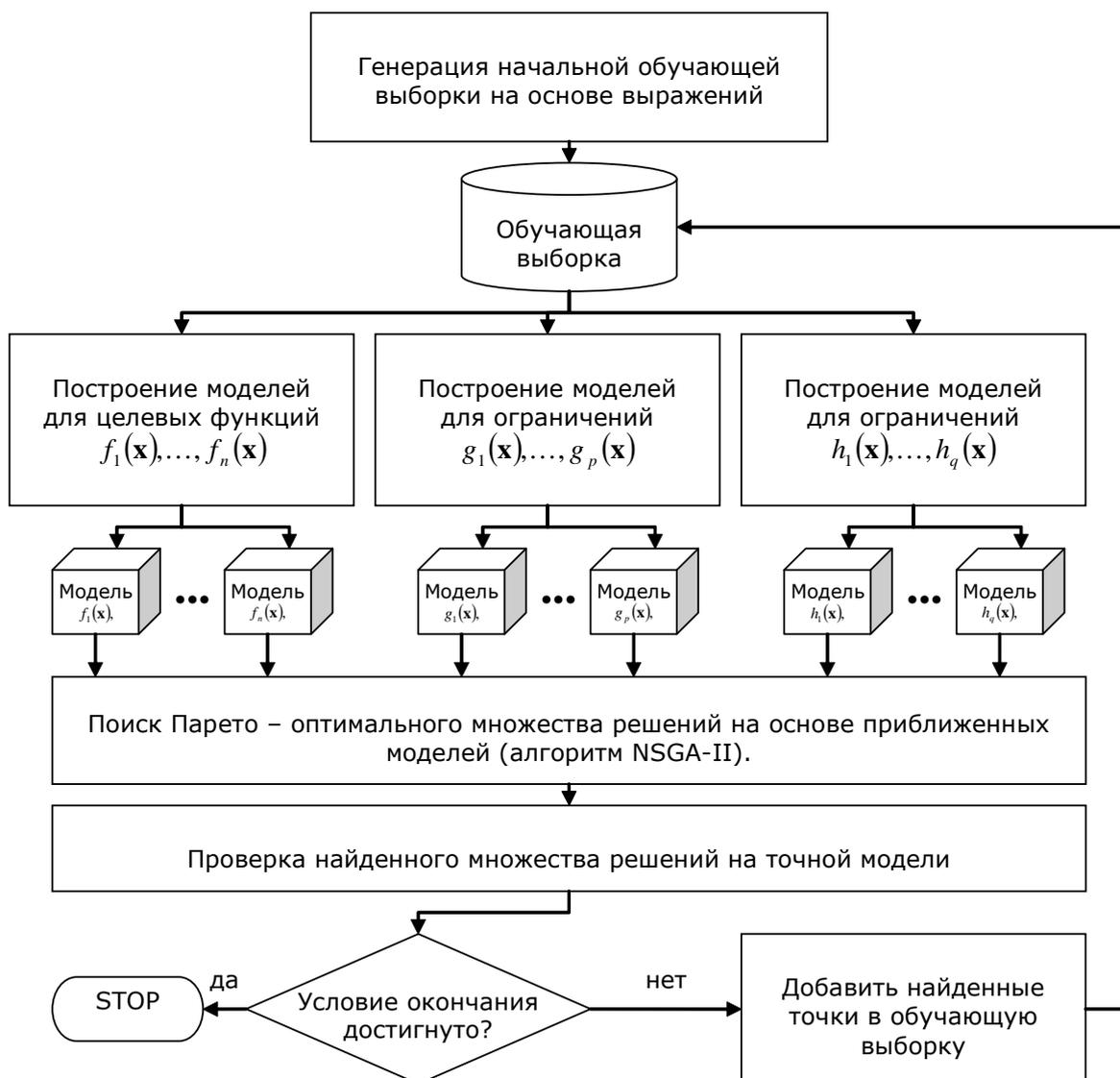


Рис. П.1. Алгоритм метода многокритериальной оптимизации

Определим следующие условия окончания вычислений:

- суммарная относительная погрешность e построенных моделей достигает заданного минимума:

$$e = \frac{1}{k(n+p+q)} \sum_{j=1}^{n+p+q} \sqrt{\sum_{i=1}^k \left[\frac{M_{ij}(x) - F_{ij}(x)}{F_{ij}(x)} \right]^2} \leq \varepsilon, \quad (2)$$

здесь k - количество решений в найденном Парето – оптимальном множестве, $M_{ij}(x)$ - значение одной из функций $f(x)$, $g(x)$ или $h(x)$, найденное на основе ее приближенной модели, $F_{ij}(x)$ - значение той же функции, найденное на основе точной модели, ε - достаточно малое положительное число. Выполнение данного условия означает, что качество построенных приближенных моделей таково, что позволяет их использовать вместо точных.

- Нахождение одного или нескольких векторов $f(x)$, удовлетворяющих заранее определенным требованиям $f(x) \leq f_{goal}$ при соблюдении ограничений $g(x) \geq 0$, $h(x) = 0$, где f_{goal} - заданные экспертом значения целевых функций, достаточные для обеспечения необходимых характеристик проектируемого изделия;
- Превышение допустимого количества точных вычислений моделей;
- Превышение допустимого времени вычислений.

Ключевым вопросом успеха предлагаемого алгоритма является выбор эффективного способа построения приближенной модели. В зарубежной литературе такие модели называют «поверхности отклика» (response surface model – RSM). В частности, для построения приближенных функциональных зависимостей используется метод группового учета аргументов [10,11], многослойные перцептроны и другие модели. Здесь рассматривается использование для моделирования зависимостей (1) искусственных нейронных сетей радиального базиса (RBF-сетей), получаемых с помощью эволюционных алгоритмов.

Известно несколько таких методов, в частности достаточно общий, описанный в работе [12]. Недостатком данного метода является избыточность в описании сети (вводятся отдельные матрицы для описания весов, связей и вектор для описания нейронов. Кроме того, известны работы (в частности, [13]), которые ограничиваются рассмотрением только RBF-сетей, что позволяет перейти к рассмотрению эволюционирования популяции нейронов, которые затем объединяются в сеть. Однако последний алгоритм применим только для генерации сетей

для классификации образов, поскольку он предполагает знание центров классов исследуемых объектов.

Основная особенность метода эволюционных алгоритмов [14], отличающая его от аналогичного метода генетических алгоритмов – отказ от использования операции кроссовера. В работе [15] на основе анализа многих источников сделан вывод, что для задачи генерирования нейронных сетей эволюционные алгоритмы являются более эффективным методом, поскольку операция кроссовера часто приводит к ухудшению приспособленности потомков.

Рассмотрим нейронную сеть с активационными функциями радиального базиса так, как это предложено в [16] (рисунок П.2).

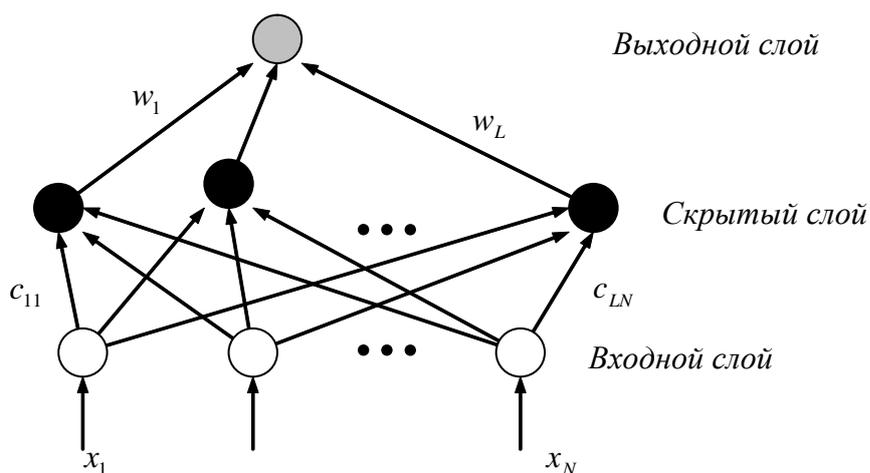


Рис. П.2. Нейронная сеть радиального базиса (RBF – сеть)

Функция активации нейрона скрытого слоя $y_i = \varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|) = \exp\left[-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right]$, где

$\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^N (x_j - c_{ij})^2}$ - эвклидово расстояние между вектором входных сигналов

$\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_N)$ и центром i -го нейрона $\mathbf{c}_i = (c_{i1}, \dots, c_{iN})$, $i = 1 \dots L$; L - число нейронов в скрытом слое; N - число нейронов во входном слое; \mathbf{c}_i, σ_i - параметры радиальной

базисной функции i -го нейрона. Сигнал нейрона выходного слоя определяется взвешенным суммированием выходов нейронов скрытого слоя $f_k = \sum_{i=1}^L w_i y_i$, где w_i - вес связи от i -го нейрона скрытого слоя к нейрону выходного слоя.

Обозначим $\mathbf{z} = (z_1, z_2, \dots, z_p)^T$ - вектор ожидаемых значений функции (p - количество обучающих выборок), $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_L)^T$ - вектор весов, \mathbf{G} - радиальная матрица:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \varphi(\|x_1 - c_1\|) & \varphi(\|x_1 - c_2\|) & \dots & \varphi(\|x_1 - c_L\|) \\ \varphi(\|x_2 - c_1\|) & \varphi(\|x_2 - c_2\|) & \dots & \varphi(\|x_2 - c_L\|) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi(\|x_p - c_1\|) & \varphi(\|x_p - c_2\|) & \dots & \varphi(\|x_p - c_L\|) \end{bmatrix}.$$

Тогда вектор весов может быть найден по формуле

$$\mathbf{w} = \mathbf{G}^+ \mathbf{z}, \quad (3)$$

где $\mathbf{G}^+ = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T$ - псевдоинверсия прямоугольной матрицы \mathbf{G} .

Таким образом, i -тый нейрон скрытого слоя полностью может быть описан строкой из $(N + 2)$ действительных чисел, которая содержит вектор $\mathbf{c}_i = (c_{i1}, \dots, c_{iN})$, величину σ_i и значение w_i . Следовательно, для описания всей сети целиком необходима матрица \mathbf{R} размером $L \times (N + 2)$. Однако, поскольку в рассматриваемом методе используется само-адаптивный способ настройки весов, в описание нейрона необходимо добавить матрицу $\boldsymbol{\eta}$ аналогичного размера, содержащую вариации (стратегические параметры эволюционного алгоритма), использование которых будет объяснено позже.

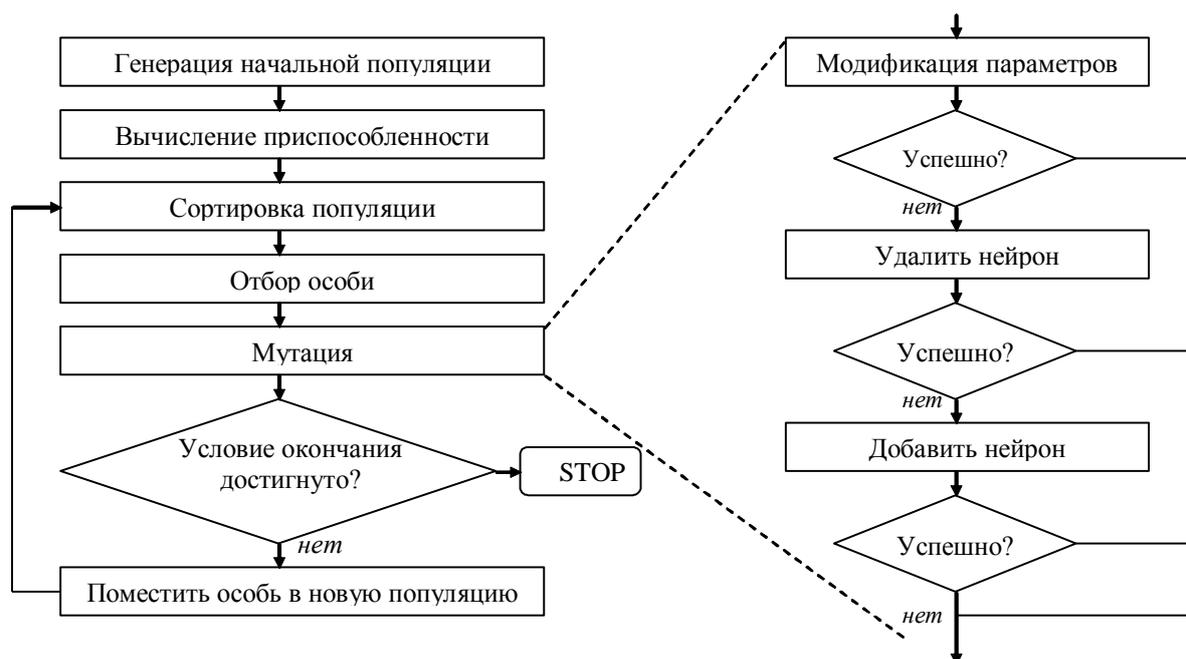


Рис. П.3. Эволюционный алгоритм построения нейронной сети радиального базиса.

Предлагаемый эволюционный алгоритм представлен на рис.П.3. В начальной популяции все параметры в описании сети инициализируются случайными значениями из интервала $(-1,0; 1,0)$. Производится вычисление приспособленности всех особей популяции по формуле:

$$e_m = \frac{1}{T} \sqrt{\sum_{t=1}^T (Y(t) - Z(t))^2}, \quad (4)$$

где T - количество образцов в обучающей выборке, $Y(t)$ и $Z(t)$ - ожидаемое и фактическое значение на выходе сети. Механизм отбора особи основан на ее ранге. Пусть K особей отсортированы по убыванию функции (4) и им присвоены номера $0, 1, \dots, K-1$. Тогда особь с номером $(K-j)$ может быть отобрана для мутации с вероятностью $p(K-j) = j / \sum_{k=1}^K k$.

Перед началом мутации случайно выбирается целое число n из интервала $1..L$, определяющее номер нейрона, к которому будет применяться операция мутации. К данному нейрону последовательно применяются следующие операции мутации:

- Модификация параметров функции активации. Используется Гауссовская мутация, согласно которой новые значения строки матрицы \mathbf{R} для данного нейрона вычисляются по формулам $\eta'_{nj} = \eta_{nj} \exp[\tau N(0,1) + \tau N_j(0,1)]$; $R'_{nj} = R_{nj} + \eta'_{nj} N_j(0,1)$, где $N(0,1)$ - случайное число, подчиняющееся нормальному распределению со средним значением 0 и вариацией 1; $N_j(0,1)$ означает, что случайное число генерируется для каждого j -го элемента вектора; $\tau = \left(\sqrt{2\sqrt{N}}\right)^{-1}$; $\tau' = \left(\sqrt{2N}\right)^{-1}$. После модификации параметров n -го нейрона уточняются веса по формуле (3) и вычисляется приспособленность полученной сети. Если она улучшается, полученный потомок помещается в новую популяцию, прочие мутации не производятся. В противоположном случае строкам R_n и η_n возвращаются старые значения, и производится попытка выполнить следующую мутацию.
- Удаление нейрона. Данная операция выполняется в случае неуспеха предыдущей мутации. Выбранный нейрон удаляется, по формуле (3) вычисляются весовые коэффициенты, оценивается приспособленность сети, если она улучшается, полученный потомок копируется в новую популяцию. В противном случае применяется мутация добавления нейрона.
- Добавление нейрона. Все параметры добавляемого нейрона инициализируются случайными значениями из интервала $(-1,0; 1,0)$, по формуле (3) вычисляются весовые коэффициенты. В случае улучшения приспособленности сети, полученный потомок копируется в новую популяцию.

Если ни одна из мутаций не была успешной, то особь копируется в популяцию следующего поколения без изменений. Отметим, что в данном методе ис-

пользуется так называемый «жадный» алгоритм – попытка удаления нейрона всегда производится до попытки его добавить. Это обеспечивает получение более компактных сетей. Также используется принцип элитизма – лучшая особь текущей популяции копируется в новую без изменений.

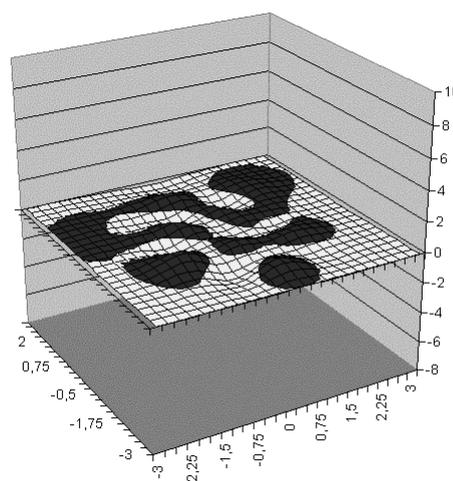
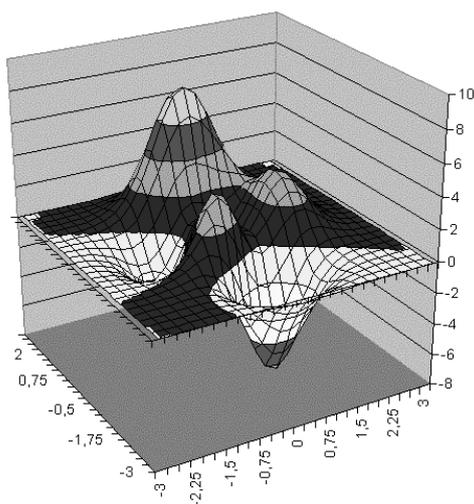


Рис. П.4. График тестовой функции (5) **Рис.П.5. Погрешность приближения тестовой функции (5)**

Для оценки эффективности предложенного алгоритма рассмотрим исследованную в [17] задачу аппроксимации функции

$$d(x, y) = 3(1 - x)^2 \exp(-x^2 - (y + 1)^2) - 10\left(\frac{x}{5} - x^3 - y^5\right) \exp(-x^2 - y^2) - \frac{1}{2} \exp(-(x + 1)^2 - y^2) \quad (5)$$

при изменении переменных в пределах $-3 \leq x \leq 3$ и $-3 \leq y \leq 3$. На основе обучающей выборки из 625 групп данных $([x, y], d)$, сгенерированных при равномерном распределении переменных x , y в областях их определения, в работе [17] построена сеть со структурой 2-36-1 (2 входных нейрона, 36 радиальных нейронов гауссовского типа и один выходной линейный нейрон). Применялся гибридный алгоритм обучения, в результате максимальная погрешность аппроксимации после 200 итераций составила 0,06. Согласно предложенному здесь методу на осно-

ве той же обучающей выборки за 20 поколений была сгенерирована нейронная сеть с 26 радиальными нейронами, погрешность аппроксимации которой имеет величину 0,02. График аппроксимируемой функции представлен на рисунке П.4, погрешность ее приближения на основе предложенного здесь метода - на рисунке П.5. Таким образом, предлагаемый метод генерации радиальных нейронных сетей позволяет значительно сократить время вычислений и обеспечивает получение более эффективных сетей (с меньшим числом нейронов и меньшей погрешностью) по сравнению с традиционным способом.

Таблица П.1. Сравнение различных методов построения приближенных моделей

Модель	Описание построенной модели	Среднеквадратичная погрешность (4)	
		Обучающая выборка	Тестовая выборка
Многослойный персептрон	Два скрытых слоя (11 и 4 нейрона) нейронов с логистической функцией активации, нейрон выходного слоя с линейной функцией активации	2,645	2,960
Метод группового учета аргументов	В качестве опорных функций отобраны полиномы второй и третьей степени и гауссианы.	1,016	1,070
Сеть каскадной корреляции	16 нейронов в скрытом слое с гауссовской функцией активации	0,284	0,492
Предложенный метод	26 нейронов с радиальной функцией активации в скрытом слое	0,021	0,064

Приближенные модели функции (5) были также построены на основе широко известных методов, таких как многослойный персептрон, сеть каскадной корреляции и метод группового учета аргументов. При этом общая выборка из 625 записей случайным образом была разделена на обучающую (90% записей) и тестовую (10% записей). Построение модели производилось на обучающей выборке, затем ее качество проверялось на тестовой выборке. Полученные значения среднеквадратичной погрешности (4) приведены в таблице П.1. Предложенный здесь метод построения приближенных моделей показал наилучшие результаты.

Для проверки эффективности предложенного способа оптимизации проведем исследование на упрощенной математической модели ГТД, которая требует гораздо меньших затрат времени на вычисление, чем МКЭ-модель, но, в то же время, обладает всеми особенностями реально используемых на практике функций (1). Для создания такой модели воспользуемся результатами работы [18], где приводятся экспериментальные зависимости, которые связывают некоторые параметры рабочего процесса (например, зависимость КПД компрессора от его частоты вращения), что позволяет сократить число независимых переменных. Согласно данному подходу, расчет ГТД ведется в нескольких сечениях (на входе в двигатель, на входе в компрессор, за компрессором, за камерой сгорания, за турбиной и на срезе сопла), показанных на рисунке П.6 и обозначенных, соответственно, индексами Н, В, К, Г, Т, С. Параметры на входе в двигатель определяются скоростью и высотой полета. На первом этапе расчета для каждого сечения последовательно определяются давление и температура газа. При этом должны быть заданы степень повышения давления в компрессоре π_k и температура газа в камере сгорания T_T . На данном этапе расчета определяются работа компрессора L_k и турбины L_T , расход воздуха, удельная тяга и удельный расход топлива C_{y0} , который необходим для создания заданной тяги R . На втором этапе расчета для каждого сечения определяются площади проточной части по формуле

$$F_i = G_{\Gamma_i} \frac{\sqrt{T_i}}{P_i} \frac{1}{m_{кр}(k_{\Gamma}, R_{\Gamma}) q(\lambda_i, k_{\Gamma})}; \text{ где } i \in \{B, K, \Gamma, T, C\}; T_i, P_i - \text{ температура газа и давле-}$$

ние в сечении i ; G_{Γ_i} - расход газа через данное сечение; $m_{кр}(k, R) = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \frac{1}{R}}$,

$$q(\lambda, k) = \lambda \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2 \right)^{\frac{1}{k-1}} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{1}{k-1}} - \text{ газодинамические функции; } k_{\Gamma} \text{ и } R_{\Gamma} - \text{ показатель}$$

адиабаты и газовая постоянная для газа, протекающего через данное сечение; λ_i - приведенная скорость течения газа в сечении [18]. По известным площадям сечений, а также по заданному внешнему диаметру двигателя D определяются внутренние и наружные диаметры турбины и компрессора, высоты рабочих лопаток и т.д. Рассмотренный метод расчета подробно описан в работе [4]. Ограничением при определении геометрии двигателя является высота лопатки последней ступени компрессора h_z , поскольку чрезмерно малая высота приводит к аэродинамическим потерям. В данной работе полагается, что должно выполняться условие: $h_z > 15\text{мм}$.

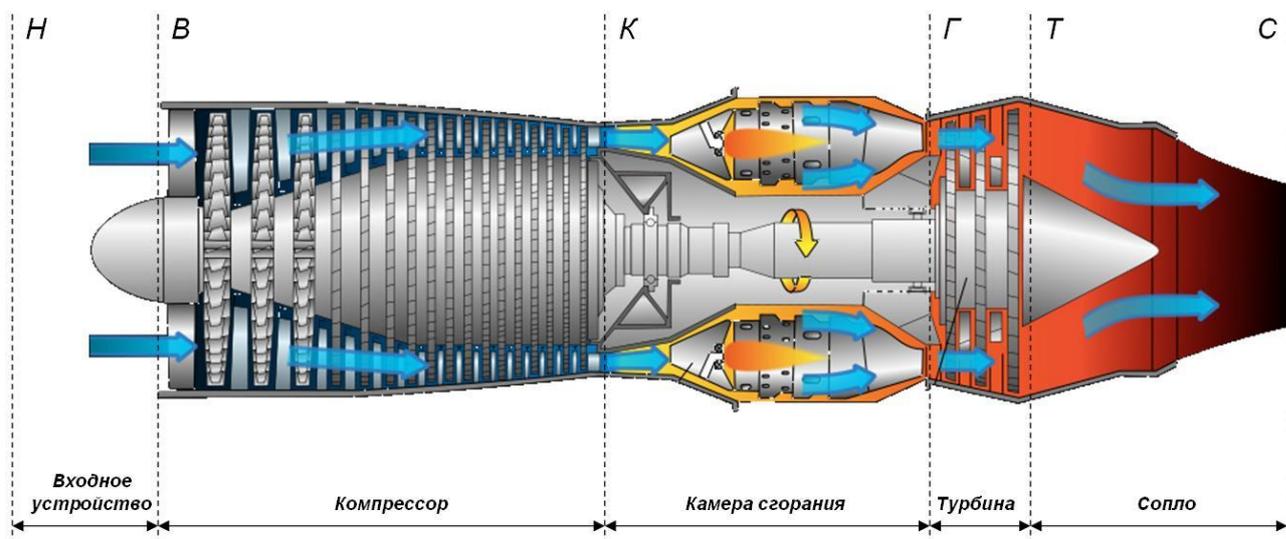


Рис. П.6 Модель одноконтурного ГТД.

Далее, на основе определенных ранее значений L_k , L_T и максимально возможного значения работы одной ступени определяется число ступеней компрессора z_k и турбины z_T , а также частота вращения ротора n . Данные о частоте вращения и геометрии проточной части позволяют определить напряжения растяжения σ_p в лопатке рабочего колеса последней ступени турбины, которые на должны превосходить 250 МПа [19].

В заключение на основании определенных геометрических параметров компрессора и турбины рассчитывается вес двигателя при помощи эмпирической формулы, полученной в соответствии с рекомендациями [20]: $W = 4(0.12\rho_{\text{титан}}V_k + 0.25\rho_{\text{сталь}}V_m)$ [кг], где $\rho_{\text{титан}}$, $\rho_{\text{сталь}}$ - плотность титанового сплава и жаропрочной стали; V_k, V_m - геометрический объем компрессора и турбины.

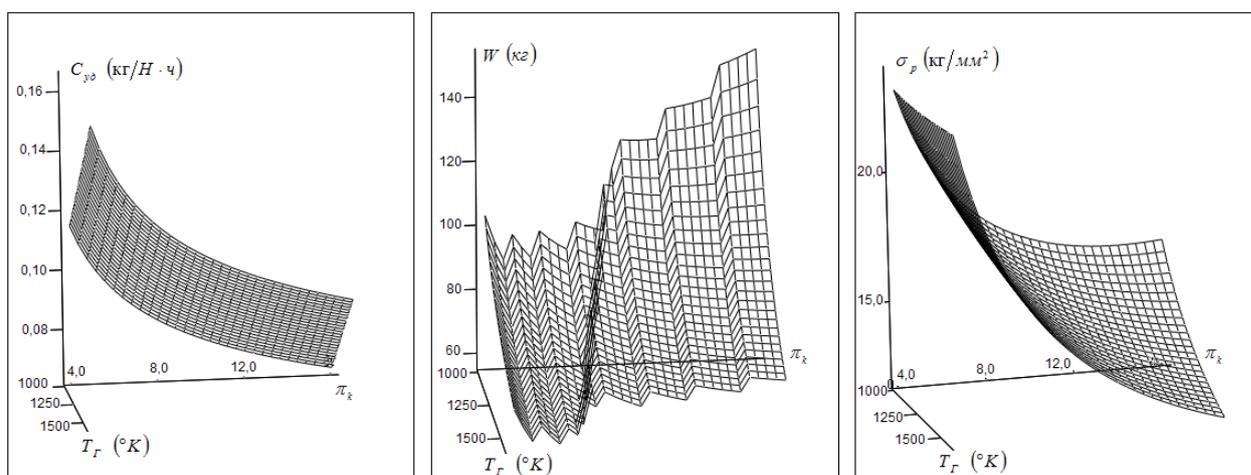


Рис.П.7. Влияние независимых переменных на целевые функции и ограничения.

Таким образом, в соответствии с рассматриваемой математической моделью, рабочий процесс одноконтурного ГТД при заданных тяге R и внешнем диаметре двигателя D полностью определяется шестью независимыми параметрами:

π_k - степень сжатия в компрессоре, T_G - температура газа (температура в камере сгорания), $\lambda_B, \lambda_K, \lambda_G, \lambda_T$ - приведенные скорости течения газа за входным устройством, компрессором, камерой сгорания и турбиной соответственно. Ограничениями при выборе допустимого сочетания независимых параметров являются: h_z - высота лопатки последней ступени компрессора и σ_p - напряжения растяжения в лопатке рабочего колеса последней ступени турбины. Зависимости C_{y0} (кг/Н·ч), W (кг) и σ_p (кг/мм²) от π_k и T_G (°К) показаны на рис. П.7.

Рассмотрим задачу поиска Парето - оптимального множества вариантов конструкции одноконтурного авиационного ГТД с осевым компрессором с тягой на взлетном режиме $R = 8000$ Н. В качестве целевых переменных, которые необходимо минимизировать, определим удельный расход топлива на взлетном режиме C_{y0} и вес двигателя W . Зададим интервалы изменения для независимых переменных: степень сжатия в компрессоре $\pi_k = 4 \dots 20$, температура газа $T_G = 1300 \dots 1800$ К, приведенные скорости течения газа $\lambda_B = 0,6 \dots 0,7$; $\lambda_K = 0,25 \dots 0,35$; $\lambda_G = 0,15 \dots 0,25$; $\lambda_T = 0,4 \dots 0,65$ и ограничения: высота лопатки последней ступени компрессора $h_z > 15$ мм, напряжения растяжения в лопатке последней ступени турбины $\sigma_p > 25$ кг/мм². Расчетная модель двигателя построена описанным выше способом. Зададим $\varepsilon = 0,005$ в условии окончания вычислений (2).

Процесс решения данной задачи в соответствии с алгоритмом, показанным на рисунке П.1, представлен в таблице П.2. На первом шаге была сгенерирована обучающая выборка из 45 векторов решений $\mathbf{x} = (\pi_k, T_G, \lambda_B, \lambda_K, \lambda_G, \lambda_T)$ в соответствии с центральным композитным планом эксперимента с центрами на гранях (CCF - Central Composite design with Face Centered). Из этих 45 решений 9 удовлетворяли ограничениям и 7 являлись недоминируемыми. На основании данной выборки были построены приближенные модели для целевых переменных и ограничений на основе нейронных сетей радиального базиса в соответствии с методом,

описанным выше. В таблице П.2 для каждой модели приведены количество нейронов в скрытом слое N_h и приспособленность, вычисленная по формуле (4).

Таблица П.2. Процесс поиска Парето – оптимального множества решений

		1 итерация	2 итерация	3 итерация	Результат
Количество решений в обучающей выборке		45	145	245	345
Количество решений, удовлетворяющих ограничениям		9	41	105	205
Размер Парето – оптимального множества		7	14	22	36
Модель $C_{y\delta}$	N_k	37	39	35	-
	e_m	0,00011	0,0001	0,00008	-
Модель W	N_k	43	41	38	-
	e_m	0,17004	0,33003	0,35864	-
Модель σ_p	N_k	38	40	37	-
	e_m	0,02941	0,01919	0,02276	-
Модель h_z	N_k	40	36	37	-
	e_m	0,00005	0,00005	0,00004	-
Суммарная относительная погрешность моделей		0,0078	0,0069	0,0043	

На основании полученных моделей с помощью алгоритма NSGA-II (размер популяции – 100 особей, 500 поколений обучения) было найдено множество из

100 Парето – оптимальных решений, суммарная относительная погрешность (2) при этом составила $e = 0,0078$. После проверки данных решений на точной модели, они были добавлены к обучающей выборке, размер которой теперь составил 145 векторов (из них удовлетворяли ограничениям - 41, принадлежали множеству Парето – оптимальных – 14), и весь цикл вычислений был повторен заново (итерация 2). Всего было выполнено 3 итерации, для чего потребовалось 345 вызовов функций (1). Суммарная относительная погрешность моделей, построенных на второй итерации, составила $e = 0,0069$, на третьей итерации - $e = 0,0043$.

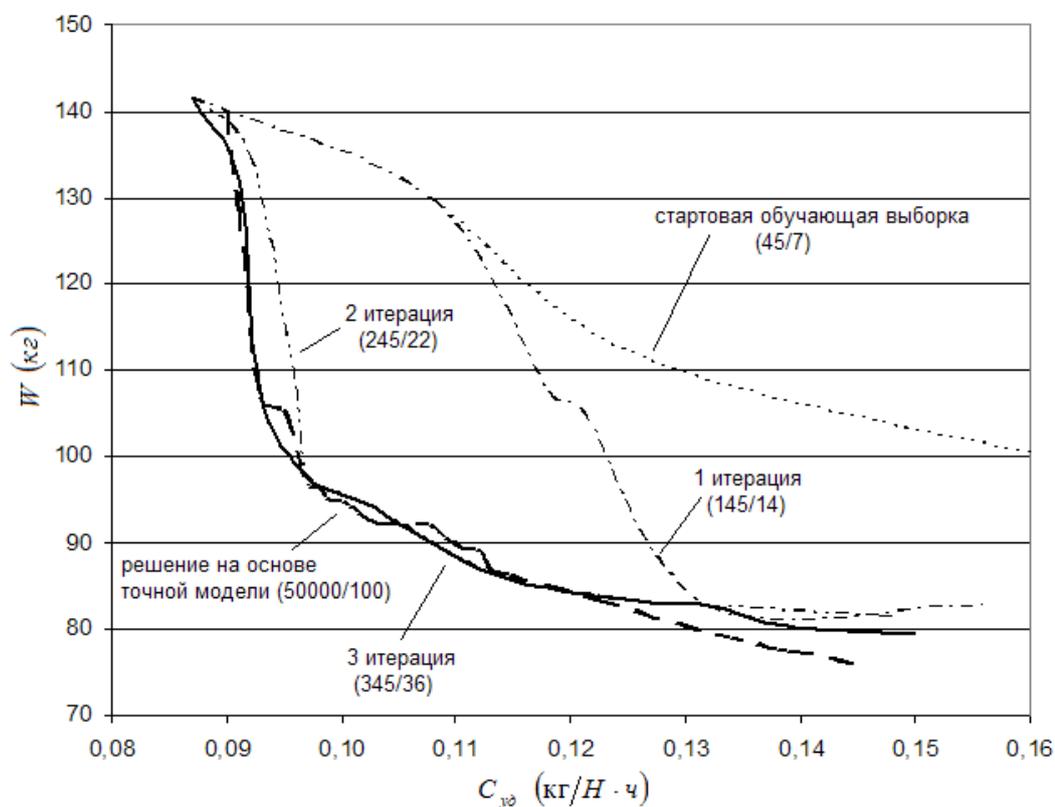


Рис.П.8. Эволюция Парето – оптимальных наборов решений в процессе вычислений

Результаты всех итераций представлены на рисунке П.8 (в скобках указано количество точек в обучающей выборке / количество точек, принадлежащих Па-

рето – оптимальному множеству решений). На рисунке П.8 также показано Парето – оптимальное множество (фронт Парето), полученное методом NSGA-II (100 особей в популяции, 500 поколений) на основе точной модели. Для нахождения данного множества потребовалось 50 000 обращений к функциям (1). На рис. П.9 представлено сравнение трех Парето – оптимальных множеств решений: полученного на основе предложенной здесь приближенной модели (345 вызовов точной модели) и полученных на основе точной модели за 500 обращений (100 особей в популяции, 5 поколений) и за 50000 обращений (100 особей в популяции, 500 поколений).

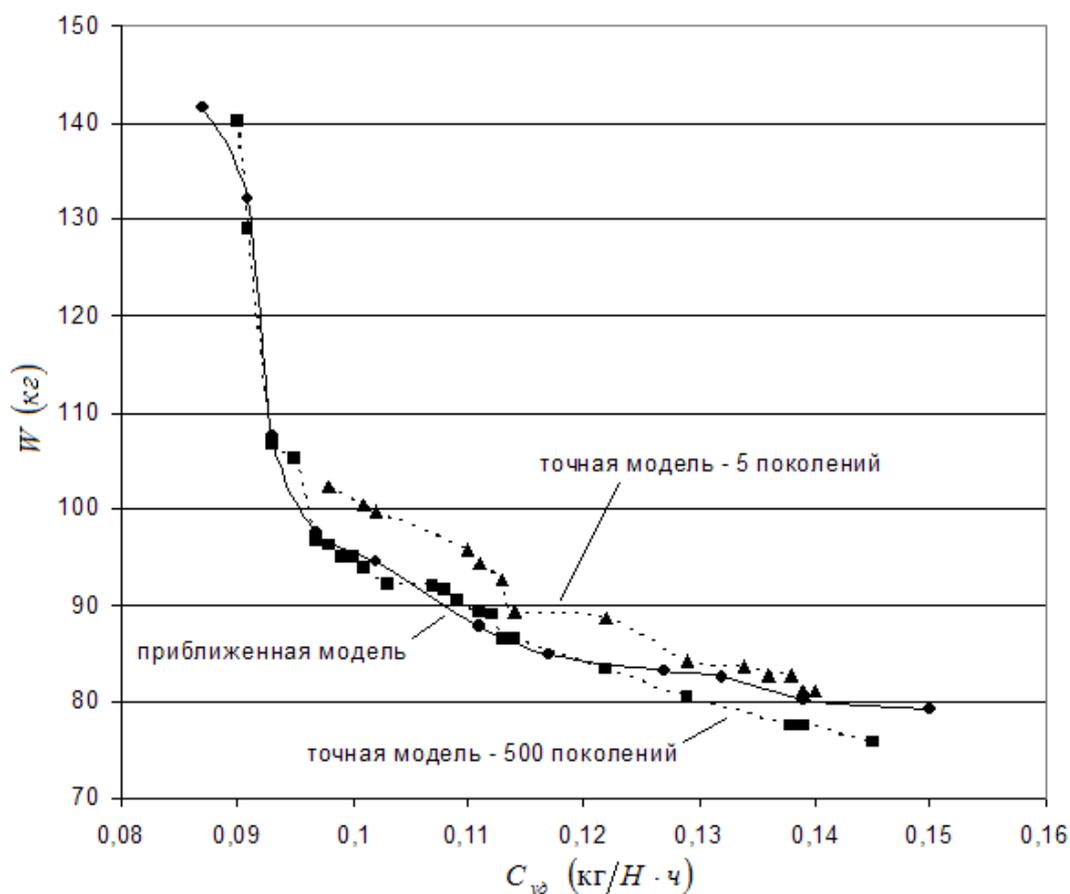


Рис.П.9. Сравнение трех Парето – оптимальных множеств решений

Полученные результаты свидетельствуют, что предложенный метод построения приближенных моделей позволяет сократить затраты машинного вре-

мени на расчеты при многокритериальной оптимизации с ограничениями более чем в 100 раз.

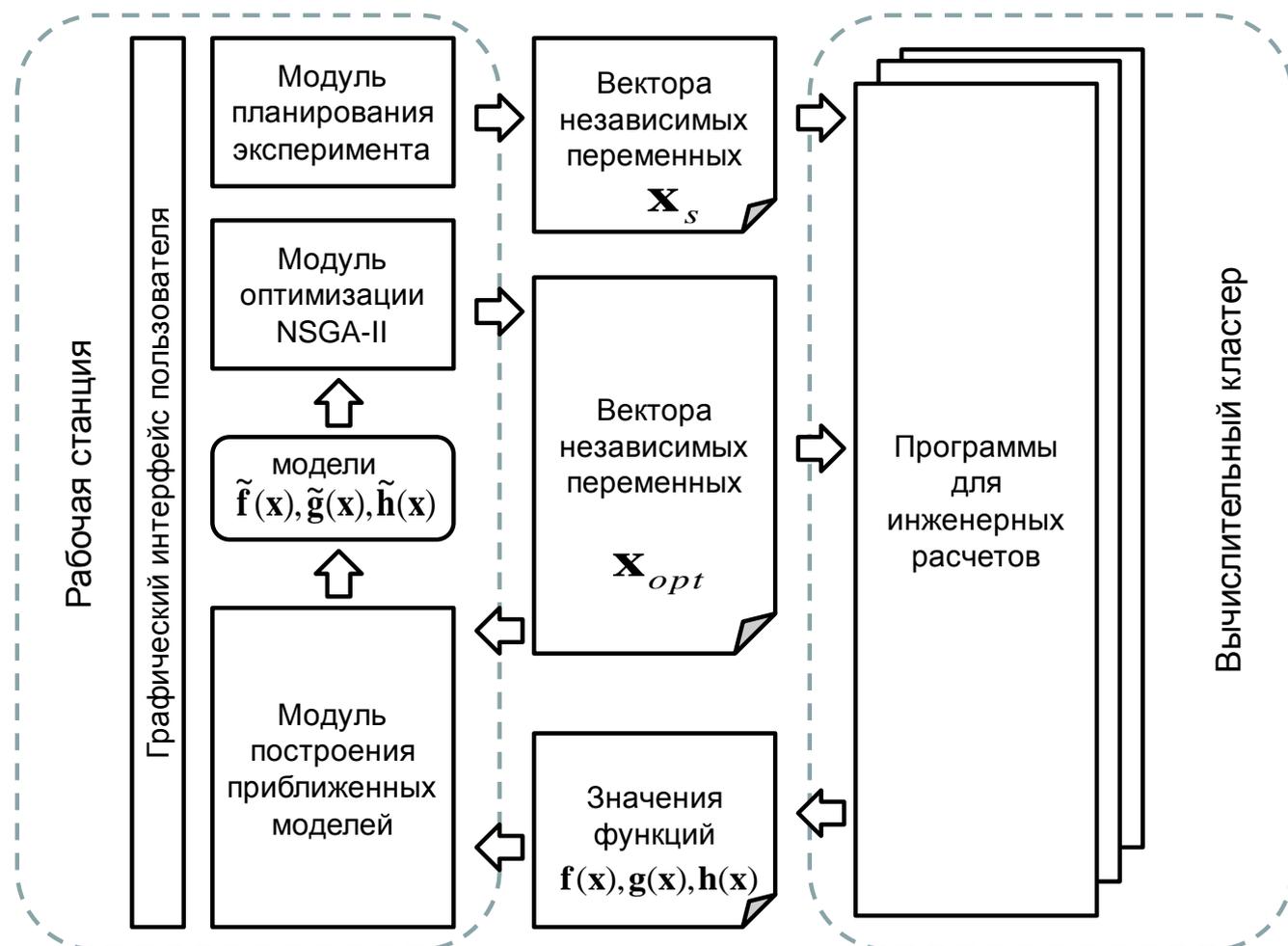


Рис. П.10. Программная реализация предложенного метода

Программное обеспечение, реализующее описанный метод, написано на языке Python 2.6 с помощью библиотек `numpy` и `scipy`. Программа состоит из четырех модулей (рисунок П.10), реализующих планирование эксперимента, многокритериальную оптимизацию по методу NSGA-II, построение приближенных моделей на базе RBF-сетей, как это было описано выше, и графический интерфейс пользователя. Высокая скорость работы предложенных методов, а также скорость вычислений при помощи упомянутых математических библиотек языка Python,

позволили разместить все компоненты системы на одной рабочей станции без потери производительности. Обмен с внешними программными системами, в которых осуществляется вычисление точных моделей, ведется через файлы обмена. Данные системы могут быть запущены в параллельной среде на вычислительном кластере.

В качестве практического примера рассмотрим задачу оптимизации геометрии рабочего диска турбины газотурбинного двигателя (ГТД). Целью оптимизации является получение минимальной массы диска при сохранении прочностных характеристик, которые определяются коэффициентами запаса по напряжению.

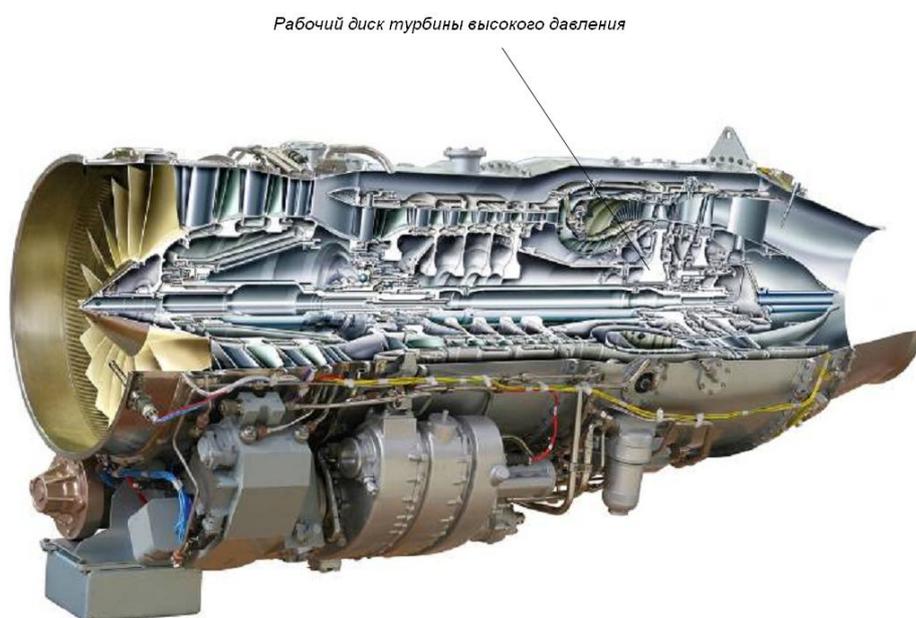
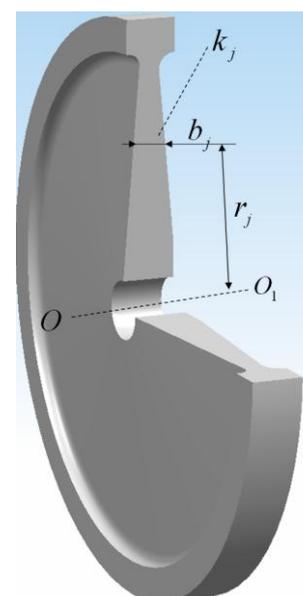


Рис. П.11. Авиационный ГТД



**Рис. П.12.
Рабочий диск
турбины ГТД**

Рабочий диск турбины высокого давления (рисунок П.11), на внешнем ободе которого устанавливаются рабочие лопатки, вращается с частотой несколько тысяч оборотов в минуту в неоднородном поле температур, причем максимальная

температура может достигать 1000°K и выше. Основной нагрузкой диска являются центробежные силы лопаток, собственной массы диска и присоединенных к диску круговых элементов конструкций (фланцев, уплотнений и т.п.). Поскольку диск работает при большой неравномерности нагрева, помимо напряжений от центробежных сил, также возникают значительные температурные напряжения, которые обязательно должны учитываться при определении общего напряженного состояния диска. Рабочий диск турбины высокого давления является одной из наиболее нагруженных деталей в ГТД и определяет эксплуатационные качества двигателя в целом. Подбирая конфигурацию диска можно получить более благоприятное по запасам прочности общее распределение напряжений.

Геометрия диска (рисунок П.12) описывается при помощи задания его толщины b_j в различных сечениях, определяемых радиусами r_j . Далее на основе математической модели вычисляются масса диска, напряжения, вызванные действием центробежных сил, и запасы прочности по местным напряжениям k_j в указанных сечениях для заданных частоты вращения и поля температур. На значения k_j наложены ограничения (они не должны быть меньше заданных величин, в данном случае должны выполняться неравенства $k_j \geq 1,5$). В рассматриваемом случае размерность задачи: 24 независимых переменных (b_j), 24 ограничения (k_j) и одна целевая переменная - M .

Оптимизация рабочего диска турбины в изложенной выше постановке является задачей нелинейного программирования (однокритериальной оптимизации), которая в общем виде формулируется следующим образом: найти вектор решений $\vec{x} = [x_1, x_2, \dots, x_r]$, оптимизирующий значение функции $f(\vec{x})$ при ограничениях $g_i(\vec{x}) \leq 0$; $h_j(\vec{x}) = 0$; $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, p$. При этом как целевая функция, так и все ограничения могут быть нелинейными. Традиционно при решении задач нелинейного программирования (НП) с ограничениями используются следующие способы:

- Распространение аппарата линейного программирования на нелинейные условия путем многократно используемой процедуры линейной аппроксимации.
- Преобразование задачи НП с ограничениями в эквивалентную ей последовательность задач безусловной оптимизации путем введения в рассмотрение штрафных функций.
- Использование скользящих допусков, позволяющих оперировать в процессе решения задачи, как с допустимыми, так и с недопустимыми векторами в пространстве решений.

Рассмотрим следующие способы решения исследуемой задачи, которые широко применяются в инженерных расчетах и реализованы в различных программных библиотеках: метод оптимизации с ограничениями при помощи линейной аппроксимации (COBYLA - Constrained Optimization BY Linear Approximation, является модификацией симплекс-метода для задачи НП с линейной аппроксимацией целевой функции и функций ограничений) [21] и несколько методов, базирующихся на генетических алгоритмах.

Генетические алгоритмы являются весьма эффективным методом решения задач оптимизации, однако учет ограничений при использовании этого подхода требует дополнительных усилий. Общий обзор методов учета ограничений в генетических алгоритмах дан в [22]. Для сравнительного анализа были выбраны:

- NPGA (Niche-Pareto Genetic Algorithm) - метод многокритериальной оптимизации [23], адаптированный к задаче однокритериальной оптимизации [24]. Особенность этого метода заключается в правиле отбора. S_r особей отбирается с помощью парного турнира, причем могут быть отобраны особи как не нарушающие, так и нарушающие ограничения, оставшиеся $(1 - S_r)$ особей отбираются случайным образом (здесь S_r - для особей в популяции). Правила турнирного отбора особи:

- оба решения не нарушают ограничений: побеждает особь с лучшим значением функции приспособленности;
 - одно решение нарушает ограничения, другое – нет: побеждает особь, не нарушающая ограничения;
 - оба решения нарушают ограничения: отбирается недоминируемое на множестве t_{dom} решение, при условии, что второе является доминируемым на том же множестве;
 - оба решения нарушают ограничения и оба являются недоминируемыми или доминируемыми: побеждает особь с наименьшим числом нарушений ограничений независимо от значения целевой функции.
- NPGA-4 – метод NPGA, модифицированный автором диссертационной работы, за счет введения параллельной эволюции популяций и правила элитизма. Одновременно эволюционируют 4 популяции, после каждой итерации лучшая особь из каждой популяции копируется во все остальные.
 - EGA (Eclectic Genetic Algorithm) - генетический алгоритм со статическими штрафными функциями [25]. Функция приспособленности согласно данному методу модифицируется следующим образом:

$$fitness(\vec{x}) = \begin{cases} f(\vec{x}), & \text{если ограничения не нарушаются} \\ K - \sum_{i=1}^s \left(\frac{K}{m}\right), & \text{при нарушении ограничений} \end{cases}$$

где s - количество соблюдаемых ограничений, $m = n + p$ - общее количество ограничений, K - большая константа (в данной работе при вычислениях полагалось $K = 10^6$).

Результаты оптимизации геометрии диска, полученные при использовании вышеперечисленных методов однокритериальной оптимизации, приведены в таблице П.3, где использованы следующие обозначения для параметров генетическо-

го алгоритма: P_c - вероятность кроссовера; P_m - вероятность мутации; N_{pop} - размер популяции; N_g - число поколений, во время которых популяция эволюционирует. При использовании генетических алгоритмов генотип особи определялся списком действительных чисел $\vec{b} = [b_1, b_2, \dots, b_{24}]$, функция приспособленности – значением M .

Таблица П.3. Результаты оптимизации геометрии диска.

Метод	Параметры	Найденное значение M	Количество вызовов модели
COBYLA	-	11.638	5000
NPGA	$S_r = 0,8$; $t_{dom} = 20$; $P_c = 0,9$; $P_m = 0,2$; $N_{pop} = 100$; $N_g = 10$; однородный кроссовер, случайная мутация	11.555	890
NPGA-4	4 популяции, для каждой: $S_r = 0,8$; $t_{dom} = 10$; $P_c = 0,8$; $P_m = 0,5$; $N_{pop} = 50$; $N_g = 5$; однородный кроссовер, гауссовская мутация	11.542	862
EGA	$P_c = 0,9$; $P_m = 0,2$; $N_{pop} = 100$; $N_g = 10$; однородный кроссовер, случайная мутация	11.518	1 803

Проблема оптимизации геометрических параметров диска может быть переформулирована как задача многокритериальной оптимизации:

минимизировать $\{ M ; 21,5 - \min(k_j) \}$

при условии $k_j \geq 1,5, j=1...24$

Условие $\{ 21,5 - \min(k_j) \}$ означает, что минимизируется разница между константой (в данном случае из соображений удобства выбрано значение 21,5) и минимальным из значений ограничений k_j . На рисунке П.13 представлено глобальное Парето - оптимальное множество решений, найденное при помощи NSGA-II для задачи оптимизации диска в многокритериальной постановке при $N_{pop} = 100$; $N_g = 50$. Из рисунка видно, что ни один метод однокритериальной оптимизации не приблизился к найденному при помощи NSGA-II решению $M = 9,577$ кг.

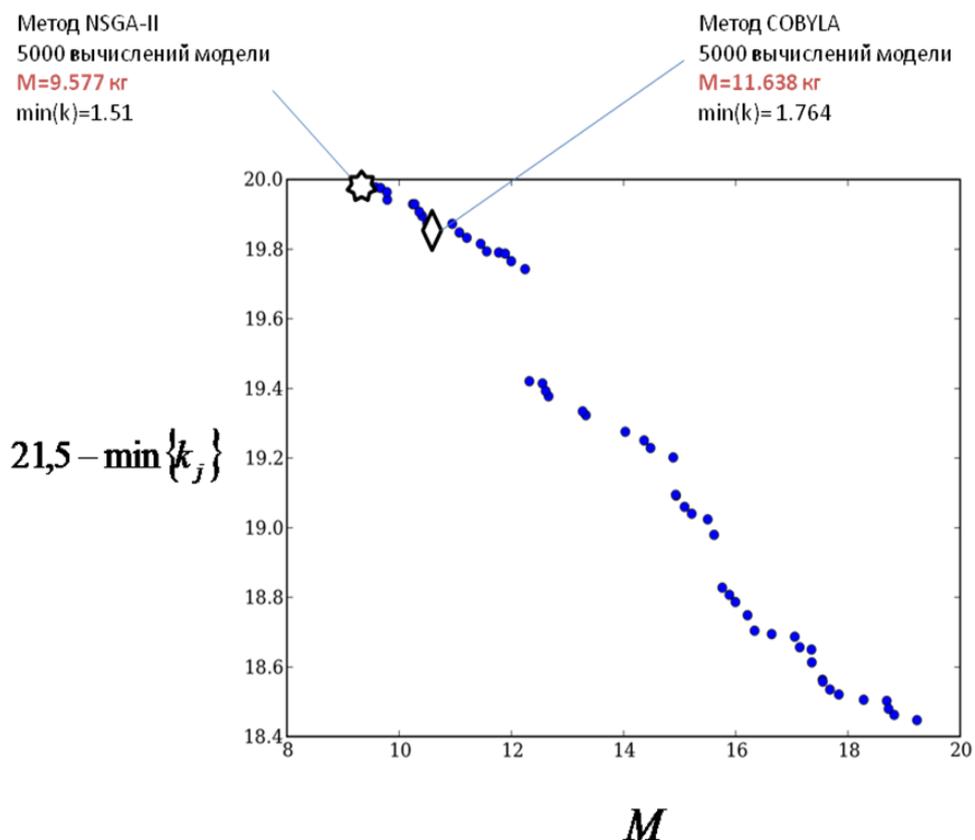


Рис. П.13. Глобальное Парето – оптимальное множество решений.

Однако, при указанных параметрах $N_{pop}=100$; $N_g=50$ при вычислениях по методу NSGA-II потребовалось 5000 вычислений модели диска, что влечет к значительным затратам машинного времени. Воспользуемся предложенным выше методом для сокращения количества вычислений. Согласно данному методу для задачи оптимизации геометрии диска турбины была сформирована обучающая выборка на основе матрицы Тагучи L32, (потребовалось 32 вызова точной модели). Дальнейший ход решения представлен в таблице П.4, где N_h - количество нейронов в скрытом слое RBF-сети, аппроксимирующей оптимизируемую переменную.

Таблица П.4. Решение задачи оптимизации диска в многокритериальной постановке

Итерация	Модель M	Модель $\min(k_j)$	ϵ	Кол-во вызовов точной модели	Результат по приближенной модели		Результат по точной модели	
					M	$\min(k_j)$	M	$\min(k_j)$
1	$N_h=38$	$N_h=40$	0,00514	132	7,663	1,520	11,283	1,541
2	$N_h=39$	$N_h=41$	0,00285	232	7,222	1,506	10,815	1,516
3	$N_h=42$	$N_h=36$	0,00248	332	10,582	1,501	10,789	1,536
4	$N_h=40$	$N_h=37$	0,00079	432	9,601	1,560	9,850	1,504

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный метод многокритериальной оптимизации может с успехом применяться и для задач нелинейного программирования при соответствующем их переформулировании. Данный метод позволяет найти требуемое значение оптимизируемой функции близкое к оптимальному при значительном снижении количества вычислений точной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ПРИЛОЖЕНИЮ 1

1. **Васильев Ф.П.** Методы оптимизации [Текст] / Ф.П. Васильев. – М.: Изд-во «Факториал Пресс», 2002. – 824 с.
2. **Deb, K.** Multi-objective genetic algorithms: Problem difficulties and construction of test problems [Текст] / K. Deb // *Evolutionary Computation*. – 1999. – 7(3). – P. 205-230.
3. **Liu, G.P.** Multiobjective Optimization and Control [Текст] / G.P. Liu, J.B. Yang, J.F. Whidborne. – Philadelphia: Research Studies Press Ltd., 2001 – 330 p.
4. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей [Текст] / Под ред. С.М. Шляхтенко. – М.: Машиностроение, 1987. – 568 с.
5. **Зайченко, Ю.П.** Исследование операций [Текст] / Ю.П. Зайченко. – Киев: Слово, 2003. – 688 с.
6. **Zitzler, E.** Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach [Текст] / E. Zitzler, L. Thiele // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. – 1999. – 3(4). – P. 257-271.
7. **Fonseca, C.M.** Multiobjective Optimization and Multiple Constraint Handling with Evolutionary Algorithms II: Application Example [Текст] / C. M. Fonseca, P. J. Fleming // *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics. Part A: System and Humans*. – 1998. – Vol. 28, No.1. – P. 38-47.
8. **Clarich, A.** Application of evolutive algorithms and statistical analysis in the numerical optimisation of an axial compressor [Текст] / A. Clarich, G. Mosetti, V. Pediroda, C. Poloni // *Transport phenomena and dynamics of rotating machinery. ISROMAC-9. - Pacific Center of Thermal-Fluids Engineering*, 2002. – P. 9-23.
9. **Deb, K.** A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II [Текст] / K. Deb, S. Agrawal, A. Pratap, T. Meyarivan // *Parallel problem solving from nature - PPSN VI : 6th international conference, Paris, France, september 2000 : proceedings*. – Berlin: Springer, 2000. – P. 849-858.

10. **Egorov, I.N.** Multi-objective robust optimization using IOSO technology. Part I: Main features [Текст] / I. N. Egorov, G. V. Kretinin, I. A. Leshchshenko, S. V. Kuptcov // Proceedings of International Congress on Evolutionary Methods of Design, Optimization and Control with Applications to Industrial Problems EUROGEN 2003. - Barcelona International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), 2003, - 154 p.
11. **Ивахненко, А. Г.** Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем [Текст] / А. Г. Ивахненко. – Киев: Наук. Думка, 1981 – 296 с.
12. **Yao, X.** A new evolutionary system for evolving artificial neural networks [Текст] / X. Yao, Y. Liu // IEEE Transactions on Neural Networks. - 1997. - Vol. 8. - P. 694-713.
13. **Topchy, A.** Adaptive training of radial basis function networks based on cooperative evolution and evolutionary programming [Текст] / A. Topchy, O. Lebedko, V. Miagkikh, N. Kasabov // Progress in connectionist-based information systems / N. Kasabov et al (Eds.). – Berlin: Springer, 1998. – P. 253-258.
14. **Fogel, D.B.** Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence [Текст] / D.B. Fogel. – New York: IEEE Press, 1995. – 272 p.
15. **Yao, X.** Evolving Artificial Neural Networks [Текст] / X. Yao // Proceedings of the IEEE. – 1999. – Vol. 87, No. 9. – P. 1423-1447.
16. **Moody, J.** Fast Learning in Networks of Locally Tuned Processing Units [Текст] / J. Moody, C.J. Darken // Neural Computation. – 1989. – Vol.1. – P. 181-194.
17. **Осовский, С.** Нейронные сети для обработки информации [Текст] / С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
18. **Холщевников, К.В.** Теория и расчет авиационных лопаточных машин [Текст] / К.В. Холщевников, О.Н. Емин, В.Т. Митрохин. – М.: Машиностроение, 1986. – 614 с.
19. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей [Текст] / Под ред. Д.В. Хрони́на. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

20. **Цховребов, М.М.** «Модульное» моделирование весовых характеристик ТРДДФ [Текст] / М.М. Цховребов // ЦИАМ 2001-2005. Основные результаты научно-технической деятельности. Том I – М.: ЦИАМ, 2005, С. 64-68.
21. **Powell, M.** A direct search optimization method that models the objective and constraint functions by linear interpolation, [Текст] / M.J.D. Powell // *Advances in Optimization and Numerical Analysis* / S. Gomez, J-P. Hennart (Eds.). – Dordrecht: Kluwer Academic, 1994. – P. 51–67.
22. **Coello Coello, C.** Theoretical and Numerical Constraint-Handling Techniques used with Evolutionary Algorithms: A Survey of the State of the Art [Текст] / C. A. Coello Coello // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. – 2002. - 191(11–12). – P.1245– 1287.
23. **Horn, J.** A Niche Pareto Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization [Текст] / J. Horn, N. Nafpliotis, D. E. Goldberg // *Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, IEEE World Congress on Computational Intelligence, Piscataway, New Jersey, June 1994.* - IEEE Service Center, 1994. – Vol. 1. - P. 82–87.
24. **Coello Coello, C.** Handling Constraints in Genetic Algorithms Using Dominance-Based Tournaments [Текст] / C. A. Coello Coello, E. Mezura-Montes // *Proceedings of the Fifth International Conference on Adaptive Computing Design and Manufacture (ACDM 2002)* / I.C. Parmee (Ed.). – Berlin: Springer-Verlag, 2002. – Vol. 5. – P. 273-284.
25. **Morales, A.K.** A Universal Eclectic Genetic Algorithms for Constrained Optimization [Текст] / A.K. Morales, C.V. Quezada // *Proceedings 6th European Congress on Intelligent Techniques & Soft Computing, EUFIT'98, Aachen, Germany.* - Verlag Mainz, 1998. – P. 518-522.