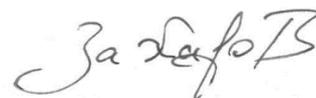


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр  
Российской академии наук»

На правах рукописи



Захаров Валерий Вячеславович

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
И МОДЕРНИЗАЦИИ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
НА ОСНОВЕ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации  
(технические системы)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
Заслуженный деятель науки РФ,  
Лауреат премии правительства РФ  
в области науки и техники,  
доктор технических наук, профессор  
Соколов Борис Владимирович

Санкт-Петербург – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 5  |
| 1. Системный анализ и формальная постановка задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы                                     | 17 |
| 1.1. Анализ современного состояния исследований в области управления жизненным циклом корпоративной информационной системы.....   | 17 |
| 1.2. Особенности процессов комплексного планирования модернизации корпоративной информационной системы на современном этапе.....  | 33 |
| 1.3. Концептуальное описание и интерпретация процессов функционирования и модернизации корпоративной информационной системы как процессов управления ее структурной динамикой .....   | 50 |
| 1.4. Теоретико-множественная постановка задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы. ....                                   | 56 |
| 1.5. Анализ и обоснование путей решения сформулированной задачи .....   | 58 |
| Выводы .....  | 61 |
| 2. Полиmodelьное описание процессов программного управления функционированием и модернизацией корпоративной информационной системы .....  | 63 |
| 2.1. Логико-динамическая модель программного управления бизнес-процессами при функционировании сложного технического объекта .....  | 64 |
| 2.2. Логико-динамическая модель программного управления функционированием и модернизацией корпоративной информационной системы.....   | 67 |
| 2.3. Логико-динамическая модель программного управления модернизацией ресурсов корпоративной информационной системы .....   | 73 |
| 2.4. Формальная постановка задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы как задачи оптимального программного управления..... | 77 |
| Выводы .....  | 81 |
| 3. Комбинированный алгоритм и методика решения задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы.....                             | 83 |
| 3.1. Преобразование задачи оптимального программного управления функционированием и модернизацией корпоративной информационной системы в двухточечную краевую задачу .....            | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2. Анализ достоинств и недостатков существующих методов и алгоритмов решения задач оптимального программного управления сложными динамическими объектами.....  | 86  |
| 3.3. Алгоритм решения задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы на основе комбинированного использования методов последовательных приближений и многокритериальной оптимизации ..... | 90  |
| 3.4. Методика динамического оценивания качества комплексных планов функционирования и модернизации корпоративной информационной системы .....  | 98  |
| Выводы .....   | 107 |
| 4. Программная реализация и исследование разработанных комбинированных методов и алгоритмов комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы .....   | 109 |
| 4.1. Анализ требований и технологий создания прототипа модуля программного комплекса решения задач функционирования и модернизации корпоративной информационной системы .....  | 109 |
| 4.2. Особенности программной реализации прототипа модуля программного комплекса .....  | 110 |
| 4.3. Спецификация модуля программного прототипа.....   | 111 |
| 4.4. Описание разработанного прототипа программного модуля.....  | 112 |
| 4.5. Пример использования разработанного специального модельно-алгоритмического обеспечения для поиска комплексного плана модернизации и функционирования корпоративной информационной системы складского комплекса .....                        | 113 |
| 4.6. Анализ результатов машинных экспериментов.....  | 123 |
| 4.7. Возможные варианты применения разработанного модельно-алгоритмического обеспечения .....  | 125 |
| Выводы .....   | 127 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | 129 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....  | 132 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....   | 134 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ СТРУКТУР РАЗРАБОТАННОГО ПРОТОТИПА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ .....  | 149 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЧАСТНЫХ ПЛАНОВ В РАМКАХ РАЗРАБОТАННОГО ПРОТОТИПА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ.....   | 153 |

|   |     |
|---|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ<br>РАЗРАБОТАННОГО ПРОТОТИПА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ..... | 154 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА РАЗРАБОТАННОГО<br>ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ.....                  | 157 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 5. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ<br>ДИССЕРТАЦИИ .....                       | 162 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 6. КОПИИ АКТОВ ВНЕДРЕНИЯ .....   | 166 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы диссертации.** Научно-техническая революция непрерывно меняет современный мир. При этом в соответствии с известным законом кибернетики (законом необходимого разнообразия) происходит естественное эволюционное усложнение как самих технических систем (например киберфизических систем), так и их систем управления (СУ) [166,189]. Вместе с тем объекты критических инфраструктур, которые относятся к классу сложных технических объектов (СТО), должны выполнять целевые задачи в различных условиях обстановки.

Известно, что современные СТО и их СУ представляют собой множество взаимозависимых распределенных элементов и подсистем, в составе которых, в общем случае, присутствуют в том или ином виде информационно-вычислительные и аппаратно-программные средства корпоративных информационных систем (КИС). Они предоставляют услуги (*информационные сервисы*) по поддержке бизнес-процессов (БП) СТО и собственных информационных процессов, обеспечивающих их функционирование [121].

В общем случае КИС являются сложными организационно-техническими объектами (в т.ч. с эргатическими подсистемами). Однако в диссертации подобные объекты рассматриваются *в узком смысле*, то есть как среда безбумажной информационно-управленческой поддержки целенаправленной деятельности в рассматриваемой предметной области. В основе современных КИС находятся технические средства, которые позволяют обрабатывать и передавать данные и информацию, а также параметры их функционирования другим компонентам. Рассмотрение указанных систем как *большеразмерного комплекса взаимосвязанных неоднородных программно-аппаратных средств выработки управляющих воздействий* позволяет отнести КИС к классу СТО.

Вместе с тем элементы и подсистемы информационных систем, а также объектов, в рамках которых они функционируют, подвержены изменениям на всех

этапах жизненного цикла (ЖЦ). Это связано с воздействием различных причин, имеющих объективный (субъективный), внешний (внутренний) целенаправленный идентифицируемый характер. Указанную особенность функционирования СТО принято называть структурной динамикой. В [90] было показано, что для поддержания качества работы СТО, оцениваемого различными параметрами, необходимо *проактивно (на основе опережения, упреждения) управлять* не только бизнес-процессами (БП), но и параметрами соответствующих структур СТО (технологической, технической, информационной и т.д.). «Структура – это характеристика устойчивых связей и способов взаимодействия элементов СТО, которая определяет его целостность, строение, а также основы организации» [90].

В состав задач управления ЖЦ СТО включают, в общем случае, задачи: «синтеза облика системы; определения сроков перехода СТО из текущего в синтезируемое состояние; синтеза технологий управления, поддерживающих данный переход; синтеза программ функционирования и модернизации (развития) СТО; оперативного управления процессами реализации синтезированных планов» [24,88,91,94,95]. Среди перечисленных задач важнейшее место занимает задача комплексного планирования функционирования и модернизации рассматриваемых объектов. В рамках данного направления исследований, в первую очередь, требуется *связать* результаты логически упорядоченных и взаимосвязанных процессов и операций, которые обеспечивают достижение стратегических целей СТО на различных этапах на фоне непрерывного изменения их параметров и структур, а также распределить данные процессы и операции по соответствующим ресурсам. Данные задачи принято называть задачами многокритериального динамического структурно-функционального синтеза.

**Степень разработанности темы.** Проведенный анализ показал, что на данный момент получены значимые результаты в следующих направлениях исследований задач структурно-функционального синтеза: «синтез технической структуры СТО при известных законах функционирования основных элементов и подсистем [66,87,135,141]; синтез функциональной структуры СТО или синтез

программ управления ими при известной технической структуре [5,12,39,87,129]; синтез программ создания и развития (модернизации) новых СТО без учета этапа совместного (параллельного) функционирования существующей и внедряемой системы [66,136-138,179]; параллельный полиструктурный синтез СТО» [21,36,66,135].

Для решения задач, которые возникали на практике управления СТО, было разработано множество специальных методов, алгоритмов и прикладных методик [16,19,55-57,63,125]. Ценные результаты в рамках данного направления исследований были получены вследствие развития теории расписаний и математического программирования советскими и российскими учеными: Зимин, Ю.П., В.С. Танаев; А.Я. Лернер, И.Н. Иванюков, Н.Н. Моисеев, В.С. Шкурба. В зарубежной литературе этими вопросам посвящены публикации [5,12,13,19,144,149,157,179,180]. Однако в представленных выше работах недостаточное внимание было уделено вопросам разработки методов и алгоритмов, позволяющих корректно формализовать на различных уровнях абстракций (концептуальном, алгоритмическом, программном) взаимовлияние элементов и подсистем друг на друга в рамках рассматриваемых объектов управления. При этом предлагаемые в перечисленных работах подходы были направлены на поиск частных решений задач планирования операций в СТО. Дополнительно отметим несовершенство способов учета множества противоречивых требований, предъявляемых к рациональному распределению гетерогенных операций в многоуровневых объектах.

Таким образом, анализ научных работ выявил недостаточную глубину исследований, направленных на разработку моделей, методов и алгоритмов синтеза программ управления СТО, комплексно учитывающих не только взаимосвязанный характер протекающих процессов функционирования, но и потребность в разработке комплексных планов их модернизации.

Очевидно, что синтезировать комплексный план функционирования и модернизации (развития) СТО невозможно без опоры на принципы системного

подхода и комплексного моделирования. Данным вопросами также занимались многие известные отечественные и зарубежные ученые [36,66-64,87,91-92,103,129,136-137,141]: С.А. Долбановский, Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, В.Н. Калинин, Н.Н. Моисеев, Ф.И. Перегудов, А.Д. Цвиркун, У.Р. Эшби, Дж. Клир, М. Месарович, Д. Мако, Я. Такахара, Д. Табак, Б. Куо и др.

Их работу продолжили [1,90,100,103,118,143]: С.В. Емельянов, С.В. Микони, Ю.И. Рыжиков, Б.В. Соколов, Ф.П. Тарасенко, Р.М. Юсупов и другие. Исследователи развили и расширили теоретические основы теории комплексного моделирования и управления сложными процессами. Среди них выделим подходы, основанные на методах общей и прикладных теории оптимального управления [5,12,13,63,64] (В.Н. Калинин, Б.А. Резников, Р. Беллман, М. Атанс, П. Фалб и др.). Развитию указанных идей посвящено данное диссертационное исследование.

Объединяет перечисленных выше направлений то, что значимых результатов на этапе их применения можно добиться только при *комплексной автоматизации* как *процессов функционирования* элементов и подсистем СТО, так и соответствующих этапов *планирования* [7,28,35,58,85] (см. Е.П. Балашов, В.И. Городецкий, В.Б. Мальцев.).

Следует подчеркнуть, что в предыдущих исследованиях показана необходимость дальнейшего развития основ многокритериального полиструктурного синтеза не только самого СТО, но и важнейшей подсистемы СУ СТО – КИС [109,110]. Это особенно важно при наблюдаемом бурном росте сложности используемых, внедряемых и развиваемых интеллектуальных информационных систем поддержки принятия решений (ИИСППР) [110]. Таким образом, особую актуальность сегодня приобретает *научно-техническая задача разработки нового специального модельно-алгоритмического обеспечения решения задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС*, которые сегодня входят в состав практически любой СТО непрерывного цикла и являются одной из основных частей информационно-управляющей подсистемы СУ. В диссертации для проведения обоснованной декомпозиции

решаемых КИС задач по обеспечению функционирования БП предложено использовать сервис-ориентированный подход, что позволяет на принципиально новом уровне связать существующие и вновь разрабатываемые модели, описывающие процессы функционирования и модернизации КИС на различных уровнях абстракции и детализации (например, концептуальном, алгоритмическом, программном).

Создание необходимого специального модельно-алгоритмического обеспечения невозможно без предварительного определения требований, предъявляемых к его свойствам и соответствующей методологической базы исследования их свойств.

**Цель диссертационной работы** состоит в повышении оперативности, обоснованности и качества процессов управления КИС на основе разработки и исследования моделей и алгоритмов комплексного планирования функционирования и модернизации ее основных элементов и подсистем.

Поставленная цель предусматривает решение следующих задач:

1. Провести системный анализ задач синтеза комплексных планов функционирования и модернизации КИС.
2. Разработать комплекс моделей процессов совместного функционирования и модернизации КИС на основе сервис-ориентированного подхода.
3. Выполнить анализ существующих алгоритмов синтеза программ комплексного функционирования и модернизации КИС, а также разработать новую комбинированную процедуру поиска оптимального плана проведения комплекса операций и распределения ресурсов, базирующуюся на фундаментальных и прикладных результатах, полученных в теории оптимального управления и теории нечетких множеств и отношений.
4. Определить требования к программному обеспечению, а также разработать и исследовать соответствующий прототип программного модуля синтеза планов функционирования и модернизации КИС.

**Объектом исследования** является КИС, предоставляющая информационные сервисы СТО.

**Предметом исследования** является разрабатываемое специальное модельно-алгоритмическое обеспечение решения задач многокритериального синтеза комплексных планов функционирования и модернизации КИС.

**Методология и методы диссертационного исследования.** При выполнении работы были использованы: общая теория систем; теория принятия решений; теория расписаний; методы решения экстремальных задач; методология системного анализа и современные модели, методы и алгоритмы, развиваемые в современной фундаментальной теории управления структурной динамикой СТО; теория многокритериального выбора; методы исследования операций.

**Научная новизна** результатов, полученных при решении поставленных задач, состоит в следующем:

1. Разработан комплекс логико-динамических моделей программного управления разномасштабными взаимосвязанными операциями и гетерогенными ресурсами КИС на основе сервис-ориентированного подхода. Достоинство, новизна и отличия разработанного полимодельного комплекса заключаются в том, что предложенные модели программного управления информационными сервисами, позволяют связать стоимостные показатели качества, оценивающие в обобщенной форме затраты на реализацию БП (выполняемых в рамках соответствующих СТО), с показателями, характеризующими объем услуг, предоставляемым данными сервисами, а также провести расчет расходов различных видов ресурсов, связанных с эксплуатацией и модернизацией КИС. Вместе с тем отсутствуют методические ошибки в окончательных результатах решения перечисленных задач по сравнению с традиционными подходами, в рамках которых проводится последовательное и независимое решение задач оптимизации программ функционирования и программ модернизации КИС на основе той или иной эвристической декомпозиции.

2. Предложен комбинированный алгоритм комплексного планирования функционирования и модернизации КИС, используя который, удалось дискретно-событийную задачу комплексного планирования операций и распределения ресурсов преобразовать в двухточечную краевую задачу с помощью метода локальных сечений Болтянского В.Г. При этом за счет предложенного нелинейного преобразования исходных технических и технологических ограничений, описывающих исследуемую предметную область, удается, оставаясь в классе кусочно-непрерывных управляющих воздействий, получать во времени их целочисленные значения, определяющие конкретный оптимальный порядок выполнения разномасштабных взаимосвязанных операций и распределения разнотипных ресурсов КИС в процессе ее функционирования и модернизации.

3. Разработана методика динамического многокритериального оценивания качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС. При этом в отличие от существующих подходов, основанных на тех или иных методиках эвристического назначения весовых коэффициентов в свертке частных показателей качества рассматриваемых комплексных планов, представленных в виде терминальных показателей Майера, данные коэффициенты формируются автоматически на основе предварительной обработки и анализа знаний экспертов об исследуемой предметной области, задаваемых в нечетко-продукционном виде и обрабатываемых методами теории планирования экспериментов.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученные в данном исследовании результаты имеют практическое и теоретическое значение, которое подтверждается результатами их внедрения в различных предметных областях (космонавтика, государственное управление, научная и образовательная деятельность).

Разработанные в диссертации новые подходы к описанию и оптимизации процессов функционирования и модернизации КИС позволили повысить оперативность и обоснованность получаемых комплексных планов по сравнению с ранее предложенными подходами и решениями в рассматриваемом классе задач.

Результаты проведенных машинных экспериментов указывают на то, что разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение может быть успешно применено информационными службами и отдельными специалистами в области поддержки и внедрения перспективных систем автоматизации управленческой деятельности объектов, что позволит обеспечить качественный анализ экономико-управленческого влияния модернизации КИС на протекающие в СТО БП.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Полимодельное логико-динамическое описание и постановка задачи комплексного планирования функционирования и модернизации КИС как задачи программного управления динамическими объектами со смешанными ограничениями.
2. Комбинированный алгоритм решения задачи комплексного планирования функционирования и модернизации КИС, построенный на основе использования методов теории оптимального управления и многокритериального выбора.
3. Методика динамического многокритериального оценивания качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС.

**Степень достоверности и апробация результатов** подтверждается следующим:

1. Полнотой и глубиной анализа отечественных и зарубежных источников, отражающих классические подходы и современное состояние исследований задач моделирования и управления функционированием и модернизацией КИС.
2. Использованием математического аппарата современной теории оптимального управления динамическими объектами, обеспечившего полноту, замкнутость и непротиворечивость результатов решения задач синтеза комплексных планов управления функционированием и модернизацией КИС.
3. Апробацией проведенных исследований на всероссийских и международных научных конференциях.
4. Согласованностью результатов, полученных с использованием положений, изложенных в диссертации, с данными, полученными в результате проведения

опросов специалистов, непосредственно участвующих в процессах разработки планов функционирования и модернизации КИС.

Результаты были использованы в СПИИРАН в рамках выполнения проектов и НИР: государственное задание №0073-2019-0004 «Методология и технологии интеграции существующих и перспективных государственных и коммерческих информационно-управляющих и телекоммуникационных систем и сетей на различных этапах их жизненного цикла»; грант РФФИ № 18-07-01272: «Разработка теоретических и технологических основ интеллектуальной поддержки принятия решений при комплексном планировании работы городского магистрального транспорта в мегаполисе с учетом предпочтений пассажиров различных социальных групп»; грант РФФИ № 18-08-01505: «Разработка и исследование методов и алгоритмов проактивного управления восстановлением работоспособности бортовых систем сложных динамических объектов при возникновении нештатных ситуаций»; грант РФФИ 20-08-01046: «Комбинированные методы и алгоритмы комплексного моделирования, многокритериального оценивания и оптимизации показателей живучести и эффективности функционирования сложных объектов, обладающих структурно-функциональной избыточностью»; грант РФФИ №19-08-00989 А: «Разработка и исследование научных основ теории многокритериального оценивания, анализа и управления качеством моделей и полимодельных комплексов, описывающих сложные технические объекты»; грант РФФИ № 19-11-00126 «Модели и методы поддержки принятия решений на основе человеко-машинного коллективного интеллекта».

Основные результаты данной были апробированы на 12 конференциях, в т.ч. на 7 международных, среди которых: 32nd European Modeling & Simulation Symposium (EMSS 2020) Greece, Athens, 2020; 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2019 Berlin, Germany, 28–30 August 2019; The 13th International Symposium on Intelligent Distributed Computing (IDC 2019); 4th International Scientific Conference “Intelligent Information

Technologies for Industry” December 2-7, 2019, Ostrava-Prague, Czech Republic; Международная научная конференция «Танаевские чтения» 2018, Минск (27-30 марта 2018г.); XV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2018) Санкт-Петербург, 24-26 октября 2018 г.; XVII Междунар. науч.-практ. Конф. Логистика: современные тенденции развития материалы. 5 апреля 2019 г. Санкт-Петербург; 5-я Международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2019); 5-я Международная научной конференция «Технологическая перспектива в рамках евразийского пространства»: Новые рынки и точки экономического роста. Санкт-Петербург 7–8 ноября 2019 г.; Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2019, Совещание), посвященное 80-летию Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН), проводится 17-20 июня 2019 года в ИПУ РАН (г. Москва, Россия); Конференция "Информационные технологии в управлении" (ИТУ-2020), проводимая в рамках 13-й мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2020); V межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет. Апробация проведена в рамках учебных процессов в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения; при проведении СЧ ОКР «Разработка единого виртуального электронного паспорта КРН «Союз-2» в АО «НИО ЦИТ «Петрокомета»; в рамках проведения исследований возможных сценариев реализации инфраструктурного проекта в ООО «Хлебный Дом».

**Публикации.** Результаты диссертационной работы опубликованы в 20 печатных работах, среди них 4 работы в рецензируемых журналах из перечня ВАК. Одна публикация в журнале «Научное приборостроение» (2020 г.) и три публикации в «Известиях ВУЗов. Приборостроение» (2019, 2020 гг.).

**Структура и объем работы.** Основной текст диссертация изложен на 172 листах, содержит введение, четыре главы, заключение, 6 приложений, список литературы (190 наименований), 6 таблиц, 34 рисунка.

**Краткое содержание работы.** В первой главе проведен системный анализ задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС. Показано, что процесс модернизации центральной подсистемы СУ СТО (КИС) следует тщательно спланировать, а синтезируемые управляющие воздействия должны учитывать стоимостные показатели качества программ реализации комплекса работ (инфраструктурного проекта). Представлена содержательная и теоретико-множественная постановки задачи распределения неоднородных операций и гетерогенных ресурсов на этапе совместного управления процессами функционирования и модернизации КИС. Сформулированы и обоснованы требования, предъявляемые к разрабатываемому модельно-алгоритмическому обеспечению, а также методологические принципы, на которых базируется решение исследуемого класса задач.

Во второй главе представлены разработанные в диссертации новые логико-динамические модели: модель программного управления БП, выполняемых в СТО; модель программного управления информационными сервисами в рамках модернизируемой КИС; модель программного управления модернизацией ресурсов КИС, которые позволяют конструктивно формализовать задачу комплексного планирования функционирования и модернизации КИС. При их построении использовались функционально-стоимостной и сервис-ориентированный подходы.

В главе также приведена обобщенная динамическая модель функционирования и модернизации КИС, которая относится к классу моделей многокритериального выбора, является детерминированной билинейной нестационарной конечномерной дифференциальной динамической системой. В главе также показано, что исследуемая в диссертации новая научно-техническая задача является задачей программного управления сложным динамическим объектом в качестве которого рассматривается СУ СТО вместе с ее основной подсистемой – КИС.

**В третьей главе** описан предложенный метод оценивания и оптимизации планов, а также комбинированный алгоритм поиска комплексной программы управления процессами модернизации и функционирования КИС, который учитывает как динамику ее структур, так и многокритериальный характер данных воздействий.

При этом исходная задача комплексного планирования функционирования и модернизации КИС была сведена к двухточечной краевой задаче планирования (с использованием принципа максимума Л.С. Понтрягина). В главе исследованы существующие алгоритмы комплексного планирования операций в СТО, а также выявлены их достоинства и недостатки. Предложен новый комбинированный подход, основанный на методах локальных сечений Болтянского В.Г. и последовательных приближений Крылова-Черноусько, а также алгоритмах, базирующихся на нечетко-возможностном подходе.

**В четвертой главе** описаны результаты разработки и исследования прототипа программного модуля, предназначенного для подтверждения корректности и адекватности предложенного специального модельно-алгоритмического обеспечения решения задач поиска плана выполнения разномасштабных операций (в т.ч. сервисов КИС) и распределения ее гетерогенных ресурсов на этапе совместного функционирования и модернизации. В конце четвертой главы представлен пример поиска комплексного плана модернизации информационной системы складского комплекса, входящего в состав СТО. Приведены результаты вычислительных экспериментов. Описаны возможные области применения и ограничения разработанного модельно-алгоритмического обеспечения, также проведен анализ вариантов использования разработанного модельно-алгоритмического обеспечения.

# **1. Системный анализ и формальная постановка задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы**

## **1.1. Анализ современного состояния исследований в области управления жизненным циклом корпоративной информационной системы**

Функционирование сложных технических объектов (СТО) в современных условиях требует *скоординированности* и *непрерывности* реализации протекающих в них целевых, вспомогательных и обеспечивающих процессов. К объектам подобного класса принято относить элементы и подсистемы критических инфраструктур, а именно: системы управления транспортно-логистическими комплексами различного назначения, гибкие автоматизированные производства, специализированные киберфизические системы, территориально-распределенные вычислительные сети и т.д. [146,188].

Отличительными особенностями СТО являются большая размерность, избыточность связей и функций основных элементов и подсистем, а также их неоднородность [188]. Подобным объектам свойственна нелинейность и непредсказуемость поведения; иерархическая-сетевая организация; постоянное изменение правил и технологий функционирования; изменчивость взаимосвязей элементов и подсистем, составляющих СТО (структурная динамика) и т.д. Дадим определение термину «структура», который далее в диссертации будет широко использоваться.

*Определение №1.* «Структура – это характеристика устойчивых связей и способов взаимодействия элементов рассматриваемого объекта, которая определяет его целостность, строение, а также основы организации» [90].

Достижение целей СТО, а именно создание конечной продукции (в т.ч. товаров и услуг) происходит в ходе реализации соответствующих бизнес-процессов (БП). БП – это совокупность упорядоченных и взаимосвязанных операций, выполняемых в объективной реальности для достижения целей

рассматриваемого объекта и требующих для этого соответствующих материальных, энергетических, информационных и финансовых ресурсов [11,31].

В свою очередь функционирование СТО невозможно без *системы управления* данными объектом (СУ). Она включает в себя как сам СТО, так и *управляющую подсистему*, состоящую из совокупности *информационно-управляющих и телекоммуникационных подсистем (ресурсов)*. При этом совокупность *аппаратно-программных средств*, на которых базируются данные подсистемы, предоставляет в ходе своего функционирования различные виды *информационных услуг (сервисы)* БП [37,38]. В этом случае единую среду выработки и реализации информационно-управляющих воздействий (в т.ч. программ управления) в СТО принято называть *корпоративной информационной системой* (КИС) [109,128].

Дадим определения ряду других терминов, которые будем использовать в дальнейшем:

*Определение № 2.* «Управление – это процесс формирования (выработки) и реализации управляющих воздействий» [64];

*Определение № 3.* «Управляющее воздействие – это воздействие на объект управления, предназначенное для достижения цели (целей) управления» [63];

*Определение № 4.* «КИС – это информационная система, в которой в автоматизированном режиме решается значительная часть как обеспечивающих и вспомогательных задач, так и целевых задач, определяющих основные виды деятельности объекта управления, в данном случае СТО» [110].

Современная КИС включают в себя комплекс средств автоматизации, реализующих информационно-управляющую (в т.ч. безбумажную) технологию выполнения поставленных задач [29,37,109,128]. Она состоит из технического, математического, программного, информационного обеспечения, которые формируют и предоставляют информационно-управляющие услуги (*информационные сервисы*), для эффективной реализации соответствующих БП [81].

В рамках используемого сервис-ориентированного подхода, который используется в диссертации для описания процессов, протекающих в КИС, далее в тексте будет говориться о процессах *управления информационными сервисами*. К основным *параметрам управления* в заданном контексте исследования относятся *параметры* соответствующих *сервисов*. Базовыми элементами управления КИС являются планирование, организация работ, контроль и измерение результатов управления функционированием КИС.

Информационные сервисы характеризуются следующими атрибутами: *содержанием* (перечнем решаемых задач и средствами их решения); *производительностью* (объемом транзакций или операций в единицу времени); *доступностью* (общим временем поддержки КИС БП); *уровнем* (периодом времени бесперебойной работы); *стоимостью* услуги (сервиса) для БП (цена услуги аутсорсинга или внутренние расчетные цены услуг в рамках СТО) [34,38,121].

Элементы и подсистемы, входящие в КИС, предоставляющие сервисы БП, характеризуются: избыточностью структур и функций; многовариантностью реализации управления на каждом уровне; гетерогенным составом вычислительных средств; изменчивостью параметров и структур КИС под действием внешних и внутренних возмущений [143,179]. Следовательно, можно сказать, что они сами являются СТО.

В общем случае процесс функционирования КИС включает в себя ряд этапов: синтез и передача информации и управляющих сигналов средствами КИС; обработка данных необходимых для выполнения задач, поставленных перед СТО и КИС; анализ поставленных перед СТО и КИС задач; оценка обстановки; многовариантное оценивание путей выполнения задач; оценивание возможного ресурсопотребления СТО и КИС; синтез управления СТО соответствующими средствами КИС; планирование использования элементов и подсистем СТО и средств КИС; выбор наиболее предпочтительных программ управления СТО

средствами КИС; контроль доведения и выполнения программ по управлению СТО средствами КИС; оперативное управление СТО средствами КИС [4,29,59,109,125].

На рисунке 1 приведен иллюстративный пример возможных вариантов взаимосвязей КИС, которые возникают и реализуются в процессах функционирования конкретных элементов и подсистем современных СТО. Главной особенностью данных процессов является то, что физическое управление материальным производством (в т.ч. БП) основывается на использовании КИС, которые подвержены моральному и физическому старению, что оказывает негативное влияние на качество реализации БП.



Рисунок 1. Основные элементы и подсистемы КИС

На рисунке 1 голубым цветом отмечены организационные и программно-технические элементы и подсистемы, обеспечивающие непрерывное функционирование СТО. Их основу составляют информационные ресурсы (ИР) КИС. «ИР – это документы и массивы документов в информационных системах (библиотеках, архивах, фондах, банках данных, других информационных системах). В более широкой трактовке, которая и будет использоваться далее в

диссертации, под ИР понимаются сведения, данные, информация, *методы и программно-аппаратные средства их генерации, обработки, хранения и развития* в различных формах» [62].

Достаточно ясно, что координация процессов в СТО невозможна без опоры на КИС, основой которых являются не только *программно-аппаратные ресурсы*, но и *модельно-алгоритмическое обеспечение*, реализующее координацию процессов функционирования в большеразмерных объектах. На рисунке 2 представлена иерархия существующих автоматизированных систем управления функционирования СТО. О них подробно будет сказано далее [98].



Рисунок 2. Пример типовой структуры СТО и АСУ СТО

В рамках перехода к новой парадигме (Индустрия 4.0) взаимодействия СТО с внешней и внутренней средой посредством КИС повсеместно наблюдается повышение значимости учета факторов сложности объектов управления, а процессам функционирования и модернизации (развития) КИС в научной литературе уделяется все большее внимание [15,37,76,93,115,116,166]. При этом при комплексном анализе сложности СТО выделяют, в первую очередь, факторы

сложности функционирования, сложности поведения; сложности структур, сложности развития, сложность моделирования и т.д. [90,100].

Наряду с этим разработка, функционирование и развитие (модернизация) КИС – это тоже длительный, трудоемкий, многоэтапный и сложный процесс. Он характеризуется значительными финансовыми, трудовыми и временными затратами; растянутыми сроком окупаемости; изменчивостью структур КИС (структурной динамикой); противоречиями между стратегическими и локальными задачами КИС на этапе модернизации ее элементов и подсистем; воздействием внутренних и внешних факторов, например неравномерным физическим и моральным износом элементов и подсистем СУ; длительным жизненным циклом (ЖЦ) и т.д.

*Определение № 5.* «Модернизация КИС – это этап ЖЦ, на котором производится обновление (замена) ее ресурсов, направленное на расширение функциональных возможностей по целевому назначению, снижение затрат на эксплуатацию, повышение технико-экономических показателей эффективности КИС и СТО в целом» [45,122].

Очевидно, что КИС должна эволюционно адаптироваться к текущим и будущим условиям, т.е. модернизироваться. Другими словами, сложность СУ должна соответствовать или превосходить уровень сложности решаемых задач в каждый момент времени, в противном случае затраты, связанные с реализацией БП, будут возрастать [7,54]. На рисунке 3 представлена иллюстрация взаимосвязи факторов затрат на техническую поддержку «устаревшей» КИС.

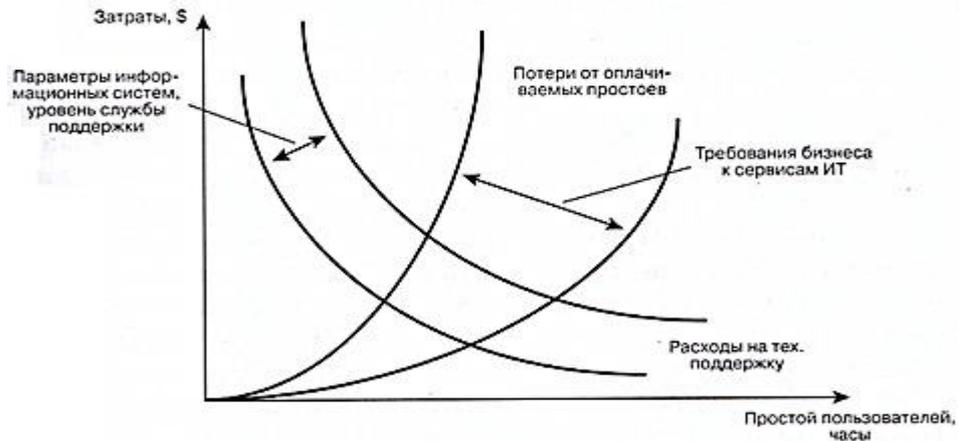


Рисунок 3. График связи затрат и простоев информационных сервисов и ресурсов

Вместе с тем конкурентная внешняя среда, в которой в настоящее время функционируют СТО, предъявляет жесткие требования, связанные с сокращением времени проектирования изделий (услуг) и подготовки ресурсов СТО; снижению затрат на поддержку обеспечивающих и вспомогательных процессов в СТО, т.к. накладные затраты сегодня часто сопоставимы с капитальными [74]. Из этого следует, что процесс параллельного функционирования и модернизации КИС должен быть *спланирован*, в противном случае вложения материальных и нематериальных активов в замену существующих элементов и подсистем на «новые» себя не оправдают.

Необходимость в непрерывности реализации и своевременном предоставлении сервисов, требуемых для БП, дополнительно повышает сложность задач управления функционированием и модернизацией КИС. Переход от устаревшей (существующей) информационной системы к «новой» должен происходить *без остановки выполнения БП* и, следовательно, *не может быть произведен мгновенно*. Это связано с тем, что, во-первых, элементы и подсистемы существующей и «новой» КИС могут функционировать параллельно в рамках одной подсистемы СУ СТО, а во-вторых, остановка БП может быть запрещена эксплуатационным регламентом (документацией) СТО, либо их запуск и отладка

приведет к дополнительному незапланированному расходу организационных, материальных и финансовых ресурсов. Таким образом, на этапе модернизации КИС имеется период *одновременного (параллельного)* функционирования элементов и подсистем существующей и «новой» системы. Помимо этого, на данном этапе ЖЦ КИС показатели качества БП, отражающие цель функционирования СТО, не должны ухудшаться.

Очевидно, что только *поэтапная упреждающая* модернизация (обновление, замена) информационно-управляющих аппаратно-программных средств (ресурсов), составляющих основу подсистемы управления СУ, является фундаментом результативности текущих и перспективных БП. Замена существующих подсистем и элементов КИС на новые должна осуществляться параллельно с решением всего спектра задач, стоящих перед СТО (оперативных и стратегических). Говоря о *комплексном планировании функционирования и модернизации* КИС, очевидно, что решение возникающих на данном этапе задач выходит за рамки «простого» администрирования программных сред. Сегодня очевидно, что синтез оптимальных программ скоординированного функционирования и модернизации невозможен без комплексной системно-кибернетической *постановки задачи*.

С формальной точки зрения указанную актуальную научно-техническую задачу поиска *комплексного плана функционирования и модернизации КИС* можно отнести к классу задач: «многокритериального структурно-функционального синтеза облика сложного динамического объекта» (в нашем случае КИС) на заданном этапе ЖЦ (модернизации) и разработки программ его перевода из текущего в заданное состояние [59,182].

Сегодня исследователями выделяются пять основных задач управления функционированием и модернизацией КИС [24,88,91,94,95]:

- а) структурно-функциональный синтез облика модернизируемого объекта;
- б) определение сроков программ модернизации КИС;
- в) синтез способа, порядка действий (технологий) проведения модернизации;

- г) синтез комплексного плана функционирования и модернизации КИС;
- д) синтез управляющих воздействий, обеспечивающих реализацию плана проведения модернизации и функционирования элементов и подсистем КИС.

В диссертации рассматривается только задача синтеза комплексного плана функционирования и проведения модернизации информационно-управляющих средств СУ СТО, входящих в состав современных КИС. Предполагается, что первоначальный (текущий) и требуемые облик (какой должна быть КИС после модернизации) заданы.

Наряду с вышеперечисленными определениями, введенными для системного описания и определения места и значимости процессов комплексного планирования функционированием и модернизацией КИС для реализации целей СТО, концепт ЖЦ является важнейшим понятием, который связывает управленческие, экономические и физические уровни рассматриваемых объектов [23,31,40,68,69,74,81,83,105]. Этот термин образует «среду» для всестороннего анализа взаимосвязей процессов функционирования и модернизации элементов и подсистем СТО, СУ СТО, и, наконец, самой КИС в заданные интервалы времени на различных уровнях абстракции.

*Определение № 6.* «ЖЦ – это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной услуге (изделии) до ее удовлетворения и последующей утилизации» [11,29,75-77].

Стимулом развития понятия ЖЦ и соответствующей методологии управления послужила потребность в повышении точности, полноты и актуальности логистической и технической информации об элементах и подсистемах многоуровневых СТО и соответствующих КИС [74]. На рисунке 4, взятом из работы [140], представлена иллюстрация развития данного подхода.



Рисунок 4. Этапы развития систем управления СТО [140]

На рисунке 5 в качестве примера приведены в графическом виде типовые этапы и фазы ЖЦ КИС.

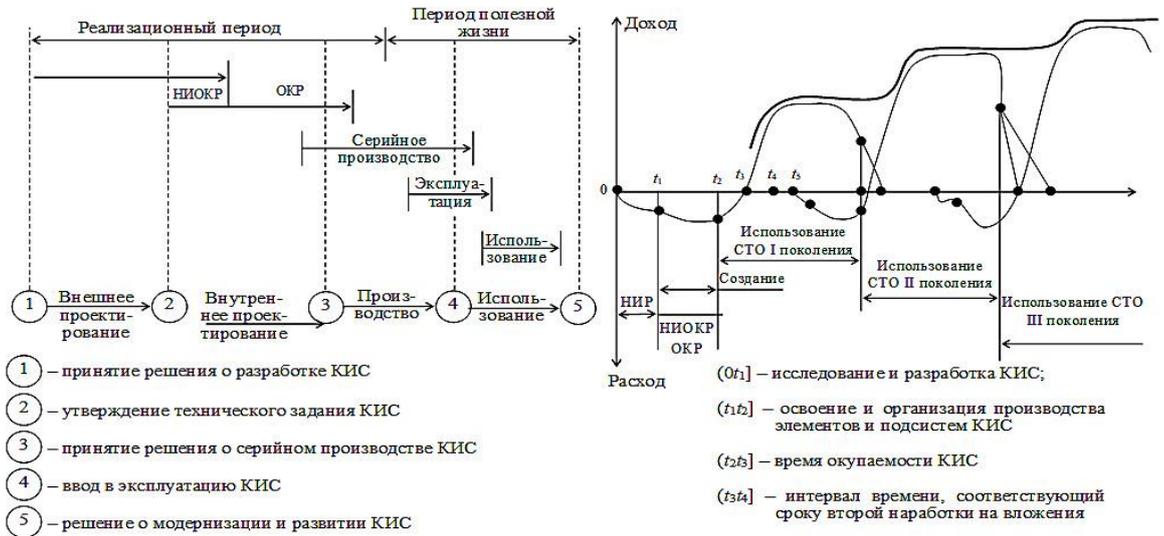


Рисунок 5. Обобщенная структура основных этапов ЖЦ КИС

Не представляя в деталях традиционные подходы к управлению ЖЦ КИС, выделим только обобщенные этапы: исследование, проектирование; создание;

внедрение (в т.ч. замена «прошлого» поколения информационных систем на «новое» поколения); эксплуатация; совершенствование; снятие с эксплуатации. Первые четыре этапа образуют реализационный период ЖЦ, а остальные период полезной жизни системы [122].

Управление ЖЦ КИС регламентировано международным стандартом [163]. Он распространяется на программные средства и технические системы в целом. В [162] задокументированы процессы управления ЖЦ только для программных средств, аппаратная часть игнорируется. Российским аналогом [162] является [30]. С целью упрощения совместного использования международных стандартов были дополнительно разработаны документы, определяющие порядок применения соответствующего стандарта.

В [30] стадии ЖЦ также не определены. Исследование работ, посвященных анализу и обзору существующих стандартов, выявил, что они носят исключительно рекомендательный характер. Руководитель проекта по разработке или специалист информационной службы должны самостоятельно выбирать методологию управления ЖЦ КИС. Подробно с особенностями взаимосвязи регламентирующих документов можно ознакомиться в работах [4,40].

В свою очередь по причине существенной гибкости и вариативности выбора парадигм управления ЖЦ СТО и КИС на базе классических парадигм были развиты индустриальные стандарты коммерческих организаций, которые связаны с соответствующим программным продуктам [79,83]. Перечислим некоторые из них: Oracle Unified Method (OUM) [173], Project Management Body of Knowledge (PMBOK) [117], Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOOK) [152], Projects In Controlled Environments (PRINCE2) [67] и т.д.

Отсутствие унифицированной методологии управления ЖЦ СТО и КИС в т.ч., привели к разработке ряда коммерческих продуктов PLM-класса (Product life-cycle management), которые активно используются на рынке. Подробный обзор основных преимуществ и недостатков современных систем отечественных и зарубежных систем управления ЖЦ представлен в работе [143].

Достаточно ясно, что процессы функционирования и модернизации каждой КИС уникальны, т.к. каждая система имеет свою схему функционирования на том или ином этапе ЖЦ СТО [76]. Это во многом связано с тем, что заказчики КИС (крупный и средний бизнес) традиционно настаивают на сокращении реализационного периода. По этой причине ряд этапов (см. рисунок 6) совмещается, не проводится или начинается с задержками, что ведет к снижению экономических показателей качества функционирования не только КИС, но и СТО в целом. На стадии эксплуатации в подобных ситуациях можно наблюдать большое число отказов элементов и подсистем КИС, задержки синтеза и передачи управляющих программ, повышение расходов всех видов ресурсов, связанных с целевыми, обеспечивающими и вспомогательными процессами.



Рисунок 6. Обобщенное описание содержания основных этапов ЖЦ КИС

### 1.1.1. Модельно-алгоритмическое обеспечение решения задач комплексного планирования функционирования и модернизации современных корпоративных информационных систем

Модельно-алгоритмическое обеспечение – это ядро КИС. Заложённая на стадии проектирования современных КИС избыточность структур и реализуемых функций позволяет поддерживать широкий спектр актуальных и перспективных

БП, реализуемых в том или ином СТО, которые сегодня как никогда зависимы от оперативного и качественного предоставления им информационных сервисов со стороны КИС [9,10,25].

Разработка научно-методических основ комплексного планирования функционирования и модернизации (развития) КИС ведется давно [74]. Большой вклад в основу теорий и технологий создания и сопровождения комплексов программно-математического обеспечения автоматизированного управления СТО (в т.ч. КИС) внесли многочисленные зарубежные и отечественные ученые [14,28,35,58,150]. Ими были развиты: теория автоматов и алгоритмов, формальных языков и грамматик, а также математическая логика и общая топология, д.р..

Для формального описания решения задач планирования функционирования и модернизации КИС к настоящему времени был разработан ряд подходов, в основе которых положены различные виды оптимизационных моделей и методов (линейное, дискретное, стохастическое программирования и т.д.), а также модели и методы теории расписаний и современной математической статистики [12,13,16,86,87,130].

Анализ программной документации современных КИС и научно-технических обзоров показывает, что в подавляющем большинстве случаев для решения задач планирования операций и распределения ресурсов как в СТО, так и в КИС, которые характеризуются большой размерностью (десятки тысяч переменных, тысячи различных пространственно-временных, технических и технологических ограничений), применяются, как правило, *эвристические методы*. Преимуществом данных подходов является оперативность получения результатов (программ функционирования и модернизации). В тоже время величина возникающей погрешности, связанной с использованием тех или иных эвристик, остается неизвестной, т.к. сравнение с эталонным (оптимальным) решением отсутствует [110].

Широко используется в последнее время мультиагентный подход в заданном контексте исследования моделей и методов комплексного планирования

функционирования и модернизации КИС, поэтому его следует упомянуть отдельно. К настоящему времени было предложено несколько вариантов модельно-алгоритмического обеспечения, которые опираются на идеи представленной теории [168,169]. Несмотря на наличие широких возможностей по описанию элементов и подсистем СТО и ее КИС в рассматриваемых мультиагентных системах отсутствует устоявшаяся методология, а также средства программной поддержки процессов оптимизации планов [161].

Таким образом, на настоящий момент времени целостная методология управления функционированием и модернизацией КИС пока еще не разработана. Это связано с тем, что на практике необходимо учитывать множество внутренних и внешних факторов: длительность интервалов времени, выделенных на синтез комплексных планов и их корректировку в соответствии с изменяющимися условиям обстановки; требования учета специфики ресурсов и интенсивности их расхода и т.д. Данные ограничения существенно усложняют постановки и решения задач планирования и модернизации с использованием традиционных классических методов и моделей теории расписаний, т.к. они порождают «комбинаторный взрыв» [3,85,134].

Анализ показывает, что частные постановки задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС могут быть решены за полиномиальное время, однако вычислительная сложность зависит от конкретных условий, а в общем случае является NP-полной [3,176]. Как правило, принятие наилучших решений сопряжено с рассмотрением экстремальных задач, в которых в значительной мере объединяются одновременно элементы задач упорядочения, согласования и распределения [32,101]. «Многообразие возможных постановок и методов решения задач синтеза комплексных планов функционирования и модернизации КИС определяет необходимость разработки специального модельно-алгоритмического обеспечения, учитывающего особенности рассматриваемой предметной области» [3].

Новым и активно развивающимся сегодня направлением решения задач теории расписаний являются приближенные методы и алгоритмы, базирующиеся на теории оптимального управления динамическими объектами [63,64,109,125,129]. В диссертационном исследовании развивается именно это направление. На рисунке 7 обозначено место используемого подхода и соответствующих моделей, методов и алгоритмов оптимального управления среди других методов и алгоритмов решения задач теории расписаний, комбинаторной оптимизации и вычислительного интеллекта.

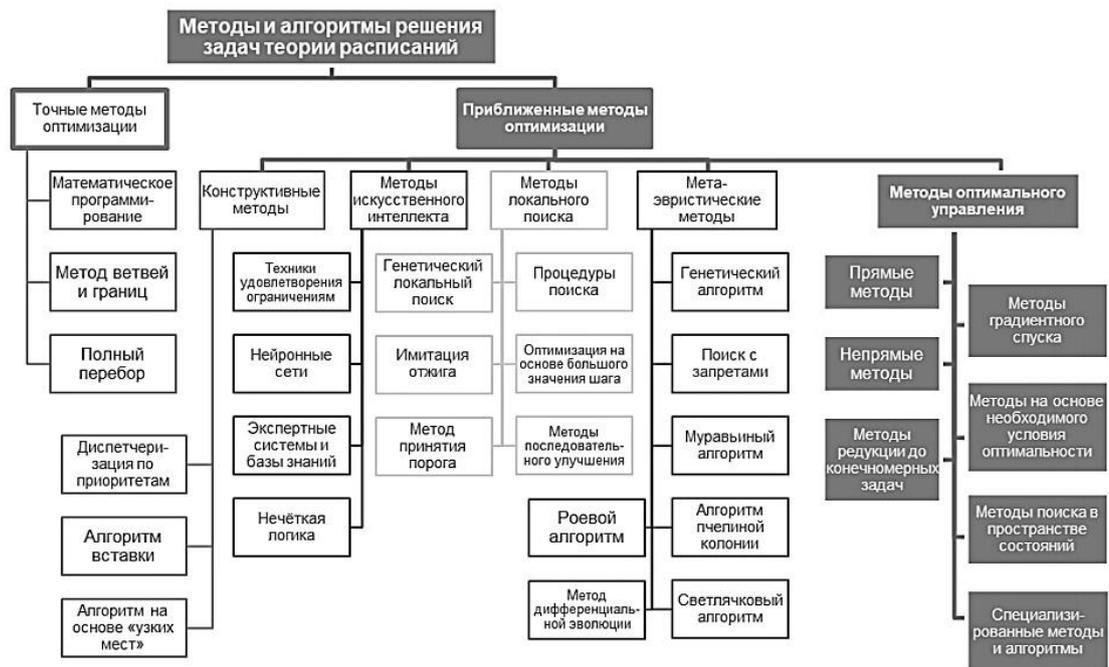


Рисунок 7. Классификация методов и алгоритмов решения задач теории расписаний

Важной особенностью исследований, которые были выполнены в рассматриваемой области в последние годы, является то, что перечисленные выше методы и алгоритмы решения задач планирования функционирования и модернизации КИС применялись изолированно. В современных программных комплексах, реализующих указанные модели, методы и алгоритмы, как правило, наблюдается межмодельная координация результатов планирования (например,

значений переменных на очередной итерации («координирующих сигналов») с помощью информационных адаптеров по принципу «вход-выход» на основе «интерфейсно-программного» подхода. Необходимой интеграции моделей, согласования методов и оптимизационных алгоритмов, учитывающих взаимовлияние процессов функционирования и модернизации элементов и подсистем КИС на глубинном модельно-алгоритмическом уровне, к сожалению, не происходит.

Несмотря на сложность анализа и противоречивость результатов (программ функционирования), получаемых с помощью современных систем PLM-класса, о которых было сказано ранее, исследователям удалось выявить связь между инвестициями в информационные технологии на уровне БП и их производительностью [155,164]. Авторы [171,178] отметили вклад высоких технологий в производство «неявных» результатов СТО. В работах [54,175] было выявлено наличие стратегического эффекта от внедрения КИС, если внешняя среда *изменчива*.

Результаты ряда других исследований показывают, что применение современных ИИСППР оказывает влияние на широкий круг задач, связанных с практической деятельностью. Ярким примером является повышение согласованности неоднородных операций на различных уровнях иерархий СТО благодаря использованию технологий BIM-моделирования в строительной отрасли, которые позволяют сократить количество ошибок в проектной и исполнительной документации; повысить скорость согласования разрешительной документации.

Использование АСУ на различных стратах СТО также дает возможность: повысить оперативность реализации БП; оптимизировать показатели, отражающие экономическую эффективность СТО; уменьшить материальные, технические и информационные затраты, возникающие по причине рассогласованностью процессов функционирования СТО и КИС на различных стратах; сократить эксплуатационные затраты СТО и КИС. [75-78,143].

Подводя краткий итог вышесказанному, можно сказать, что КИС и информационные технологии в настоящий момент времени являются неотъемлемой частью подсистемы управления СУ СТО, которая предоставляет необходимые информационные сервисы БП. Однако формальному описанию и исследованию таких важнейших ее процессов как процессы функционирования и модернизации (развития) КИС уделено недостаточное внимание.

## **1.2. Особенности процессов комплексного планирования модернизации корпоративной информационной системы на современном этапе**

В условиях свободного доступа к технологиям Индустрии 4.0 большую значимость приобрели задачи обеспечения качества выпускаемых изделий (услуг) и оптимизации сроков выполнения заказов (интегрированных планов). Современные КИС различного уровня позволяют скоординировать в рамках единых временных шкал БП и производственные процессы (ERP, MES, АСУ ТП). Системы CAD/CAM/PDM автоматизируют решения задач проектирования, прототипирования и комплексного тестирования на рынках новых изделий. CRM системы позволяют увеличить качество оказания услуг потребителям и оптимизировать время БП, связанных с обработкой заказов. Современные системы АСУ ТП (MES) позволяют с помощью различных устройств, оснащенных человеко-машинными интерфейсами, управлять распределенными автоматизированными производствами [93]. SCM-системы направлены на автоматизацию процессов, связанных с логистической деятельностью СТО, что сокращает циклы производства, поставок и продаж. Системы типа АСОДУ реализуют оперативное управление и диспетчеризацию производства. Их особенностью является способность проводить прямой контроль расходов ресурсов. “ROI-systems” позволяют оценивать и контролировать время возврата инвестиций. “OLAP-systems” являются ИИСППР, которые направлены на повышение оперативности и обоснованность принятия решений [59,109,143].

Исходя из анализа современных требований к уровню автоматизации управления элементами и подсистемами СТО, очевидно, что применение КИС в рамках данных объектов жизненно необходимо. Вместе с тем значимого эффекта от ее использования в долгосрочной перспективе можно достичь только при многокритериальной оптимизации разрабатываемых комплексных планов скоординированного функционирования и модернизации ее элементов и подсистем. В тоже время наблюдается высокая потребность в оптимизации прямых и накладных расходов, связанных с обновлением информационно-управляющих средств подсистем управления СТО непрерывного цикла [158]. При этом технический и технологический уровень современных и перспективных КИС позволяет на этапе модернизации непрерывно выполнять целевые задачи, т.е. поддерживать непрерывность БП.

Важно отметить, что в силу высоких темпов развития микроэлектроники и информационных технологий за рубежом и в РФ, внедряемая или модернизированная КИС может оказаться морально и физически устаревшей уже к моменту ее ввода в эксплуатацию [113,120,142]. На практике это приводит к непрогнозируемому росту дополнительных затрат ресурсов (материальных, финансовых, организационных и т.д.) на разработку, интеграцию и поддержку качества функционирования элементов и подсистем КИС.

С целью снижения расходов на обслуживание КИС в СТО проводят мероприятия, связанные с инженерией производительности (performance engineering). Используя терминологию данного подхода, КИС, которые не соответствуют потребностям БП, но по-прежнему эксплуатируются, принято называть унаследованными («legacy systems» [151]).

Существует четыре вида унаследованных КИС (УКИС):

- а) УКИС, которые не могут эффективно решать поставленные задачи в современных условиях, поскольку расчетное системное окружение претерпело изменения;

- б) унаследованные системы, исчерпавшие все возможности по улучшению производительности, т.к. их развитие стало невозможным из-за крайне сложной и запутанной архитектуры;
- в) УКИС, созданные без учета вектора развития ИТ [49];
- г) комбинированный вариант УКИС.

В большинстве случаев причина использования того или иного варианта УКИС связана с отсутствием необходимого уровня структурно-функциональной избыточности или, другими словами, возможности модернизации, которая не была заложена на этапе проектирования.

Модернизация КИС на фоне непрекращающихся циклов реализации БП характеризуется внутренними противоречиями и многокритериальностью описания целевых задач. Пути их разрешения различны. Возможен как отказ от существующей КИС, так и продолжение эксплуатации морально и технически устаревших систем (унаследованных), вопреки существенно изменившимся функциям и значениям показателей качества их функционирования.

Принципиально значение в контексте разработки комплексных планов функционирования и модернизации КИС (переход от УКИС к КИС) имеет учет: размерности решаемой задачи; сложности информационной архитектуры УКИС и КИС; разнородности элементов КИС и УКИС; изменчивость структур УКИС и КИС рассматриваемого объекта под действием различных факторов (морального и физического износа элементов и подсистем УКИС и КИС); многоцелевой характер использования элементов и подсистем УКИС и КИС и их структурно-функциональная избыточность; многовариантность реализации функций управления УКИС и КИС.

В свою очередь при анализе процессов функционирования и модернизации аппаратно-программных средств КИС должны учитываться текущий и перспективный поток решаемых УКИС и КИС задач; структурная динамика КИС и УКИС; функциональные требования, предъявляемые к КИС и УКИС; затраты ресурсов на данный вид деятельности [104].

Далее, необходимая для устойчивого функционирования СТО эволюционная (поэтапная, «бесшовная») модернизация предполагает не только совместную эксплуатацию существующей и «новой» КИС на фоне непрерывной реализации БП и изменчивости структур рассматриваемого объекта, но и общую координацию работ множества участников данного процесса. В этих условиях очевидна необходимость повышения качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС на всех этапах ЖЦ на основе технологий проактивного управления данными процессами. Только при таком системном исследовании указанных задач появляется возможность установить взаимосвязь целевых, вспомогательных и обеспечивающих процессов с различными вариантами управления структурной динамики КИС.

Таким образом, ключевыми задачами комплексного проактивного управления переводом КИС из заданного в требуемое структурное состояние являются: синтез облика системы; определение сроков перехода от существующей к «новой» КИС; синтез технологий управления переходом от существующей к «новой» КИС ; синтез плана (программ) управления переходом от существующей к «новой» КИС с учетом различных показателей качества функционирования СТО; оперативное управление процессами реализации синтезированных планов [90,100,160].

К настоящему времени получен ряд важнейших фундаментальных научно-практических результатов в следующих направлениях исследования, а именно: «синтез технической структуры КИС при известных законах функционирования основных элементов и подсистем КИС; синтез функциональной структуры КИС или синтез программ управления СТО при известной технической структуре; синтез программ создания и развития новых поколений КИС без учета этапа совместного функционирования существующей УКИС и внедряемой КИС; параллельный синтез функциональной и технической структуры КИС» [5,12,21,36,39,66,87,129,135-138,141,179]. Именно последнему направлению посвящено данное диссертационное исследование.

Вместе с тем проведенный анализ исследований [применения информационных [25,142,145,153,154,159,165,172,174,187] выявил потребность в существенном усилении *интеллектуальной поддержки и автоматизации процессов* подготовки комплексных планов функционированием и модернизацией КИС.

Определение последовательности действий, учитывающих реализацию целевых, обеспечивающих и вспомогательных процессов в КИС, предполагает синтез комплексных программ управления функционированием и модернизацией КИС, которые связаны во времени с БП и предусматривают динамическую согласованность технических, технологических, топологических *ограничений* для операции, входящих в цикл (программу, технологию) управления функционированием и модернизацией КИС. Это большеразмерная задача, сложность которой дополнительно повышается также из-за необходимости проводить многокритериальное оценивание комплексных планов по совокупности показателей, которые характеризуют эффективность использования конкретной КИС.

Заявленное направление исследований особенно актуально в связи с тем, что, как показывают предварительные исследования, оптимальное назначение работ в большеразмерной КИС позволит: увеличить пропускную способность интегрированных информационных систем; уменьшить задержки на этапе синтеза управляющих программ; снизить возможность пиковых информационных нагрузок на КИС на различных стадиях ЖЦ [110].

Соответствующая автоматизация процессов комплексного планирования функционирования и модернизации КИС позволит сократить время синтеза управляющих программ и повысит обоснованность управленческих решений, связанных с распределением ограниченных информационно-управляющих ресурсов.

Анализ показывает, что существует множество путей проведения модернизации КИС: покупка и внедрение готового решения; создание КИС

собственными силами информационной службы; комбинированный вариант и т.д. Капиталовложения на проектирование, создание и внедрение КИС следующего поколения на замену существующей собственными силами имеют меньший объем по отношению к варианту приобретения коммерческого решения. В общем случае период времени, связанный с эволюционной разработкой и внедрение элементов и подсистем «новой» КИС собственными силами, будет ниже, чем при развертывании приобретенной системы.

В тоже время КИС покупка системы на рынке программного обеспечения может обеспечить потребности СТО в информационно-управленческой поддержке БП практически с момента приобретения, однако ее внедрение требует единовременного привлечения большого объема материальных и нематериальных активов, в том числе, денежных средств.

Наряду с этим широкое распространение получил *комбинированный* вариант модернизации КИС. Для проведения комплекса мероприятий по обновлению ресурсов КИС привлекаются собственные и сторонние силы.

На стоимостную оценку затрат, связанных с функционированием и модернизацией КИС, влияет множество факторов: изменение целей БП; изменение перечня решаемых задач; изменение законодательства; отсутствие на рынке специалистов по поддержке устаревших (в т.ч. унаследованных) КИС; отсутствие возможности интеграции информационно-технологических решений в единое информационное пространство; слияние частей информационных систем и т.д.

При этом, в первую очередь, именно различные виды затрат финансовых ресурсов необходимо учитывать при организации комплексного планирования функционирования и модернизации КИС. Сегодня требуется разработать модели, методы и алгоритмы, которые позволят не только провести межуровневое согласование процессов функционирования и модернизации КИС на всех стратах, но и учесть их комплексное управленческо-стоимостное влияние на БП [87]. Для решения подобных задач требуется пересмотреть современные модели, методы и

алгоритмы синтеза комплексных планов функционирования и модернизации КИС, а также исследовать вопросы их стоимостного оценивания [6,33,69,111].

### **1.2.1. Анализ существующих методов оценивания комплексных планов функционирования и модернизации корпоративной информационной системы на основе функционально-стоимостного подхода**

Перед проведением анализа существующих методов оценивания стоимостных показателей качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС приведем два определения.

*Определение №7.* Под модернизацией понимается процесс расширения функциональных возможностей КИС по качественно новому решению целевых задач СТО посредством создания новых информационных сервисов и ресурсов для заданных БП. Частным случаем модернизации КИС является *инфраструктурный проект*.

*Определение №8.* Под инфраструктурным проектом понимается процесс обновления (замены) ИР КИС без изменения состава информационных сервисов КИС. Возможен как *экстенсивный* (увеличение количества элементов и подсистем), так и *интенсивный* вариант (установка элементов с улучшенными характеристиками) обновления ИР [120,121]. Именно этому направлению посвящено данное диссертационное исследование.

Как правило, ЛПР, принимая решение о внедрении, эксплуатации и модернизации КИС, стремятся получить количественную оценку эффективности синтезированных вариантов проведения работ и распределения ресурсов. Соответственно при оценивании эффективности вложений в ИТ выделяются следующие аспекты:

- а) решения об инвестициях в КИС принимаются исходя из соображений финансовой выгоды;
- б) модернизация КИС должна быть *обоснована*, т.е. не должна зависеть от желаний ЛПР внедрить технологические новшества;

- в) информационный отдел СТО должен понимать БП и обладать инструментами их удовлетворения;
- г) подсистемы СТО должны понимать реальные возможности КИС;
- д) для адекватного оценивания инвестиций в инфраструктурный проект следует определить функции и цели БП, а также их зависимость от КИС;
- е) затраты ресурсов (в т.ч. финансовых) на проведение модернизации КИС должны быть *соотнесены* с эффектами от их использования.

Успешное завершение модернизации КИС во многом зависит от соблюдения установленных *сроков и бюджета* соответствующего инфраструктурного проекта, т.е. от корректности определения *объемов работ и общего уровня планирования* (организационного, ресурсного и т.д.).

Известно, что научно-техническая задача оценивания стоимости разрабатываемых комплексных планов функционирования и модернизации КИС связана с анализом результативности применения информационных технологий или, другими словами, эффективностью КИС [142]. На рисунке 8 приведена иллюстрация изменение зависимости значения обобщенного показателя эффективности функционирования КИС от времени начала проведения работ по ее модернизации.

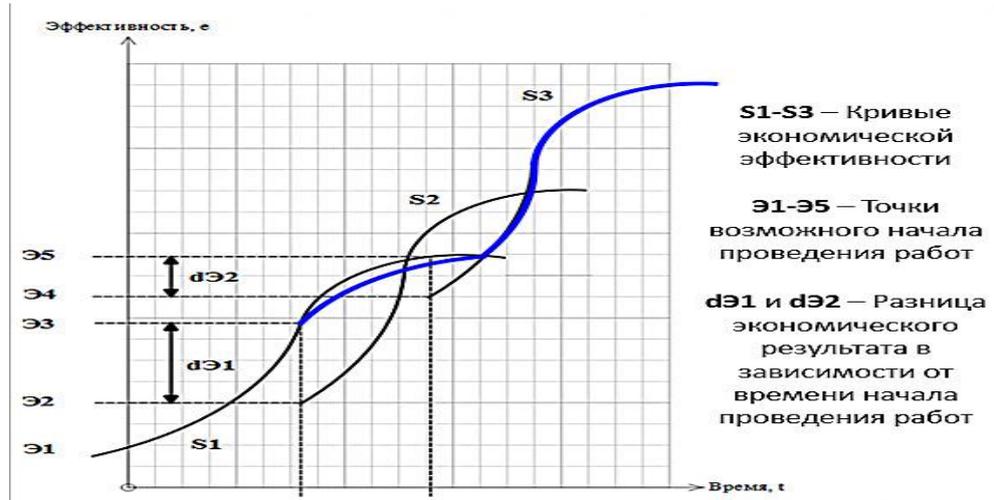


Рисунок 8. Зависимость значения обобщенного показателя эффективности КИС от времени начала проведения модернизации

На данный момент известно не менее 25 методов, алгоритмов и методик, а также множество показателей, оценивающих эффективность КИС по собственным и несобственным показателям (внутренним и внешним) [97,142]. На рисунке 9 представлена классификация показателей эффективности информационных систем [142].



Рисунок 9. Классификация показателей эффективности КИС

Так, индикаторами, оценивающими эффективность КИС по внешним показателям, могут быть: глобальность, точность, оперативность и непрерывность

поддержки информационно-управляющих воздействий, создаваемых аппаратно-программными средствами подсистемы управления СУ СТО, устойчивость функционирования КИС (в том числе, показатели живучести, надежности, помехозащищенности).

К внутренним показателям эффективности КИС можно отнести пропускную способность КИС, ее безопасность, экологичность и эргономичности, достоверность передачи информации, эксплуатационные показатели и т.д.

Кроме перечисленных выше групп показателей эффективности КИС дополнительно могут быть выделены:

- а) показатели, характеризующие эффективность самоорганизации КИС на различных этапах существования;
- б) показатели, отражающие временной аспект эффективности процессов развития (модернизации) КИС;
- в) показатели эффективности управления ЖЦ КИС.

К настоящему времени сложилась устойчивая практика использования моделей функционально-стоимостного анализа (ФСА) в целях определения взаимосвязи между информационными-управляющими процессами и БП, а также исследования их стоимостных свойств. ФСА – это обобщенный метод определения затрат на БП, который позволяет проводить их единообразный учет в СТО. В общем случае опора на данный подход дает возможность отнести расход ресурсов в натуральном выражении (денежном) не на результат функционирования (продукт или услугу), а на определенный вид деятельности рассматриваемого объекта.

В рамках указанной модели выделяются следующие понятия:

- а) объект затрат – это БП СТО;
- б) ресурс – это аппаратно-программные средства и подсистемы (модули) КИС;
- в) функция – это комплекс процессов, для которого определен количественный измерители интенсивности и показателей затрат ресурсов. Понятие является промежуточным звеном между «затратами ресурсов» и БП, что позволяет измерять интенсивность использования функции по отношению к БП и

затраты ресурсов на единицу показателя интенсивности. Функция КИС – это информационные услуги (сервисы), которые КИС оказывает БП;

- г) фактор затрат – это измеритель интенсивности потребления функции или ресурса. Он делится на фактор затрат ресурсов и фактор интенсивности функции. Факторы затрат ресурсов определяют интенсивностью потребления функции.

Отличием подхода ФСА от других известных подходов, направленных на выявление стоимостных зависимостей между КИС и БП, заключается в том, что в рамках указанного метода происходит перераспределение затрат с *исходных счетов* (бухгалтерского учета) на *объекты затрат*, т.е. определение процентного соотношения или критерия, построенного на некотором натуральном показателе. На рисунке 10 представлен пример перераспределения затрат СТО в рамках представленного подхода.

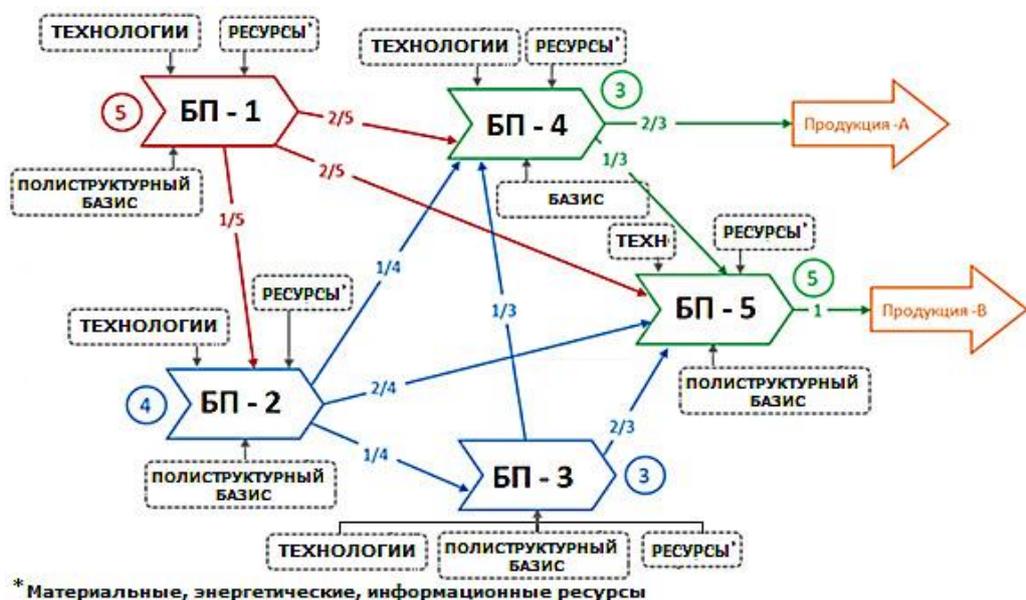


Рисунок 10. Модель формирования и распределения различных видов затрат

В рамках модели ФСА определяется интенсивность использования функции в расчете на каждый объект затрат и вместе с тем интенсивность потребления

ресурсов функциями. Используя данный подход, ЛПР, разрабатывая подробный инфраструктурный проект (проактивный комплексных план функционирования и модернизации КИС), может количественно оценить различные виды расходов (в т.ч. накладные), которые возникают в процессе совместного функционирования и модернизации КИС [120].

Комплексное планирование функционирования и модернизации КИС на основе ФСА позволяет:

- а) сопоставить ФСА-оценки, существующей (модернизируемой) КИС и перспективной КИС, в т.ч. оценить воздействия комплексного проактивного плана функционирования и модернизации на БП, и в т.ч. выявить «узкие места» проекта;
- б) оценить потребность БП в информационных услугах, которые предоставляет КИС;
- в) оценить возможность успешного завершения инфраструктурного проекта;
- г) ФСА также может быть расширен моделью функционально-стоимостного управления (ФСУ) созданием стоимости. ФСУ – это *непрерывный* процесс анализа создания стоимости, планирования ресурсов, а также постоянное измерение результативности БП на всех стадиях ЖЦ [120].

Руководствуясь данным подходом, сервисы КИС следует рассматривать как ресурсы, которые используются в функциях БП. Согласно этому принципу, показатели сервисов КИС в этом случае являются функциями БП. Следовательно, можно провести оценивание возможностей КИС поддерживать БП на требуемом качественном уровне в различных условиях обстановки, в т.ч. на этапе ее совместного функционирования и модернизации.

В этом случае соблюдение принципов функционально-стоимостного и сервис-ориентированный подходов позволяет обеспечить на требуемом качественном уровне взаимодействие между информационно-управляющими ресурсами и процессами функционирования и модернизации КИС; анализ наличия или отсутствия связей между ними, а также определение конкретных зависимостей

стоимостных показателей БП от объема услуг, которые предоставляет КИС в виде ИР. В тоже время появляется возможность оценить величины изменений стоимостных показателей, вызванных переходом к новому этапу ЖЦ КИС, т.е. связанных с разработкой, внедрением, обслуживанием, эксплуатацией и модернизацией существующих и «новых» информационно управляющих ресурсов (аппаратно-программных средств), являющихся по сути основной рассматриваемых в диссертации сервисов. Подобный взгляд на задачу оценивания стоимостных показателей разрабатываемых комплексных планов функционирования и модернизации КИС позволяет выявить потребность в финансовых ресурсах, необходимых для реализации данного проекта на всем периоде его реализации.

Как было сказано ранее, существует несколько возможных путей проведения модернизации КИС, на рисунке 11 показана зависимость финансовых затрат от способа осуществления инфраструктурного проекта.



Рисунок 11. Варианты сценариев оценивания процессов функционирования и модернизации КИС по критерию «эффективная стоимость»

На рисунке 12 ниже представлена иллюстрация варианта сценария привлечения сторонней организации (или, по-другому, покупки и внедрения системы «из коробки»).

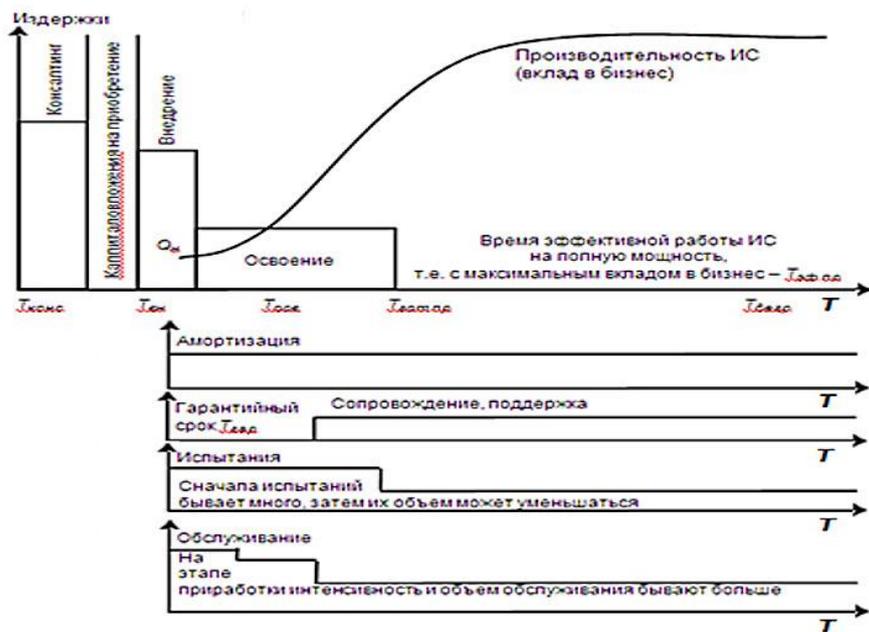


Рисунок 12. Временная диаграмма составляющих совокупной стоимости владения при приобретении и развертывании (модернизации) КИС с помощью сторонней организации [71]

Для определения экономической эффективности КИС на различных этапах ЖЦ чаще всего применяются следующие виды показателей: «полные затраты на создание и применение КИС (капитальные и эксплуатационные затраты, в т.ч. на этапе модернизации); показатели качества, которые позволяют определить период полной окупаемости КИС; показатели расхода (сбережения) ресурсов всех видов; полноты использования ресурсов на всех этапах ЖЦ» [61,109]. Вместе с тем на сегодняшний день, *стандартом оценивания затрат* на функционирование и модернизацию КИС является показатель *совокупной стоимости владения системой* (ССВ).

Преимуществом использования показателя ССВ является возможность оценки общих за весь период ЖЦ СТО затрат на создание (приобретение) и эксплуатацию ее основных элементов и подсистем (в т.ч. КИС) с последующим многовариантным исследованием сценариев их применения и выбора из них «наилучших» с точки зрения экспертов предметной области или ЛПР. Наряду с

этим методика ССВ позволяет провести анализ возврата вложенных в КИС средств, а также выявить избыточные статьи расходов.

Для корректного стоимостного анализа комплексных планов проведения инфраструктурного проекта, предполагающего совместное функционирование существующей КИС, которая эволюционно трансформируется в «новую» КИС, необходим большой объем данных о затратах различных видов ресурсов (в т.ч. финансовых). Представленная выше методика разделяет затраты на прямые и косвенные.

К прямым расходам относятся: расходы на закупку аппаратного и программного обеспечения; расходы на обучение пользователей; расходы на оплату услуг сторонних организаций; расхода на фонд оплаты труда информационной службы СТО; расходы на оплату труда управляющего аппарата компании; расходы на оплату электричества, потребляемого аппаратным обеспечением КИС и другие.

К косвенным расходам относятся: расходы на само-поддержку пользователей; расходы на взаимную поддержку пользователей; потери от простоев системы. На рисунке 13 представлена обобщенная иллюстрация этой классификации [120].



Рисунок 13. Основные составляющие показателя совокупной стоимости владения

Ниже приведены конкретные примеры по различным статьям затрат, связанных с оцениванием ССВ [120,121]:

- а) затраты на специализированное ПО для реализации БП;
- б) затраты на системы связи, которые используются для предоставления информационных сервисов БП;
- в) затраты на услуги по монтажу и технической поддержке информационно-управляющих средств КИС;
- г) затраты вычислительных ресурсов (дисковое пространство, пропускной способности каналов связи КИС);
- д) трудозатраты сотрудников информационной службы (в т.ч. аутсорсинговых) на техническую поддержку вычислительных ресурсов.

В целях получения подобной информации проводится оценивание исторических данных; наблюдение и измерение протекающих процессов; опрос (интервью) экспертов предметной области и т.д.

Одним из недостатков данной методики является то, что оценить прямой экономический эффект от функционирования и модернизации КИС невозможно, однако указанный подход позволяет провести сравнение эффективности использования информационно-управляющей инфраструктуры конкретной КИС (или ее подсистем) с аналогичными системами.

Показатель ССВ зависит от прямых и косвенных затрат и рассчитывается по формуле:

$$CCB = \sum_{i=1}^N Pr_i + \sum_{j=1}^M Kp_j, \quad (1.1)$$

где  $Pr_i$  – прямые расходы;  $N$  – количество статей прямых расходов. Здесь  $Kp_j$  – косвенные расходы;  $M$  – количество статей косвенных расходов.

Следует отметить, что выполненные исследования показывают, что «в настоящий момент времени, с учетом автоматизации деятельности СТО и внедрения современных форм управления, доля накладных расходов в общей структуре затрат возрастает и сопоставима с величиной прямых затрат» [142].

В общем случае наиболее адекватным способом системного описания процессов параллельного функционирования и модернизации КИС являются

логики-динамические модели управления различными видами операций, потоками, ресурсами, параметрами операций, структурами. Об этом подробно будет сказано в следующих главах.

Известно, что логики-динамические модели описания процессов функционирования и модернизации КИС базируются на следующих множествах и отношениях [100,160]: множество состояний  $x \in X$ ,  $\vec{x}(t) \in \vec{X}$ ; множество управляющих воздействий (в т.ч. программные управляющие воздействия (множество  $U$ ) и управляющие программы, реализующие синтезированные управляющие воздействия множество  $Q$ )  $\vec{u}(t) \in \|\vec{u}(t), \vec{v}(t)\| \in Q$ , где  $Q=U \times V$ ; множество возмущающих воздействий  $\vec{\xi}(t) \in \Xi$ . Данные множества связываются между собой с помощью переходных и выходных отображений.

В случае использования логики-динамических моделей для описания процессов параллельного функционирования и модернизации КИС, показатель ССВ должен быть параметризован, т.к. его оценка, выраженная в количественном виде, необходима для оценивания влияния на разрабатываемые проактивные комплексные планы процедур многокритериального выбора наилучшего из них с точки зрения ЛПР (об этом будет сказано в следующих главах). В тоже время следует отметить, что классический показатель ССВ не предполагает оценивания исследуемого объекта в каждый момент времени.

В рамках диссертационного исследования предлагается в качестве параметров (концептов) ССВ КИС ввести параметры, характеризующие *состояние, управление, возмущающие воздействия и время, которые функционально связаны с показателями прямых и косвенных затрат:*

$$ССВ(t) = \sum_{i=1}^N Pp_i(\vec{x}, \vec{u}, \vec{\xi}, t) + \sum_{j=1}^M Kp_j(\vec{x}, \vec{u}, \vec{\xi}, t) \quad (1.2)$$

Конкретный вид данных функциональных зависимостей будет приведен далее во 2 и 3 главах данной диссертации. Задача управления ССВ в общем контексте комплексного планирования функционирования и модернизации КИС

сводится к выявлению, оцениванию и прогнозированию затрат, связанных с реализацией инфраструктурного проекта, а также их оптимизацией.

Расчет прямых расходов связан с прогнозированием капитальных затрат на заданный период времени. Косвенные расходы определяются само-поддержкой пользователей и вынужденными простоями. Для калькуляции применяются усредненные показатели по отрасли, что заведомо говорит об их неоднозначности. Данный аспект сопряжен со сложностью адекватного учета всех видов затрат на функционирование и модернизацию КИС в рамках проводимого инфраструктурного проекта.

Использование методики ФСА для структурирования затрат по видам деятельности СТО и модифицированного показателя ССВ в разрабатываемых логико-динамических моделях открывает широкие возможности оптимизации синтезируемых проактивных комплексных планов функционирования и модернизации КИС. Применение ФСА также позволяет:

- а) разделить прямые и косвенные затраты на функционирование и модернизацию КИС;
- б) структурировать затрат различных видов ресурсов;
- в) сравнить затраты ресурсов на разных стадиях ЖЦ;
- г) выявить факторы, влияющие на затраты, связанные с эксплуатацией КИС;
- д) определить объект затрат и провести соответствующий анализ.

### **1.3. Концептуальное описание и интерпретация процессов функционирования и модернизации корпоративной информационной системы как процессов управления ее структурной динамикой**

В рамках данного диссертационного исследования предлагается рассмотреть процесс параллельного функционирования и модернизации КИС на основе актуальных научных и практических результатов современной *теории проактивного управления структурной динамикой*.

*Определение № 9.* «Управление структурной динамикой – это процесс формирования и реализации управляющих воздействий (программ), обеспечивающих переход КИС из текущего в требуемое структурное состояние» [41,63,64,90,95,110,122,125].

На рисунке 14 представлен пример графика изменения структурных состояний КИС.



Рисунок 14. Возможные структурные состояния КИС и сценарии ее структурной динамики

Научно-техническая задача *управления структурной динамикой* на этапе скоординированного функционирования КИС и проведения инфраструктурного проекта и решение четырех взаимосвязанных классов задач:

- «задачи полимодельного описания процессов управления структурной динамикой КИС;
- проведение квалиметрического анализа построенных моделей;
- задачи анализа структурной динамики КИС и оценивания (наблюдения) структурных состояний и структурной динамики КИС;

г) задачи синтеза программ управления структурной динамикой КИС в различных условиях обстановки, обеспечивающих многокритериальный структурно-функциональный синтез текущего облика СТО и оптимальное управление его структурами» [90,100,110,186].

Задача многокритериального структурно-функционального синтеза и управления модернизацией СТО (в т.ч. КИС), как было сказано ранее, включает в себя следующие подзадачи:

- а) структурно-функциональный синтез облика модернизируемого объекта;
- б) определение срока проведения инфраструктурного проекта;
- в) синтез способа (технологий) проведения инфраструктурного проекта;
- г) синтез комплексного плана функционирования КИС и проведения инфраструктурного проекта;
- д) синтез управляющих воздействий, реализующих комплексный план проведения модернизации.

Методология теории *проактивного управления структурной динамикой СТО* позволяет рассмотреть данные задачи *совместно*, однако в данной работе рассматривается только *задача синтеза комплексного плана функционирования и проведения модернизации СТО (КИС)*. В диссертационной работе предполагается, что текущий и перспективный облик КИС, срок проведения модернизации КИС и технология проведения модернизации КИС *заданы*.

Рассматривая указанную выше научно-техническую задачу, мы будем: опираться на принципы функционально-структурного подхода на этапе описания облика (состава и функций) КИС; использовать системно-кибернетический подход к анализу и синтезу СТО; учитывать информационные и вещественных связи элементов и подсистем рассматриваемых объектов [7,66,143].

Решение задач синтеза комплексных проактивных программ параллельного функционирования и модернизации КИС тесно связано с задачами структурно-функционального синтеза и управления эффективностью КИС в широком смысле. Стандарт ISO/IEC 15288:2015 [163] описывает процессы на каждой стадий ЖЦ

КИС, однако для корректного описания соответствующих задач необходимо, прежде всего, представить процессы комплексного планирования функционирования и модернизации содержательно, т.е. необходимо рассмотреть СТО на уровне базовых понятий и отношений между ними [109,163].

Рассмотрим основные концепты, используемые в диссертационной работе. Для составляющих процессы целевых, обеспечивающих и вспомогательных операций определен единый концепт - «операция». Желаемый результат деятельности, достигаемый за намеченный (заданный) достигнутый в течение запланированного (заданного) временного интервала. Характеризуется совокупностью количественных данных и параметрами этого результата. Если задан срок достижения цели, то она становится задачей [92,109]. С помощью данной интерпретации возможно задавать структуру целей функционирования СТО на этапе модернизации.

Скоординированные цели функционирования КИС и параллельного проведения инфраструктурного проекта реализуются в ходе выполнения операций, связанных с взаимосвязанным потреблением различных видов ресурсов (информационных, энергетических, материальных и т.д.), как на одном уровне иерархий, так и между стратами СТО (элементами и подсистемами), которые функционируют в пределах различных шкал времени и требуют межуровневого согласования процессов управления. Содержание и специфика функционирования и модернизации КИС описывается с помощью объема предоставленных услуг БП, а также их показателей качества.

Концепт «БП» также является одним из базовых понятий СТО и КИС [73]. БП состоит из последовательности операций, которые преобразуют входные информационно-материальные потоки в выходные для получения результатов, направленных на достижение поставленных целей, стоящих перед СТО. Данный термин позволяет в агрегированном виде представить совокупность макропроцессов рассматриваемой предметной области.

Концепт «ресурс» – может интерпретироваться как средства производства изделий и услуг в СТО, как различное аппаратно-программное обеспечение, оборудование, материалы, энергия, транспорт, деньги и др. Перечислим некоторые конкретные ресурсы КИС и их атрибутов: «техническое (аппаратное) обеспечение (характеристики серверов, рабочих станций); инфраструктура ресурсов (число доступных соединений баз данных, веб-сервисов); совместно используемые ресурсы (в т.ч. принципы распределения ресурсов между разными элементами и уровнями системы); проектные ресурсы (финансовые ресурсы) для поддержания функционирования КИС и осуществления операций по повышению ее производительности» [40].

Концепт «структура» – это характеристика устойчивых отношений и способов взаимодействия элементов системы, определяющих ее целостность и основы организации. По отношению к СТО на стадии модернизации КИС выделяются следующие концепты: «структура целей, функций и задач; организационная, техническая структуры; структура информационного, математического и программного обеспечения; структура технологии управления совместным функционированием СТО и модернизацией КИС» [90, 100,109,110].

Концепт «сервис», в соответствие с принципами сервис-ориентированного подхода характеризуется текущим и требуемым объемом информации или данных определенного типа, которые подлежат обработке или передаче (с разной интенсивностью) в процессе предоставления информационных услуг БП.

На рисунке 15 представлено место информационного сервиса в агрегированной модели взаимодействия пользователей и КИС.



Рисунок 15. Информационный сервис и его связь с другими концептами КИС

«Указанный выше подход позволяет при описании процессов функционирования и модернизации КИС оперировать отношением «один ко многим» (на уровнях БП – сервис (функция), сервис (функция) – ресурс КИС)» [34,120,121]. На рисунке 16 представлен иллюстративный обобщенный пример связи БП производственного предприятия с уровнем информационных сервисов (функционирования КИС) [20,182]. В следующих главах он будет детализирован.

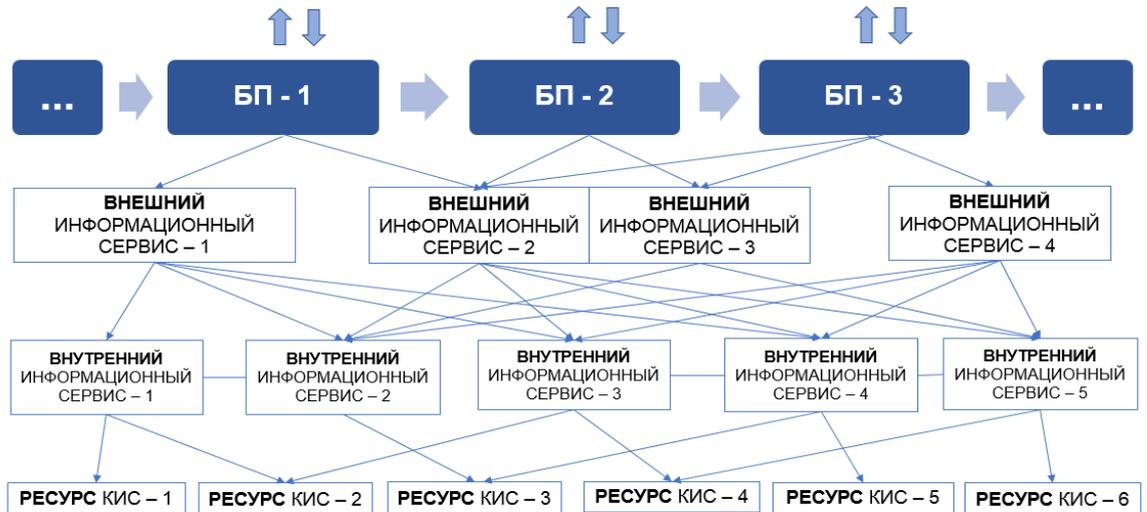


Рисунок 16. Возможное сервис-ориентированное описание процессов функционирования производственного предприятия

#### 1.4. Теоретико-множественная постановка задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы.

Опираясь на методологию комплексного моделирования, включающую структурный, объектно-ориентированный и процессный подходы к описанию БП, а также функционирования и модернизации КИС, проведем теоретико-множественную постановку задачи управления инфраструктурным проектом.

Основа формального описания рассматриваемых задач на теоретико-множественном уровне детализации – это динамический альтернативный взвешенный системный граф с управляемой структурой [90]. На модельно-алгоритмическом уровне детализации данного графа использованы логико-динамические модели управления операциями, сервисами, ресурсами, параметрами операций, структурами и вспомогательных динамических моделей для учета требований, связанных с прерываниями операций. Непротиворечивость получаемых, благодаря подобной интерпретации результатов, доказана в работах [56,90,125].

Задача синтеза технологий и программ управления процессами скоординированного функционирования и модернизации КИС может быть сформулирована как «задача поиска оптимальных управляющих воздействий, переводящих рассматриваемый объект из заданного в требуемое структурное состояние, характеризующее как текущее состояние объектов, входящих в заданный тип структуры, так и состояние отношений между ними. Таким образом, необходимо разработать: принципы, подходы, модели, методы, алгоритмы, позволяющие находить такие значения управления и состояния существующей и «новой» КИС  $\langle U^t, S_\delta^{*f} \rangle$  при которых» [43,47,49,108]:

$$J_\theta(X_\chi^t, \Gamma_\chi^t, Z_\chi^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{(\tilde{\delta}, \tilde{\delta})}^t, t \in (t_0, t_f]) \rightarrow \underset{\langle U^t, S_\delta^{*f} \rangle \in \Delta_g}{extr} \Delta_g \{ \langle U^t, S_\delta^{*f} \rangle \mid R_\beta \left( X_\chi^t, \Gamma_\chi^t, Z_\chi^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{(\tilde{\delta}, \tilde{\delta})}^t \right) \leq \tilde{R}_g; \quad (1.3)$$

$$U^t = \Pi_{\langle \delta_1, \delta_2 \rangle}^{t_1} \circ \Pi_{\langle \delta_2, \delta_3 \rangle}^{t_2} \Pi_{\langle \delta, \delta \rangle}^{t_f}; \beta \in \mathbf{B} \},$$

«где  $J_\theta$  – стоимостные, временные, ресурсные показатели, характеризующие качество функционирования и модернизации СУ СТО и КИС;  $\theta \in \Theta$  множество номеров показателей;  $\chi$  – множество индексов, соответствующие структурам СТО, о которых было сказано ранее (см. параграф 1.3.);  $T = (t_0, t_f]$  – интервал времени, на котором функционирует КИС и реализуется инфраструктурный проект;  $X_\chi^t = \{x_{\chi l}^t, l \in L_\chi\}$  – множество элементов, входящих в состав структуры динамического альтернативного системного графа (ДАСГ)  $G_\chi^t$  (множество вершин ДАСГ), с помощью которого задается управляемая структурная динамика КИС в момент времени  $t$ ;  $\Gamma_\chi^t = \{\gamma_{\langle \chi, l', l' \rangle}^t, l, l' \in L_\chi\}$  – множество дуг ДАСГ типа  $G_\chi^t$ , отражающих взаимосвязи между его элементами в момент времени  $t$ ;  $Z_\chi^t = \{z_{\langle \chi, l', l' \rangle}^t, l, l' \in L_\chi\}$  – множество значений параметров, количественно характеризующих взаимосвязь соответствующих элементов ДАСГ;  $F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t$  –

отображения различных структур СТО и КИС друг на друга в момент времени  $t$ ,  $\Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t$  – композиции структурных состояния с номерами  $\tilde{\delta}, \tilde{\delta}$  в момент времени  $t$ ;  $\Delta_g$  – множество динамических альтернатив (множество структур и параметров БП, «новой» и существующей КИС, а также множество программ их функционирования);  $U^t$  – управляющие воздействия, позволяющие синтезировать структуры модернизируемой и внедряемой КИС;  $\tilde{R}_g$  – заданные величины; «о» – операция композиции отображений;  $\mathbf{B}$  – множество номеров пространственно-временных, технических и технологических ограничений, определяющих процессы реализации программ модернизации и функционирования КИС» [2]. Теоретико-множественная постановка задачи была подробно описана в работах [41,49,59,160].

Предложенная в диссертации динамическая интерпретация задачи синтеза программ управления (комплексных планов) функционирования и модернизации КИС позволяет: «использовать математический аппарат современной теории управления сложными динамическими объектами с перестраиваемой структурой, а также методы и алгоритмы широко используемые в настоящее время в исследовании операций» [47, 100,186].

### **1.5. Анализ и обоснование путей решения сформулированной задачи**

Современные КИС, входящие в состав СУ СТО в качестве одной из основных ее подсистем, должны быть ориентированы на собственную управляемую модернизацию, а также учитывать специфику среды, в которой они функционируют.

Применительно к исследуемой в данной работе задаче необходимо выработать и обосновать требования, предъявляемые к специально модельно-алгоритмическому обеспечению синтеза комплексных непрерывных программ функционирования и модернизации КИС. Перечислим некоторые из них:

- а) необходимо обеспечить требуемую степень адекватности моделирования процессов функционирования и модернизации КИС. Для этого следует опираться на принципы ее полимодельного представления, которые позволят корректно описать различные аспекты функционирования и модернизации рассматриваемого объекта [21,92];
- б) для того чтобы находить рациональные решения целевых задач КИС необходимо использовать единый язык описания неоднородных процессов взаимодействия ее элементов и подсистем, в противном случае отсутствие согласованности формируемых управляющих воздействий (планов) приведет к дополнительным затратам на обслуживание и поддержку функционирования рассматриваемого объекта [41];
- в) оценка качества формируемых (синтезируемых) альтернативных комплексных планов функционирования и модернизации КИС должна быть обоснована на основе формализации и решения соответствующих задач многокритериального выбора [41,43,49];
- г) связи, которые описывают внутреннюю логику функционирования КИС должны быть максимальны; связи между элементами, которые находятся на различных стратах, минимальны [119,135];
- д) оперативное принятие решений в СТО, к которым относятся КИС, сложный процесс, подразумевающий использование многошаговой итерационной процедуры взаимодействия ЛПР непосредственно с информационной системой. Данный этап должен быть максимально автоматизирован и предполагать минимальное участие эксперта предметной области в процессе формирования и реализации разрабатываемых планов [46,82];
- е) результаты оценивания качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС (в т.ч. с помощью разработанного показателя ССВ) объективно зависят от множества факторов и могут изменяться во времени. Разрабатываемая методика и алгоритм должны учитывать эту динамику;

- ж) синтезируемые комплексные планы функционирования и модернизации КИС должны быть синхронизированы в рамках соответствующих шкал времени. Определение времени проведения работ и выбор конкретного элемента в рамках конкретной структуры для замены должны быть результатом планирования, а не задаваться так или иначе эвристически правилами;
- з) необходимо сочетать формальные и неформальные процедуры при проведении комплексного планирования функционирования и модернизации КИС [100];
- и) требуется производить оценивание управленческо-стоимостных показателей разрабатываемых комплексных планов функционирования и модернизации КИС в целях определения потребности в финансовых ресурсах необходимых для реализации конкретного инфраструктурного проекта.

По своей сути синтез проактивных управляющих воздействий (комплексных планов) предполагает многовариантное планирование и привлечение методов многокритериального оценивания множества альтернативных программ управления. Предварительный анализ показал, что одной из возможных реализаций на практике концепции комплексного моделирования является *полимодельное многоуровневое логико-динамическое описание*, а также разработка *автоматизированных процедур интеллектуальной поддержки принятия решений*.

Комплексное планирование проведения инфраструктурного проекта, исключающего прерывание функционирования КИС и СТО, носит *целенаправленный и непрерывный* характер, другими словами, необходимо в каждый момент времени определять и анализировать состояние взаимосвязей элементов и подсистем КИС, а также прогнозировать их функционирование на заданный период времени в целях достижения желаемых результатов [10,41,47].

Управление скоординированным функционированием и модернизацией КИС должно иметь *целенаправленный* характер и сводиться к синтезу последовательности упреждающих (проактивных) воздействий, которые

обеспечивают наилучшее разрешение (с точки зрения ЛПР и лиц, ЛОР) многокритериальных задач комплексного планирования (межуровневого) взаимодействия элементов и подсистем КИС.

### **Выводы**

1. Системный анализ современного состояния исследований в области разработки специального модельно-алгоритмического решения задач комплексного планирования управления функционированием и модернизацией КИС показал, что они базируются на комбинированном использовании информационных технологий и математических методов теорий расписаний и дискретной оптимизации, что не позволяет (из-за ограниченных возможностей данных теорий) с требуемой полнотой, степенью детализации и обоснованностью синтезировать комплексный план функционирования и модернизации КИС, учитывающий все необходимые аспекты координации и распределения разномасштабных недородных ресурсов и операций в многоуровневом сложном динамическом объекте. Дополнительно отметим, что вопросы качественного оценивания влияния проводимых работ на показатель ССВ КИС в данном контексте, к сожалению, не рассматривались. Все вышесказанное подтверждает актуальность темы исследования данной диссертационной работы.

2. Проведенное концептуальное описание процессов функционирования и модернизации КИС позволило выявить ряд особенностей: изменчивость целей и структур данных объектов; избыточность и гетерогенность связей и элементов; большая размерность и многокритериальность решаемых с помощью КИС задач; сложность анализа и интерпретации результатов комплексного планирования. В главе обоснована необходимость разработки нового подхода к планированию и управлению КИС на различных стадиях ЖЦ. Также обоснована необходимость применения принципов, подходов, методов и алгоритмов существующей теории управления структурной динамикой для таких сложных объектов как КИС.

3. Сформулированы основные требования, предъявляемые к составу и структуре специального модельно-алгоритмического обеспечения решения задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС. Анализ предыдущих исследований по представленной проблематике и изучение существующих программных комплексов управления ЖЦ СТО показал, что в настоящий момент времени отсутствует научно обоснованные методики модернизации КИС с учетом особенностей текущего их функционирования. Традиционно используемые модели, методы и алгоритмы не позволяют одновременно учитывать (конструктивно описывать на одном формальном языке) пространственно-временные, технические и технологические ограничения, характерные как для этапа функционирования существующих КИС, так и для этапа их модернизации.

4. Представлена теоретико-множественная постановка новой научно-технической задачи комплексного планирования функционирования и модернизации КИС на основе функционально-стоимостного и сервисно-ориентированного подходов. Главной особенностью данной задачи является то, что ЖЦ указанных объектов рассматривается с общих позиций непрерывного управления процессами изменения функций (свойств) и структур как основы КИС, в том числе, и информационных ресурсов (аппаратно-программных средств). Предложенный в диссертации системно-управленческий подход к рассмотрению задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС позволяет с единых методологических и методических позиций подойти к описанию большеразмерной многоуровневой КИС, что не удавалось сделать ранее.

## 2. Полиmodelное описание процессов программного управления функционированием и модернизацией корпоративной информационной системы

Задачи синтеза управляющих воздействий, удовлетворяющих заданным смешанными ограничениям (технологическим, техническим, организационными т.д.) и обеспечивающим то или иное желательное изменение структурного состояния КИС, а также минимальную ССВ, носят сложный и многообразный характер. Изучение объектов подобного класса должно опираться на принципы системного анализа и комплексного моделирования.

Представить взаимодействие страт СТО и КИС, которые описаны с различным уровнем абстракции и детализации (технической, технологической, организационной и т.д.) *невозможно* в рамках одной модели. Для формального описания процессов функционирования большеразмерных объектов, которые характеризуются наличием структурной динамики, в диссертации предлагается опираться на принципы полиmodelного описания, функционально-структурного, функционально-стоимостного и сервис ориентированного подходов, что позволяет на конструктивном уровне связать целевые процессы, связанные с реализацией соответствующих БП, определяемых СТО, с обеспечивающими процессами, формируемыми КИС.

Вторая глава диссертации посвящена вопросам разработки полиmodelного комплекса, описывающего процессы изменения во времени структурных состояний КИС на стадии ее модернизации с учетом того, что она должна обеспечить текущее функционирование СТО. В рамках предлагаемого исследования были разработаны:

- а) модель программного управления БП СТО;
- б) модель программного управления функционированием КИС, учитывающая этап модернизации ИР;
- в) модель программного управления процессами модернизации ресурсов КИС.

## 2.1. Логико-динамическая модель программного управления бизнес-процессами при функционировании сложного технического объекта

Системообразующей потребностью в управлении БП СТО является точный прогноз объема и качества выпускаемой продукции (товаров и услуг) с обоснованной оптимизацией потребления ресурсов. ЛПР в процессе управления функционированием СТО стремятся прогнозировать пиковые нагрузки на элементы и подсистемы и, используя внештатный персонал, арендованные машины и механизмы, обеспечивать себя на этот период необходимыми ресурсами. В штатном режиме ресурсы должны быть сокращены до необходимого и достаточного минимума [3,42,43,49,4142]. Вместе с тем достаточно ясно, что потоки информации, циркулирующие в КИС, являются фундаментом для взаимодействия частей СТО, которые подключены к системе с помощью различных устройств с человеко-машинными интерфейсами [41,52,186].

Очевидно, что в период модернизации КИС происходят изменения структур, целей и функций соответствующих элементов и подсистем. В подобных ситуациях необходимые услуги могут быть не предоставлены БП или оказаны с задержкой, например: время отклика информационного сервиса на запрос эксплуатационного персонала в рамках поддержки БП, т.к. в данный момент времени программно-аппаратные ресурсы недоступны по причине модернизации.

В соответствии с концептами, которые были введены в разделе 1.3, опишем модель программного управления БП, которые информационно поддерживаются КИС.

Математическая модель программного управления БП, проводимыми в  $B_j$  подсистеме СТО, имеет следующий вид:

$$\frac{dx_{vl}^{(b,j)}}{dt} = \sum_{n=1}^{m_j} r_{vln}(t) u_{vln}^{(b,j)}(t), j = 1, \dots, q; \quad (2.1)$$

Ограничения на управляющие воздействия:

$$\sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_j} u_{vln}^{(b,j)} \leq g_n^{(b,j)}, \forall n; \sum_{n=1}^{m_j} u_{vln}^{(b,j)} \leq s_l^{(b)}, \forall v, \forall l; \quad (2.2)$$

$$\sum_{n=1}^{m_j} u_{vln}^{(b,j)} \left[ \sum_{\alpha \in G_a} (a_{v\alpha}^{(b,j)} - x_{v\alpha}^{(b,j)}) + \sum_{\beta \in G_b} (a_{\beta}^{(s,l)} - x_{\beta}^{(s,l)}) \right] = 0, \forall v; \quad (2.3)$$

$$u_{vln}^{(b,j)}(t) \in \{0, 1\}. \quad (2.4)$$

Краевые условия:

$$\text{для } t = t_0 : x_{vl}^{(b,j)}(t_0) = 0; \quad (2.5)$$

$$\text{для } t = t_f : x_{vl}^{(b,j)}(t_f) = a_{vl}^{(b,j)}, \forall v, \forall l. \quad (2.6)$$

Показатели качества программного управления БП:

$$J_1 = \int_{t_0}^{t_f} d\tau; \quad (2.7)$$

$$J_2 = \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \int_{t_0}^{t_f} c_{vln}^{(b,j)}(\tau) u_{vln}^{(b,j)}(\tau) d\tau; \quad (2.8)$$

$$J_3 = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} [a_{vl} - x_{vl}^{(b,j)}(t_f)]^2. \quad (2.9)$$

В соотношениях (2.1) – (2.9) принята следующая интерпретация введенных переменных:

$x_{vl}^{(b,j)}$  – переменная характеризует состояние выполнения  $D_l^{(b,j)}$  операции, входящей в  $A_v^{(b,j)}$  БП, который реализуется в  $B_j$  подсистеме СТО [41,59].

Верхний индекс « $b$ » в выражении (2.9) и последующих формулах обозначает, что соответствующая переменная входит в состав модели БП.

Верхний индекс « $j$ » в выражении (2.9) и последующих формулах обозначает, подсистему СТО.

$r_{vln}(t)$  – матричная функция времени пространственно-временных ограничений, связанных с особенностями функционирования СТО. Элементы функции принимают значения «1» в конкретный момент времени  $t=t'$ , если

заданные пространственно-временные ограничения в указанный момент времени действуют и значение «0» в противоположном случае [34,47-49].

$u_{vln}^{(b,j)}(t)$  управляющее воздействие принимает значение «1», если  $D_{vl}^{(b,j)}$  операция БП выполняется с использованием  $B_n^{(b,j)}$  информационного сервиса КИС ( $n = 1, \dots, m_j$ ). в противоположном случае  $u_{vln}^{(b,j)}(t) = 0$ .

Ограничения вида (2.2) описывают возможности сервиса  $B_n^{(b,j)}$  по осуществлению одновременной поддержки нескольких БП  $D_{vl}^{(b,j)}$ , а также задают потребность конкретного БП в использовании нескольких сервисов  $B_n^{(b,j)}$ .

$c_{vln}^{(b,j)}(t)$  – известная функция времени, характеризующая вклад БП в себестоимость выпускаемой продукции (услуги).

Ограничения вида (2.3) определяют очередность выполнения  $D_{vl}^{(b,j)}$  операций БП.  $G_b$  – множества номеров операций  $D_{v\alpha}^{(b,j)}$  непосредственно предшествующих  $D_{vl}^{(b,j)}$  и связанных с ней логической операцией «И», т.е.  $D_{vl}^{(b,j)}$  операция БП может начаться только в том случае, если полностью выполнена предыдущая  $D_{v\alpha}^{(b,j)}$  операция БП и завершилась процедура предоставления информационного сервиса  $D_n^{(s,l)}$ , связанная с обработкой всей информации, необходимой для реализации  $D_{vl}^{(b,j)}$  операции БП [59].

Ограничения (2.4) задают возможные границы изменения значений управляющего воздействия  $u_{vln}^{(b,j)}(t)$ .

Соотношения (2.5) и (2.6) задают ограничения на значения переменной  $x_{vl}^{(b,j)}$  в начальный  $t_0$  и конечный  $t_f$  моменты времени, принадлежащих заданному временному интервалу проведения инфраструктурного проекта в  $B_j$  подсистемы СТО.

Введенная критериальная функция вида (2.7) – показатель, оценивающий оперативность реализации БП, поддерживаемых КИС.

Показатель качества (2.8) позволяет оценить суммарный вклад БП в себестоимость создаваемой продукции (услуги), что дает возможность прогнозировать объем накладных расходов, возникающих в связи с проведением модернизации КИС, например в случае остановки БП из-за отсутствия поддержки соответствующим информационным сервисом.

Показатель вида (2.9) вводится для оценивания полноты выполнения БП.

## **2.2. Логико-динамическая модель программного управления функционированием и модернизацией корпоративной информационной системы**

Современные КИС обладают большим вычислительным потенциалом; высокой степенью автоматизации; возможностью сетевого взаимодействия как с внутренней, так и с внешней средой; *поддержкой интеграции при пространственном и временном масштабировании (пространственно распределены)*; способностью к динамической структурной реконфигурации как на информационном, так и физическом уровнях. В свою очередь подобная структурно-функциональная избыточность узлов КИС позволяет повысить в целом качество и стабильность функционирования КИС на различных стадиях ЖЦ (в т.ч. на этапе модернизации) [109-110].

На этапе модернизации, прежде всего, происходит изменение параметров функционирования элементов и подсистем КИС, а именно: «увеличение ожидания ответа сервера на производственный запрос; уменьшение числа запросов, обрабатываемых в единицу времени; использование ресурсов; изменение объема потребления подсистемами КИС серверных или сетевых ресурсов (ЦП, память, дисковое пространство); увеличение или уменьшение общего числа транзакций; увеличение числа отказов; выход из строя аппаратно-программных средств КИС» [40].

В диссертационной работе предлагается рассмотреть КИС как сложный динамический объект, состоящий из совокупности структур, связь между

которыми происходит путем передачи информации о статусе операций, интенсивности потоков передачи и обработки данных, а также информации о состоянии различных ресурсов, сервисов и БП.

Подобный подход позволяет представить этап параллельного функционирования и модернизации КИС как процесс обновления (улучшения характеристик) информационных сервисов, поддерживающих БП. Это позволяет синтезировать программы управления функционированием и модернизацией КИС на основе одновременной оптимизации данных процессов на всех уровнях рассматриваемого СТО [47].

«Комплексное планирование функционирования и модернизации КИС в широком смысле - это целенаправленный, организованный и непрерывный процесс выделения необходимых для функционирования ресурсов КИС; определение их состояния и взаимодействия в заданное время; прогнозирование их функционирования на некоторый период времени в будущем, а также процесс составления и программирования набора действий и планов, направленных на достижение желаемых результатов» [34,47,59,124].

Рассматриваемые на уровне КИС информационный сервисы характеризуются следующими параметрами:

- а) доступность времени реализации сервиса - период времени, в течение которого информационный сервис может поддерживать БП;
- б) производительность сервиса по внешним показателям (количество поддерживаемых БП, оперативность предоставления сервиса);
- в) доступность информационного сервиса;
- г) производительность сервиса по внутренним показателям (предел производительности центрального процессора, объем оперативной памяти, предел дискового пространства).

Представим математическую модель программного управления сервисами КИС:

$$\frac{dx_n^{(s,l)}}{dt} = \sum_{r=1}^{p_s} u_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (2.10)$$

$$\frac{dx_r^{(s,l)}}{dt} = \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (2.11)$$

$$\frac{dx_{rS_i}^{(s,l)}}{dt} = \omega_{rS_i}^{(s,l)}(t). \quad (2.12)$$

Ограничения на управляющие воздействия:

$$0 \leq u_{nr}^{(s,l)}(t) \leq [e_{nr}^{(j)}(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t)) + \bar{e}_{nr}^{(j)}\gamma_r^{(m,\delta)}(t)]w_{nr}^{(s,l)}; \quad (2.13)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} V_n^{(s,l)} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq [V_r^{(j)}(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t)) + \bar{V}_r^{(j)}\gamma_r^{(m,\delta)}(t)]; \quad (2.14)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} u_{nr}^{(s,l)}(t) \leq [P_r^{(j)}(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t)) + \bar{P}_r^{(j)}\gamma_r^{(m,\delta)}(t)]; \quad (2.15)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)} \left[ \sum_{\pi \in G_c} (a_\pi^{(s,l)} - x_\pi^{(s,l)}) + \sum_{k \in G_c} (a_k^{(m,r)} - x_k^{(m,r)}) \right] = 0, \forall l; \quad (2.16)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \varepsilon_n, \forall n; \quad \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \theta_r, \forall r; \quad (2.17)$$

$$\omega_{rS_i}^{(s,l)}(a_{S_i}^{(s,l)} - x_{S_i}^{(s,l)}) = 0; \quad (2.18)$$

$$w_{nr}^{(s,l)} \in \{0, u_{vln}^{(b,j)}\}; \quad \gamma_r^{(m,\delta)}(t), \omega_{rS_i}^{(s,l)} \in \{0, 1\}. \quad (2.19)$$

Краевые условия:

$$\text{для } t = t_0 : x_n^{(s,b)}(t_0) = x_r^{(s,l)}(t_0) = x_{rS_i}^{(s,l)}(t_0) = 0; \quad (2.20)$$

$$\text{для } t = t_f : x_n^{(s,l)}(t_f) = a_n^{(s,l)}; \quad x_r^{(s,l)}(t_f), x_{rS_i}^{(s,l)}(t_f) \in \mathbf{R}^1. \quad (2.21)$$

Показатели качества программного управления функционированием и модернизацией сервисов КИС:

$$J_4 = \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} \int_{t_0}^{t_f} \delta_{nr}^{(s,l)}(\tau) \cdot w_{nr}^{(s,l)}(\tau) d\tau; \quad (2.22)$$

$$J_5 = \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{p_s} \sum_{r=1}^{m_j} \int_{t_0}^{t_f} c_{nr}^{(s,l)}(\tau) w_{nr}^{(s,l)}(\tau) d\tau; \quad (2.23)$$

$$J_6 = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \left( a_n^{(s,l)} - x_n^{(s,l)}(t_f) \right)^2. \quad (2.24)$$

В соотношениях (2.10) – (2.24) приняты следующие обозначения:

$x_n^{(s,l)}$  – переменная характеризует состояние выполнения операции предоставления необходимых информационных услуг для реализации операций БП  $A_v^{(b,j)}$

Верхний индекс « $s$ » в выражениях (2.10) - (2.21) и последующих формулах обозначает, что соответствующая переменная входит в состав модели программного управления функционированием и модернизацией корпоративной информационной системы БП.

Верхний индекс « $l$ » в выражениях (2.10) - (2.24) и последующих формулах обозначает операцию БП, которая «потребляет» информационный сервис (услугу).

$u_{nr}^{(s,l)}(t)$  – интенсивность поддержки  $F_{<n,r>}^{(s,l)}$  операции сервиса (*внутреннего сервиса*) ресурсом КИС  $B_r^{(s,l)}$ .

$x_r^{(s,l)}$  – переменная, текущее значение которой численно равно общей продолжительности задействия ИР  $B_r^{(s,l)}$ .

$w_{nr}^{(s,l)}(t)$  – продолжительность использования  $B_r^{(s,l)}$  ресурса КИС для поддержки информационного сервиса (внутренних сервисов или услуг)  $D_{<l,n>}^{(s,b)}$ .

$w_{nr}^{(s,l)}(t) = 1$  если ресурс КИС выделен и функционирует.

$x_{rS_l}^{(s,l)}$  – численно определяет временной интервал от окончания обслуживания ИР  $B_r^{(s,l)}$  *внутреннего сервиса*  $F_{<n,r>}^{(s,l)}$  до заданного конечного момента времени.

$\omega_{rS_l}^{(s,l)}(t)$  – это вспомогательное управляющее воздействие. Принимает значение «1», если ИР завершил обслуживание внутреннего сервиса  $F_{<n,r>}^{(s,l)}$ .

$V_n^{(s,l)}$  – объем памяти, необходимой для хранения выходных и промежуточных данных, которая выделяется для выполнения операции внутреннего сервиса.

$e_r^{(j)}, V_r^{(j)}, P_r^{(j)}$  – заданные величины (константы), характеризующие максимальную интенсивность реализации *внутренних сервисов* на ресурсе КИС  $B_r^{(s,l)}$  (до модернизации); максимальный объем доступной оперативной памяти, выделяемой ИР в узле  $B_j$ ; максимально возможную производительность ИР  $B_r^{(s,l)}$  до начала проведения инфраструктурного проекта.  $\bar{e}_r^{(j)}, \bar{V}_r^{(j)}, \bar{P}_r^{(j)}$  – данные величины имеют аналогичную интерпретацию, но соответствуют той ситуации, когда инфраструктурный проект завершен (модернизация завершена), т.е. соответствующие значения изменяются после того как была произведена установка соответствующего «нового» ресурса [34,59,124,181].

$\gamma_r^{(m,\delta)}(t)$  – вспомогательное управляющее воздействие, принимающее значение «1» в момент времени  $t$ , если осуществлен переход от существующих ( $e_r^{(j)}, V_r^{(j)}, P_r^{(j)}$ ) к «новым» ( $\bar{e}_r^{(j)}, \bar{V}_r^{(j)}, \bar{P}_r^{(j)}$ ) параметрам информационных ресурсов в  $B_j$  подсистеме СТО.

$a_n^{(s,l)}$  – объем операций внутреннего сервиса для поддержки заданного внешнего сервиса.

$\delta_{nr}^{(s,l)}(t)$  – функция позволяет оценить суммарное качество предоставления внутренних сервисов  $F_{<n,r>}^{(s,l)}$  КИС на этапе совместного функционирования и модернизации.

$c_{nr}^{(s,l)}(t)$  – стоимостная функция времени, описывающая косвенные, т.е. эксплуатационные затраты (администрирование, техническая поддержка и т.д.), связанные с функционированием и модернизацией конкретного информационного сервиса.

Ограничения (2.13) – (2.15) определяют возможности по обработке информации на ресурсе  $B_r^{(s,l)}$  до и после проведения соответствующего этапа инфраструктурного проекта.

Ограничения (2.16) определяют технологию реализации информационного сервиса. Операция, входящая в состав процесса предоставления сервиса (внутренний сервис), не может быть предоставлен пока не закончена модернизация информационного ресурса, который задействован в этом процессе.

Ограничения (2.17) задают возможность одновременного использования нескольких ИР для обеспечения функционирования внутреннего сервиса и применения ИР КИС для параллельного выполнения нескольких задач.  $\varepsilon$  и  $\theta$  – это известные числа.

Ограничение (2.18) – вспомогательное, которое вводится для того, чтобы зафиксировать момент времени окончания функционирования ресурсов КИС, обеспечивающих выполнение операций внутреннего сервиса.

Ограничение (2.19) задает интервал возможных значений, которые могут принимать соответствующие управляющие воздействия, и формирует связь с моделью БП.

Выражения (2.20) и (2.21) определяют ограничения на значения переменных в заданные моменты времени  $t=t_0$  и  $t=t_f$ .

Показатель вида (2.22) оценивает качество планирования процессов функционирования и модернизации КИС на уровне сервисов.

Показатель вида (2.23) введен для проведения оценивания суммарных эксплуатационных затрат, связанных с процессами функционирования и модернизации КИС на уровне информационных сервисов.

Показатель (2.24) введен для максимизации объема выполненных операций на уровне функционирования КИС.

### 2.3. Логико-динамическая модель программного управления модернизацией ресурсов корпоративной информационной системы

Вопреки усилиям информационных служб СТО качество функционирования КИС со временем снижается. Процесс модернизации аппаратно-программных средств информационной системы позволяет продлить время ее активного существования. Поэтапное выполнение модернизационных работ предполагает не только непрерывное параллельное функционирование «существующих» и «новых» элементов и подсистем, но и эволюционное изменение структуры их взаимосвязей (технологической, технической, организационной и т.д.).

Комплексный план функционирования и модернизации КИС имеет множество возможных сценариев, однако в диссертационной работе предполагается, что они однозначно задаются соответствующими технологиями (функционирования и модернизации КИС) на каждой страте.

На этапе комплексного планирования инфраструктурного проекта выделяются следующие задачи: распределение взаимосвязанных функций (внутренних сервисов) между элементами и подсистемами унаследованной существующей КИС и внедряемой («новой») КИС; выбор элементов для обновления (замены), который зависит от параметров функционирования информационных сервисов КИС в текущий и последующие моменты времени, а также законов управления ими.

Введем математическую модель программного управления ИР КИС.

Математическая модель управляемого процесса модернизации ресурсов КИС.

$$\frac{dx_{\delta}^{(m,r)}}{dt} = \sum_{\delta=1}^{\Delta_j} \pi_{\delta c}^{(m,r)}(t) \gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t), \forall c, c = 1, \dots, P_j^{(r)}; \quad (2.24)$$

$$\frac{dx_r^{(m,\delta)}}{dt} = \gamma_r^{(m,\delta)}(t). \quad (2.25)$$

Ограничения на управляющие воздействия:

$$\sum_{r=1}^{P_s} \gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t) \leq q_{\delta j}^{(m)}, \quad \forall \delta, \forall c; \quad (2.26)$$

$$\sum_{\delta=1}^{\Delta j} \gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t) \leq h_c^{(m,r)}, \quad \forall \delta, \forall c, c = 1, \dots, P_j^{(r)}; \quad (2.27)$$

$$\sum_{c=1}^{P_j^{(r)}} \gamma_{\delta c}^{(m,r)}(a_{(\delta-1)}^{(m,r)} - x_{(\delta-1)}^{(m,r)}) = 0; \quad (2.28)$$

$$\gamma_r^{(m,\delta)}(a_{rP_j}^{(m,\delta)} - x_{rP_j}^{(m,\delta)}) = 0; \quad (2.29)$$

$$\gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t), \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \in \{0, 1\}. \quad (2.30)$$

Краевые условия:

$$\text{для } t = t_0 : x_{\delta}^{(m,r)}(t_0) = x_r^{(m,\delta)}(t_0) = 0; \quad (2.31)$$

$$\text{для } t = t_f : x_{\delta}^{(m,r)}(t_f) = a_{\delta c}^{(m,r)}; x_r^{(m,\delta)}(t_f) \in \mathbf{R}^1. \quad (2.32)$$

Показатели качества программного управления процессами модернизации ресурсов КИС:

$$J_7 = \int_{t_0}^{t_f} d\tau; \quad (2.33)$$

$$J_8 = \sum_{r=1}^{P_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta j} \sum_{c=1}^{P_j^{(r)}} \int_{t_0}^{t_f} c_{\delta c}^{(m,r)}(\tau) \gamma_r^{(m,\delta)}(\tau) d\tau; \quad (2.34)$$

$$J_9 = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^{P_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta \delta} \sum_{c=1}^{P_j^{(r)}} \left[ T - (x_r^{(m,\delta)}(t_f)) (\gamma_r^{(m,\delta)}(t_f)) \right]^2, \quad (2.35)$$

где  $x_{\delta}^{(m,r)}(t)$  – переменная, характеризующая текущее состояние выполнения операции  $D_{\langle r, \delta \rangle}^{(m)}$ , инфраструктурного проекта (т.е. модернизации ИП) в  $B_j$  подсистеме СТО.

Верхний индекс « $m$ » в выражениях (2.24) – (2.35) и последующих формулах обозначает, что соответствующая переменная входит в состав модели программного управления модернизацией КИС БП.

Верхний индекс « $r$ » в выражениях (2.24) – (2.35) и последующих формулах обозначает, что переменная относится к ИР, которые задействованы при реализации внутреннего сервиса.

$\pi_{\delta c}^{(m,r)}(t)$  – матричная функция времени описывающая, пространственно–временные ограничения, связанные с процессами реализации инфраструктурного проекта  $D_{\delta}^{(m,r)}$ , т.е. с заменой информационного ресурса  $B_r^{(s,l)}$  с помощью ресурсов, выделенных на проведение модернизации  $B_{<\delta,c>}^{(m,r)}$   $c=1,\dots,P_j^{(r)}$ . Элементы данной матричной функции принимают значения «1», если данные ограничения в данный момент времени действуют. Значение «0», если ограничения в указанный момент  $t=t'$  не выполняются.

$\gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t)$  – управляющее воздействие. Принимает значение «1», если на выполнение операции инфраструктурного проекта  $D_{<r,\delta>}^{(m)}$  в данный момент выделен ресурс  $B_{<\delta,c>}^{(m,r)}$ . В противном случае «0».

$x_r^{(m,\delta)}(t)$  – переменная отражает состояние выполнения вспомогательной операции в текущий момент времени. Предназначена для численного оценивания величины временного интервала, прошедшего с момента окончания комплекса операций, связанных с модернизацией ИР.

$\gamma_r^{(m,\delta)}(t)$  – вспомогательное управляющее воздействие, принимающее значение «1», если операция модернизации информационного ресурса  $D_{<r,\delta>}^{(m)}$  завершилась. в противном случае  $\gamma_r^{(m,\delta)}(t) = 0$ .

$a_{\delta c}^{(m,r)}$  – заданный объем (константа) операций инфраструктурного проекта  $D_{<\delta,c>}^{(m,r)}$  в  $B_j$  подсистеме СТО.

$a_{P_j}^{(m,r)}$  – это заданная константа, определяющая объем последней операции  $D_{P_j}^{(m,r)}$ , входящей в состав инфраструктурного проекта в  $B_j$  подсистеме СТО.

$c_{\delta c}^m(t)$  – функция капитальных затрат, связанных с проведением модернизации (покупкой и внедрением) «новых» ресурсов КИС.

$T$  – директивно заданный интервал времени на реализацию инфраструктурного проекта по модернизации КИС.

Ограничения вида (2.26) и (2.27) аналогичны ограничениям, которые были введены в параграфах 2.1. – 2.2, но уже применительно к процессу модернизации и соответственно выделяемым ресурсам.

Ограничения вида (2.28) определяет очередность выполнения  $D_{\delta}^{(m,r)}$  обеспечивающих технологических операций, связанных с модернизацией  $B_r^{(s,l)}$  ресурсов КИС.

Ограничения вида (2.29) определяет условия окончания процесса замены существующего ИР КИС  $B^{(m,r)}$  в  $B_j$  подсистеме СТО на новый.

Ограничения вида (2.30) задают область изменения возможных значений управляющих воздействий  $\gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t)$  и  $\gamma_r^{(m,\delta)}(t)$ .

Соотношения (2.31) – (2.32) задают (значения) фазовых координат построенной логико-динамической модели (краевые условия) в начальный и конечный моменты времени, т.е. характеризуют период проведения инфраструктурного проекта.

Критериальная функция вида (2.33) – задает показатель оперативности реализации программного управления модернизацией КИС.

Функционал вида (2.35) – характеризует суммарные *капитальные* затраты (покупка, в т.ч внедрение сторонними силами, ресурсов «новой» КИС), которые связаны с проведением модернизации КИС

Функция вида (2.36) – позволяет оценить степень равномерности (неравномерности) расходования ресурсов (в том числе и финансовых), выделяемых на модернизацию КИС в каждый момент времени.

## 2.4. Формальная постановка задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы как задачи оптимального программного управления

В параграфах 2.1-2.3. представлен комплекс моделей, а также определены функциональные требования (выраженные с помощью критериальных функций) к качеству комплексных планов функционирования и модернизации большеразмерной КИС с учетом реализации БП на уровне СТО. Можно говорить, что разработан полимодельный комплекс [119]. Представим оптимизационную постановку задачи, описывающую процессы планирования (программного управления) функционирования и модернизации КИС с учетом реализации БП на уровне СТО на основе приведенных ранее математических моделей управления структурной динамикой, рассматриваемой КИС:

$$M = \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{u}(t) | \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t); \\ \mathbf{h}_0(\mathbf{x}(t_0)) \leq \mathbf{O}; \mathbf{h}_1(\mathbf{x}(t_f)) \leq \mathbf{O}; \\ \mathbf{q}^{(1)}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \mathbf{O}; \mathbf{q}^{(2)}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \leq \mathbf{O}; \end{array} \right\}. \quad (2.37)$$

В представленной модели функции и переменные имеют следующую интерпретацию:  $\mathbf{x}$  – это вектор состояния исследуемого СТО ( $\mathbf{x} = \| \mathbf{x}^{(b)T} \mathbf{x}^{(s)T} \mathbf{x}^{(m)T} \|^T$ );  $\mathbf{u}$  – вектор управляющих воздействий (программ, планов) ( $\mathbf{u} = \| \mathbf{u}^{(b)T} \mathbf{u}^{(s)T} \mathbf{u}^{(m)T} \|^T$ );  $\mathbf{h}_0, \mathbf{h}_1$  – функции, задающие исходные данные для задачи программного управления функционированием и проведения инфраструктурного проекта в начальный момент времени, а также граничные (требуемые) значения вектора состояния в момент окончания интервала управления.  $\mathbf{q}^{(1)}$  и  $\mathbf{q}^{(2)}$  задают основные характерные ограничения описываемых процессов.

В систему логико-динамический моделей комплексного планирования функционирования и модернизации КИС может входить система показателей качества, которую можно представить следующим обобщенным показателем:

$$\mathbf{J} = \| \mathbf{J}^{(b)T} \mathbf{J}^{(s)T} \mathbf{J}^{(m)T} \|^T. \quad (2.38)$$

Множество частных показателей качества, используемых для оценивания качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС, можно разбить на три большие группы:

$J_1$  – показатели, позволяющий провести оценивание оперативности проведения работ;

$J_2$  – показатели, оценивающие суммарную стоимость выполненного комплекса операций в ходе реализации заданных программ функционирования и модернизации исследуемых объектов;

$J_3$  – показатель, характеризующий полноту выполнения операций.

Далее отметим следующие характерные отличия предложенной динамической постановки задачи. Правые части дифференциальных уравнений, описывающие процессы реализации БП и программного управления функционированием и модернизацией КИС, терпят разрыв в моменты, когда информационные ресурсы или соответствующие информационные сервисы недоступны. «Обобщенную модель (2.37) целесообразно отнести к классу детерминированных нестационарных конечномерных дифференциальных динамических систем с перестраиваемой структурой» [90,100].

Далее необходимо найти такую программу скоординированного параллельного управления функционированием и модернизацией КИС, удовлетворяющую всем ограничениям (т.е. допустимый план), на интервале планирования  $(t_0, t_f]$ . На этапе его реализации должны быть выполнены в полном объеме: все операции БП, программы управления функционированием КИС, программы проведения инфраструктурного проекта. В тоже время обобщенный показатель качества планирования (2.38) должен принимать экстремальные значения.

Комплексный план проведения работ должен удовлетворять заданным пространственно-временным и технологическим ограничениям, а соответствующие частные показатели качества планирования также должны принимать экстремальные значения. Особенность решаемых в диссертации

прикладных задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС заключается в том, что они относятся к классу задач многокритериального выбора [41].

Предложенный в диссертации подход к решению задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС совмещает идеи сетевого планирования с идеями системной динамики. История развития данной концепции началась в конце 60-х годов. Первые упоминания о данном подходе можно найти в трудах Ф. Вернера, далее академик Н.Н. Моисеев, а также И.Н. Зимин и Ю.П. Иванилов поддержали данное направление исследований.

Главной особенностью применяемого в диссертации подхода является то, что каждая операция существует на этапе синтеза управляющих воздействий только необходимое время, точнее, только когда на нее выделен «ресурс» (информационный сервис КИС для поддержки БП; ресурс КИС, который выделен на поддержку соответствующего информационного сервиса; ресурс на реализацию технологического цикла модернизации). Введенные в параграфе 1.3. концепты в явном виде связаны с техническими и пространственно-временными ограничениями, которые «появляются» и «исчезают» в конкретные интервалы времени в соответствии с условиями обстановки, а также с операциями, определяемыми логикой технологических процессов. Подобные взаимосвязи «пронизывают» сложный динамический объект, поэтому перед началом выполнения операции на уровне информационных сервисов необходимо, например, чтобы модернизации заданного ресурса была завершена (см. 2.16).

Важным замечанием является то, что для нахождения экстремального решения (комплексного плана функционирования и модернизации КИС) ограничения типа равенства и неравенства («смешанные») должны быть линейно-независимы в текущем фронте работ. В разработанных логико-динамических моделях они сформированы именно таким образом. Это позволяет утверждать о выпуклости области допустимых значений. В противном случае формирование сопряженной системы уравнений было бы невозможно [125].

Другой важной чертой рассматриваемых в диссертации научно-технических задач является то, что используемое в современных ИИСППР модельно-алгоритмическое обеспечение позволяет существенно снизить сложность решения задач разработки комплексных планов функционирования и модернизации КИС и их оптимизации. Вместе с тем они поддерживают, а не заменяют выработку необходимых управляющих воздействий. Другими словами, ЛПР и ЛОР на стадии планирования предлагаются к рассмотрению возможные пути устранения возникающих *противоречий* в процессе *координации программ* реализации инфраструктурного проекта, которые, как правило, оказывают негативное влияние на качество разрабатываемых комплексных планов. Принятие же заведомо «неоптимальных» решений в данной ситуации имеет множество часто отложенных, долгосрочных и неочевидных последствий, влияющих на показатели качества функционирования не только КИС, но и БП.

Современные ИИСППР широко опираются на методики, основывающиеся на прецедентах, однако ввиду наличия структурной динамики КИС, а также в случае отсутствия базы прецедентов часто невозможно найти близкое «эталонное» решение, которое позволяет выбрать адекватный текущим условиям обстановки программу действий [148].

В подобных условиях также массовое распространение получило использование экспертных методов в модельно-алгоритмическом обеспечении соответствующих программных комплексов. Это во многом связано с тем, что накопленная совокупность информации о сложных процессах, протекающих в КИС, позволяет ЛПР и ЛОР выступать в качестве «интеллектуальной измерительно-диагностической системы».

Далее следует отметить, что «эксперты и их практический опыт («явные» и «неявные» знания) необходимы для решения слабоструктурированных задач, например: прогнозирование развития информационно-управляющих процессов в КИС; определение альтернативных вариантов принятия решений при планировании функционирования и модернизации КИС; оценивание уровня

целевых и информационно-технических возможностей с обеспечением «благоприятных» процессов; обоснование критериев эффективности применения КИС; определение целей и задач управления КИС с упорядочением их по степени важности и согласованности решений (последовательности реализации); распределение ресурсов (средств) для достижения поставленных целей и др.» [127,181].

Сегодня становится вполне очевидно, что разработка комплексных планов проведения инфраструктурного проекта предполагает многокритериальное многовариантное оценивание и оптимизацию программ по достижению значений целевых показателей качества функционирования и модернизации КИС. При этом на данном этапе планирования должен быть выполнен синтез управляющих воздействий, доставляющих экстремум заданным функционалам (см. 2.28), что существенно затрудняет интерпретацию получаемых результатов (констант, отражающих качество комплексных планов) ЛПР и ЛОР. Одновременно с этим эксперты в силу обстоятельств могут быть недоступны или их оценка в условиях высокой когнитивной нагрузки может оказаться ошибочной.

В диссертации разрабатывается новый подход к построению и оптимизации обобщенного многокритериального показателя качества планирования операций, направленных на достижение целей функционирования и модернизации КИС. Подробно об алгоритмической реализации разработанных моделей будет сказано в следующей главе.

## **Выводы**

1. Предложена оригинальная динамическая интерпретация процессов скоординированного функционирования и модернизации КИС. Представленное в диссертации описание дискретно-событийной по своей сути задачи комплексного планирования отличается от существующих подходов использованием новых логико-динамических моделей, что позволяет использовать научные и практические результаты, полученные в современной теории управления

структурной динамикой СТО, для решения задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС.

2. Разработанные логико-динамические модели, базирующиеся на принципах сервис-ориентированного подхода и технологиях управления структурной динамикой, позволяют учесть динамизм основных ограничений СТО и КИС (пространственно-временных, технических и технологических), а также осуществить оптимизацию важнейшего экономического показателя качества синтезируемых планов – ССВ КИС.

3. Предложенная обобщенная формальная модель программного управления процессами функционирования и модернизации КИС описывается конечномерной нестационарной дифференциальной динамической системой с выпуклой переменной областью допустимых значений управляющих воздействий и фиксированными краевыми условиями. Основные классы задач комплексного «бесшовного» планирования процесса перевода большеразмерной многоуровневой КИС из заданного исходного структурного состояния (до модернизации) в требуемое структурное состояние, описывающее КИС уже после модернизации, формально описаны в виде задач поиска оптимальных программы управления многоуровневой логико-динамической системой.

### **3. Комбинированный алгоритм и методика решения задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы**

После того как проведена формальная постановка задачи (разработана обобщенная математическая модель программного управления структурной динамикой КИС), требуется осуществить поиск наилучшей (недоминируемой на всем множестве альтернатив) программы перевода КИС из заданного структурного состояния в требуемое конечное структурное состояние. Синтезируемый набор согласованных программ функционирования и модернизации должен удовлетворять ограничениям, накладываемым на мгновенные значения вектора управляющих воздействий, и соответствовать функциональным требованиям к качеству планов проведения работ на всех этапах, описывающих модернизируемую КИС.

Напомним, что существует пять основных задач, связанных с созданием и управлением функционированием и развитием (модернизацией) КИС (см. глава 1). В диссертации рассматривается решение только одной задачи – синтез комплексных программ скоординированного управления модернизацией и функционирования (комплексных планов) рассматриваемой КИС.

В данной главе проведен анализ методов и алгоритмов поиска оптимальной программы управления сложных динамических объектов, к которым относится КИС, а также разработана новая многокритериальная процедура синтеза комплексных планов функционирования и модернизации КИС.

#### **3.1. Преобразование задачи оптимального программного управления функционированием и модернизацией корпоративной информационной системы в двухточечную краевую задачу**

Описанную ранее в параграфах 2.1 – 2.4 постановку задачи управления структурной динамикой КИС с помощью метода локальных сечений можно свести

к двухточечной краевой задаче (подробно с методом локальных сечений В.Г. Болтянского можно ознакомиться в работе [106]). Предложенный подход также подробно рассматривался в работах [109,110]. Первый этап заключается в построении Гамильтониан и соответствующей сопряженной система уравнений с помощью ранее сформированных моделей вида (2.37) – (2.40) (также см. (3.1), (3.2)):

$$H(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \Psi(t)) = \Psi^T \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t). \quad (3.1)$$

Выражение (3.1) записано в предположении, что обобщенный функционал, оценивающий качество заданных процессов приведен к терминальному виду (задача Майера) [64].

$$\dot{\Psi}_l = -\frac{dH}{dx_l} + \sum_{\alpha=1}^{I_1} \sigma_{\alpha}(t) \frac{dq_{\alpha}^{(1)}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t))}{dx_l} + \sum_{\beta=1}^{I_2} \sigma_{\beta}(t) \frac{dq_{\beta}^{(2)}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t))}{dx_l}. \quad (3.2)$$

Для определения  $\sigma_{\alpha}(t)$ ,  $\sigma_{\beta}(t)$  в системе (3.2) используются следующие соотношения:

$$\sigma_{\beta}(t) \mathbf{q}_{\beta}^{(2)}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \equiv 0, \beta \in \{1, \dots, I_2\}, \quad (3.3)$$

$$\text{grad}_{\mathbf{u}} H(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \Psi(t)) = \sum_{\alpha=1}^{I_1} \sigma_{\alpha}(t) \text{grad}_{\mathbf{u}} \mathbf{q}_{\alpha}^{(1)}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) + \sum_{\beta=1}^{I_2} \sigma_{\beta}(t) \text{grad}_{\mathbf{u}} \mathbf{q}_{\beta}^{(2)}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)). \quad (3.4)$$

В (3.2) – (3.4)  $x_l, \Psi_l$  – компоненты обобщенных векторов состояний основной  $\mathbf{x}$  и сопряженной  $\Psi$  систем уравнений. В соответствии с предложенным в диссертации методов: выражение (3.2) следует дополнять в общем случае условиями трансверсальности на левом и правом концах фазовой траектории» [110]:

$$\Psi_l(t_0) = -\left. \frac{dJ_{ob}}{dx_l} \right|_{x_l(t_0)=x_{l0}}, \Psi_l(t_f) = -\left. \frac{dJ_{ob}}{dx_l} \right|_{x_l(t_f)=x_{lf}}. \quad (3.5)$$

На втором этапе для определения оптимального программного управления  $\mathbf{u}^*(t)$  и соответствующей фазовой траектории  $\mathbf{x}^*(t)$  необходимо решить следующие системы уравнений: «основную систему уравнений, описывающая управляемую структурную динамику КИС (2.41–2.44); сопряженную система дифференциальных уравнений вида (3.2). Кроме того, должны быть заданы

$$(\mathbf{h}_0(\mathbf{x}(t_0)) \leq \mathbf{O} \text{ и } \Psi(t_0)$$

следующие начальные условия  $\mathbf{u}^*(t)$ . В свою очередь значение управляющих воздействий в момент времени  $t = t_0$  вычисляется, исходя из максимизации функции Гамильтона вида (3.1.)» [109,110].

Далее, согласно методу локальных сечений [16,110]: «вычисленные экстремальные значения управляющих воздействий должны быть подставлены в правые части дифференциальных уравнений вида (3.1–3.4), после этого следует следующий шаг: «интегрирование основной и сопряженной систем уравнений для следующего момента времени:  $t_1 = t_0 + \tilde{\delta}$  ( $\tilde{\delta}$  – шаг интегрирования). Далее вновь должно проводиться определение для  $t = t_1$  на  $\mathbf{u}^*(t)$  основе максимизации сформированного Гамильтониана (3.1) (функции Гамильтона) и т.д. ( $t_2 = t_1 + \tilde{\delta}, \dots$ ). Процесс интегрирования продолжается до выполнения следующих условий:

- а) не выполняются краевые условия  $\mathbf{h}_1(\mathbf{x}(t_f)) \leq \mathbf{O}$ ;
- б) не будет обеспечена с заданной точностью сходимость итерационного процесса как по функционалу, так и по соответствующим альтернативным управляющим воздействиям.

На этом заканчивается процедура построения экстремали  $\mathbf{x}^*(t)$  и соответствующего экстремального управления  $\mathbf{u}^*(t)$  на текущей итерации». Для подготовки к следующей итерации необходимо определенным образом скорректировать значения сопряженной системы дифференциальных уравнений на левом конце (в момент времени  $t = t_0$ )» [46,109,110].

Представленный обобщенный метод, как уже указывалось, позволяет: «свести задачу неклассического вариационного исчисления к краевой задаче и провести редукцию задачи выбора оптимальных программ (плана) управления структурами КИС к задаче отыскания корней трансцендентных уравнений вида» [109]:

$$\Phi = \Phi(\Psi(t_0)) = \mathbf{O}. \quad (3.6)$$

Важно отметить, что описанная процедура не отвечает на вопрос: «Как задать компоненты вектора  $\Psi(t_0)$ , соответствующие тем же компонентам вектора  $\mathbf{x}(t_0)$ ,

значения которых фиксированы в момент времени  $t = t_0$ ?». Кратко остановимся на особенностях методов и алгоритмов решения задач оптимального программного управления сложным динамическим объектом к которым, в нашем случае, относится КИС.

### 3.2. Анализ достоинств и недостатков существующих методов и алгоритмов решения задач оптимального программного управления сложными динамическими объектами

В начале данной главы представим (см. рисунок 17) обобщенную классификацию методов и алгоритмов решения задач оптимального управления (ЗОУ) [63].

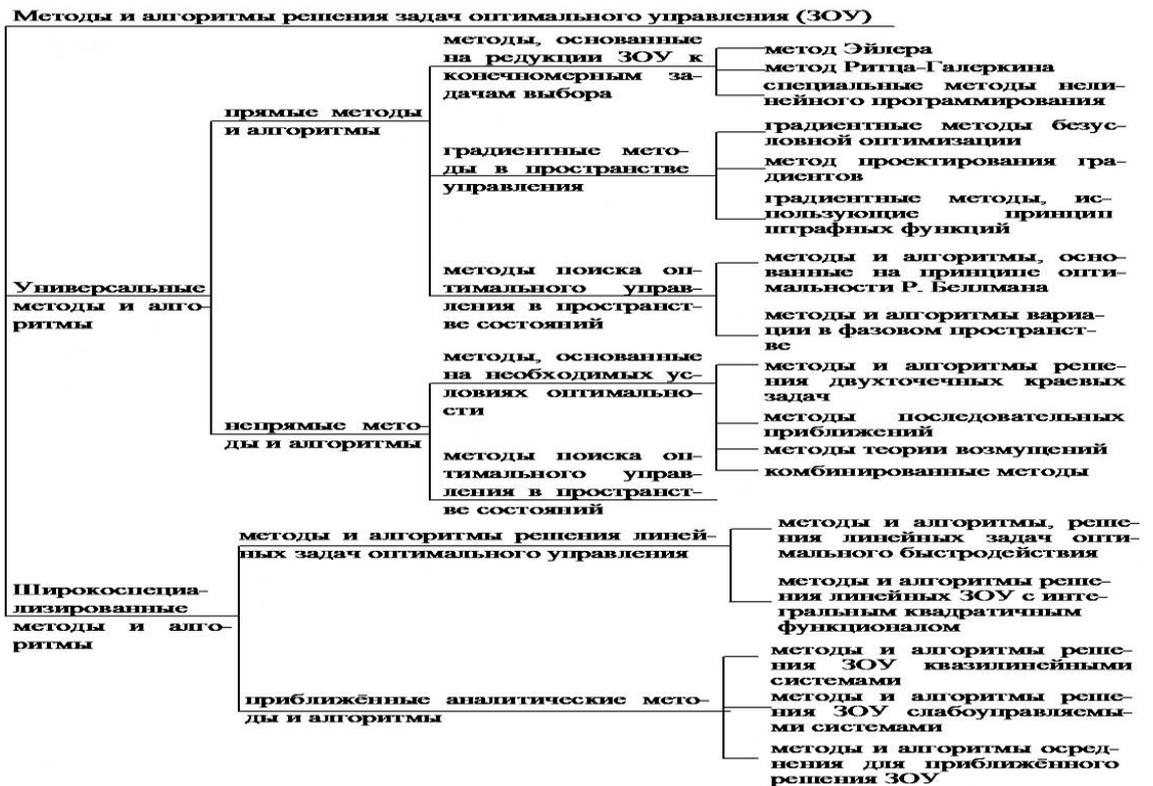


Рисунок 17. Возможная классификация основных существующих методов и алгоритмов решения задач оптимального управления динамическими объектами

Традиционно выделяют два основных класса методов (числительных) решения задач оптимального управления: прямые и непрямые. Первые не

используют необходимые и достаточные условия оптимальности для поиска оптимальных решений, а вторые наоборот их используют [64,139].

Основу прямых методов (определение оптимального управления) составляют итерационные процессы в пространстве управляющих функций, базирующиеся на формулах для приращения функционала. Если применяются методы классического вариационного исчисления для вариации функционала, то мы говорим о группе методов градиентного типа в пространстве управлений. К ним относятся методы Ритца, Эйлера и Галеркина. Они базируются на различных аппроксимациях исходной проблемы к задаче выбора на конечномерном множестве.

Отличительной особенностью непрямых методов является их направленность на отыскание экстремальных управлений, удовлетворяющих необходимым или достаточным условиям. В первую очередь здесь следует выделить методы и алгоритмы решения двухточечной краевой задачи, т.е. направленных на поиск решения краевой задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений. К ним отнесем методы теории возмущений и последовательных приближений, т.д.

Наиболее известным и разработанными методами поиска условий оптимальности является методы, базирующиеся на принципе максимума Л.С. Понтрягина. Остановимся на них подробнее. Принцип максимума существенно обобщает и развивает результаты классического вариационного исчисления, образуя фундамент всей современной теории оптимального управления. Именно его появление стимулировало дальнейшие исследования в области оптимального управления динамическими системами при решении практически важных задач, а именно: управление полетом летательных аппаратов в космосе и атмосфере; управление химических и ядерных реакторов; методы математической экономики и т.д. [22].

Важными характеристиками вышеперечисленных подходов являются область сходимости, устойчивость к погрешностям, удобство программирования и

необходимый объем памяти ЭВМ для решения соответствующих задач оптимального управления. Однако, недостаточная разработанность методик оценивания упомянутых характеристик затрудняет их сравнение. Дополнительно отметим, что тесты, направленные на определение количества необходимых итераций для решения задачи с нужной точностью или расчета машинного времени, не дают полной информации для формирования окончательных выводов о преимуществах того или иного подхода [22]. Кратко остановимся на достоинствах и недостатках только наиболее распространенных методов программного управления сложными динамическими объектами, к которым, в первую очередь относятся: метод Ньютона и его модификации, градиентные методы, методы последовательных приближений [13,19,129,132,139].

*Метод Ньютона и его модификации.* К достоинствам данных методов отнесем общую простоту реализации, высокую сходимость и точность решения в случае удачного выбора первого приближения. Недостаток методов состоит в существенной зависимости качества решения от начального приближения и некоторой трудоемкости, например, при выполнении операции вычисления матрицы частных производных. В случае неудачного выбора первого приближения указанные методы расходятся. Решения краевой задачи, в общем случае являются экстремальными («подозрительными» на оптимальность), а не оптимальными.

*Градиентные методы* позволяют решать широкий класс задач оптимального управления с различными ограничениями и дают возможность уже на первых итерациях улучшить управление. К числу недостатков градиентных методов можно отнести: алгоритмическую сложность их реализации; медленную сходимость, а в ряде случаев и расходимость; снижение скорости сходимости при приближении к оптимальному решению. Главная особенность численных алгоритмов подобного класса заключается в явной и ярко выраженной зависимости их сходимости от начального приближения.

*Метод последовательных приближений.* В отличие от изложенных выше методов, метод последовательных приближений основан на принципе максимума

Л. С. Понтрягина. Он позволяет учитывать ограничения на управление и дает возможность выполнять игольчатые вариации в процессе итераций. Оптимальное управление часто бывает релейным (разрывным), однако метод последовательных приближений предполагает проведение аппроксимации оптимального управления в классе разрывных функций, что на практике имеет множество преимуществ. При использовании, к примеру, градиентных методов оптимальное управление аппроксимируется, вообще говоря, непрерывными управлениями [139].

Необходимо отметить, что на практике редко применяют один подход. Чаще используют комбинированные методы, т.к. исследователи сталкиваются с сложностью нахождения аналитического решения. Выбор той или иной схемы согласования различных подходов тесно связан со спецификой решаемой задачи. Разработка новых способов согласования традиционно направлена на поиск алгоритмических средств повышения сходимости решения краевых задач за минимальное количество итерации и уменьшение вычислительной сложности реализуемых процедур численного поиска оптимальных управлений.

Анализ успешных практик использования комбинированных методов поиска оптимальных программ управления показал, что исследователи стараются подчинить соответствующие процесс некоторой логике, отражающей особенности функционирования каждого конкретного сложного динамического объекта и создать специализированный алгоритм поиска оптимальных решений заданного класса прикладных задач. Вместе с тем успех решения задач синтеза оптимального управления функционированием и модернизации КИС, как показывают выполненные исследования, обусловлен, прежде всего, глубоким «проникновением» в предметную область, что накладывает ограничения на использование классических алгоритмов.

### **3.3. Алгоритм решения задачи комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы на основе комбинированного использования методов последовательных приближений и многокритериальной оптимизации**

Результаты предыдущих исследований показывают, что: «разрабатываемые с помощью традиционных моделей, методов и алгоритмов скоординированные программы управления параллельным функционированием и модернизацией КИС не являются лучшими по срокам выполнения работ и использованию всех видов ресурсов» [110].

Такие планы, как правило, должны быть оптимизированы. Вместе с тем это достаточно трудоемкий процесс, который требует привлечения различных видов ресурсов (материальных, организационно-технических и т.д.). На данном этапе, безусловно, необходимо учитывать большое количество факторов, прямо или косвенно влияющих на принятие решения о выборе программы функционирования и модернизации КИС, которая будет наилучшей с точки зрения ЛПР и ЛОР. Анализ исследований, посвященных представленным проблемам, показал, что: «подобные задачи сложны для понимания человека и в тоже время их нельзя полностью доверить ЭВМ. Известно, что персоналу, эксплуатирующему современные КИС, обычно предоставляется только смысловая информация о состояниях некоторых элементов и подсистем СТО, а не всеобъемлющая информация об объекте контроля в целом. Указанные обстоятельства приводят к тому, что обобщенное оценивание состояния элементов и формирование необходимых управляющих воздействий осуществляется операторами в основном вручную на базе тех или иных эвристических правил» [46,100,181].

Проведенный в диссертации анализ позволил выявить, что при оценивании вариантов проведения модернизации КИС остро встают следующие задачи: *оперативного* извлечения и интерпретации количественных и качественных (неизмеряемых, вербальных) данных; *хранение и повторное использование*

результатов, полученных на предыдущих этапах; учет *многокритериальности* и нелинейности оценок экспертов [17,18]. Приоритеты (веса) показателей качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС изменчивы во времени (приоритеты меняются в зависимости от невязки между текущим и требуемым многоструктурным состоянием управляемым объектом (КИС) и альтернативными технологиями проактивного управления им).

Исходя из вышеизложенного и анализа ряда работ посвященных решению задач теории расписаний, можно сказать: «при оценивании комплексных планов функционирования и модернизации КИС целесообразно базироваться на выводах экспертов, полученных на основе обработки *нечетких данных и информации* с использованием *нечетких* правил, которые позволят решать соответствующие неструктурированные и слабоструктурированные многокритериальные задачи» [17,18,46,101,127,186].

Помимо этого, анализ результатов предыдущих исследований говорит о том, что оценивание и оптимизация комплексных планов функционирования и модернизации КИС с использованием 5 и более индикаторов (показателей качества планирования) затрудняет анализ и интерпретацию разрабатываемых программ управляющих воздействий. Кроме того, длительный диалоговый режим общения пользователя с существующими ИИСПП негативно сказывается на оперативности принятия решений [110].

Следовательно, не только получение экспертных оценок («извлечение» знаний), но и их *формализация* и *использование* должно быть *автоматизировано*. В диссертации предлагается разработать автоматизированную многокритериальную процедуру оценивания и оптимизации комплексных планов функционирования и модернизации КИС.

В работе применяется, разработанный в работах [127,185] *нечетко-возможностный подход*, который нашел широкое применение при оценивании и оптимизации процессов функционирования, протекающих в СТО. Наиболее предпочтительно его использование в ситуациях когда:

- а) необходимо оперативно представить в аналитическом виде выражение, которое будет использовано для нахождения количественной характеристики свойств рассматриваемого СТО, в нашем случае КИС;
- б) факторное пространство состоит преимущественно из качественных, неизмеримых или сложно интерпретируемых переменных;
- в) количество рассматриваемых элементов факторного пространства находится в пределах  $5 \pm 2$  [127,185].

Далее описаны основные шаги алгоритма многокритериального оценивания комплексных планов функционирования и модернизации КИС, основанном на элементах нечетко-возможностного подхода. Подробно с ним можно ознакомиться в работах [181-183,185,186].

Пусть план перевода КИС из текущего в заданное структурное состояние (программа проведения инфраструктурного проекта) оценивается набором показателей качества вида: « $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ , каждый из которых является лингвистической переменной.  $F_i =$  «стоимостные затраты, связанные с простоем КИС по любым причинам». Пусть данный показатель может принимать значения из множества простых и составных термов  $T(F_i) = \{\text{«высокие»}, \text{«выше среднего»}, \text{«средние»}, \text{«ниже среднего»}, \text{«низкие»}\}$ . Для качественной интерпретации результирующего показателя применяется переменная «качество плана проведения работ», которая может принимать значения  $T(F_{res}) = \{\text{«низкое»}, \text{«ниже среднего»}, \text{«среднее»}, \text{«выше среднего»}, \text{«высокое»}\}$ » [49,181]. В самом общем виде знания ЛПР, о взаимосвязи частных показателей качества  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$  с результирующим показателем  $F_{res}$  можно представить продукционными моделями следующего вида:

$$P_j: \langle \text{IF } F_1 = A_{1j} \text{ and } \dots \text{ and } F_m = A_{mj}, \text{ THEN } F_{res} = A_{jres} \rangle, A_{ij} \in T(F_i), A_{jres} \in T(F_{res}), \quad (3.10)$$

где  $A_{ij}, A_{jres}$  являются термами соответствующих лингвистических переменных. В качестве общей шкалы по отношению ко всем значениям показателей используется биполярная шкала  $[-1, +1]$ , а термы можно задать с помощью нечетких чисел (L-R) типа (см. рисунок 18).

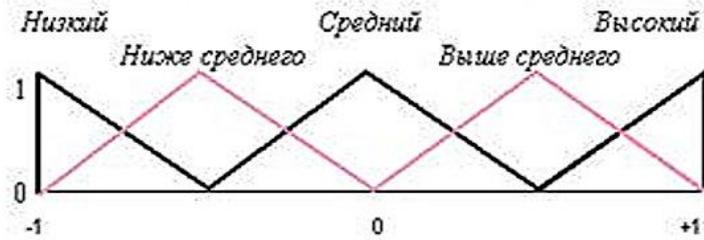


Рисунок 18. Термы лингвистической переменной в шкале  $[-1, +1]$

В соответствии с методом решения задач многокритериального оценивания, предложенным в работе [46,45,49,185]: «крайние («минимальные» и «максимальные») значения лингвистической переменной  $F_i$  шкалы маркируют «-1» и «+1», а для построения результирующего показателя  $F_{res}$ , согласно положениям теории планирования эксперимента, формируют ортогональный план экспертного опроса, элементами которого являются крайние маркированные значения частных показателей эффективности  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ . Пример ортогонального плана экспертного опроса для трех частных показателей эффективности показан в таблице 1».

Таблица 1 – Ортогональный план экспертного опроса

| $F_0$       | $F_1$       | $F_2$       | $F_3$       | $F_1F_2$       | $F_1F_3$       | $F_2F_3$       | $F_1F_2F_3$     | $F_{res}$  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------|
| 1           | -1          | -1          | -1          | 1              | 1              | 1              | -1              | $A_{1res}$ |
| 1           | 1           | -1          | -1          | -1             | -1             | 1              | 1               | $A_{2res}$ |
| 1           | -1          | 1           | -1          | -1             | 1              | -1             | 1               | $A_{1res}$ |
| 1           | 1           | 1           | -1          | 1              | -1             | -1             | -1              | $A_{3res}$ |
| 1           | -1          | -1          | 1           | 1              | -1             | -1             | 1               | $A_{2res}$ |
| 1           | 1           | -1          | 1           | -1             | 1              | -1             | -1              | $A_{4res}$ |
| 1           | -1          | 1           | 1           | -1             | -1             | 1              | -1              | $A_{3res}$ |
| 1           | 1           | 1           | 1           | 1              | 1              | 1              | 1               | $A_{5res}$ |
| $\lambda_0$ | $\lambda_1$ | $\lambda_2$ | $\lambda_3$ | $\lambda_{12}$ | $\lambda_{13}$ | $\lambda_{23}$ | $\lambda_{123}$ |            |

В таблице 2 значения термов лингвистической переменной  $F_{res}$  результирующего показателя могут быть представлены нечеткими треугольными числами (рисунок 19). Тогда, например, во второй строке таблицы представлено

следующее суждение эксперта: «если показатель  $F_1$  имеет значение “высокий”, показатель  $F_2$  – значение “низкий”, показатель  $F_3$  – “низкий”, то результирующий показатель  $F_{res}$  оценивается как “ниже среднего”».

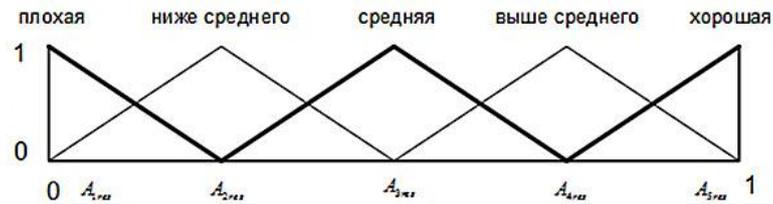


Рисунок 19. Шкала результирующего показателя

Приведем пример расчета коэффициентов результирующего показателя (нечетко-возможностный полинома):

$$F_{res} = \lambda_0 + \sum_{i=1}^m \lambda_i F_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} F_i F_j + \dots + \lambda_{12\dots m} F_1 F_2 \dots F_m + \varepsilon. \quad (3.11)$$

Показатели учитывают влияние как отдельно взятых частных показателей, так и совокупностей по два, три и более. Расчет осуществляется по правилам, принятым в теории планирования эксперимента: «для этого вычисляются усредненные скалярные произведения соответствующих столбцов ортогональной матрицы (см. таблица 1) на вектор значений результирующего показателя качества» [124,181]. Так значение коэффициента  $\lambda_2$  вычисляется следующим образом:

$$\lambda_2 = \frac{-A_{1res} - A_{2res} + A_{1res} + A_{3res} - A_{2res} - A_{4res} + A_{3res} + A_{5res}}{8}. \quad (3.12)$$

В таблице 2 представлен план экспертного опроса. Интерпретация показателей может быть следующая:  $J_1$  – показатель, оценивающий оперативность проведения работ;  $J_2$  – показатель, оценивающий вклад выполненного комплекса операций в себестоимость продукции (услуг) на этапе параллельного функционирования и модернизации КИС;  $J_3$  – показатель, характеризующий штраф

за нарушение заданных директивных сроков выполнения операций или полнота операций.

Ниже описан возможный вариант формулировки вопроса ЛПР или эксперту. «Уважаемый эксперт, скажите, пожалуйста, как Вы оцениваете качество комплексного плана функционирования и модернизации КИС, если оперативность реализации БП *низкая*, вклад выполненных операций в себестоимость продукции (услуги) *большой*, БП выполнены *в полном объеме*?». Возможный ответ эксперта: «Ниже среднего» (см. в табл. 2 № 3). Ниже представлена таблица 2 с планом опроса эксперта по трем показателям и возможными ответами.

Таблица 2 – Пример экспертного опроса

| № | $J_1$   | $J_2$       | $J_3$              | Оценка эксперта      |
|---|---------|-------------|--------------------|----------------------|
| 1 | Низкая  | Минимальный | В полном объеме    | <b>Плохая</b>        |
| 2 | Высокая | Минимальный | В полном объеме    | <b>Средне</b>        |
| 3 | Низкая  | Большой     | В полном объеме    | <b>Ниже среднего</b> |
| 4 | Высокая | Большой     | В полном объеме    | <b>Средне</b>        |
| 5 | Низкая  | Минимальный | Не в полном объеме | <b>Ниже среднего</b> |
| 6 | Высокая | Минимальный | Не в полном объеме | <b>Выше среднего</b> |
| 7 | Низкая  | Большой     | Не в полном объеме | <b>Средне</b>        |
| 8 | Высокая | Большой     | Не в полном объеме | <b>Высоко</b>        |

Применение алгоритма многокритериального оценивания разрабатываемых комплексных программ реализации инфраструктурного проекта позволяет формализовать извлеченные «явные» и «неявные» экспертные знания в виде результирующего, а далее обобщенного показателя качества плана функционирования и модернизации КИС. Полученная на данном этапе конкретизация выражения вида (3.11) позволяет в последующем без повторного обращения к экспертам проводить оценивание множества разрабатываемых программ проведения «бесшовной» модернизации и функционирования КИС.

Разработанный в диссертации комбинированный алгоритм динамического многокритериального оценивания качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС, а также выбора из них наиболее предпочтительных базируется на нечетко-возможностном подходе и алгоритме решения задач оптимального программного управления сложными объектами, основанном на методе последовательных приближений Крылова-Черноузько. Далее представлены его основные шаги [181,182]:

*Шаг 1.* Выполняется опрос экспертов предметной области и ЛПР.

*Шаг 1.1.* Формируются шкалы (лингвистические) для каждого частного показателя, который оценивает качество комплексного плана функционирования и модернизации КИС. Далее проводится процедура перевода частных показателей в шкалу  $[-1, +1]$  (см. рис. 19.).

*Шаг 1.2.* На основе построенного ортогонального плана проводится опрос экспертов (ответы на вопросы формируются в виде продукционных правил) (см. табл. 3).

*Шаг 1.3.* Формирование нечетко-возможностного полинома (формализированных знаний экспертов), который в дальнейшем используется как обобщенный показатель качества [46].

*Шаг 1.4.* Уточнение исходной задачи и приведение интегральных показателей качества логико-динамических моделей программного управления к терминальному виду для каждого уровня иерархий СТО. Представленный шаг влияет на условия трансверсальности, вид сопряженных переменных и функций Гамильтона. Особенности алгоритмической реализации описаны в параграфе 3.4.

*Шаг 2.* Задается диспетчерское решение  $\mathbf{u}_{\sigma}^{(disp)}(t)$ ,  $t \in (t_0, t_f]$ . Подобный план также называют допустимым, т.к. он удовлетворяет всем ограничениям, наложенным на вектор управления. В качестве  $\mathbf{u}^{(disp)}(t)$  используется эвристический принцип FIFO.

*Шаг 3.* Проводится интегрирование основной системы уравнений (1.4)–(1.9) с начальными  $\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}^{(disp)}(t)$  условиями (3.1) от начального до конечного момента времени. Результатом является  $\mathbf{x}(t)$ ,  $\forall t \in (t_0, t_f]$  и значения констант обобщенного показателя качества программного управления  $J_0^{(dis)} = J^{(opt)}$  в конечный момент времени. Значения переменных принимаем за рекорд; происходит расчет условий трансверсальности.

*Шаг 4.* Интегрирование сопряженной системы уравнений с начальными условиями, определенными в результате расчета условий трансверсальности и  $\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}^{(disp)}(t)$  от конечного до начального момента времени. В начальный момент времени вычисляется первое приближение начальных условий для сопряженной системы уравнений вида  $-\Psi_i^{(opt)}(t_0)$ . На этом заканчивается итерация с номером «нулевая» итерация ( $r$ ).

*Шаг 5.* Далее, от начального момента времени к конечному моменту времени происходит поиск нового управления  $\mathbf{u}^{(r+1)}(t)$  ( $r = 0, 1, 2, \dots$  – номер итерации). «Функция Гамильтона (Гамильтониан) на данном этапе должна принимать максимальное (экстремальное) значение, (с учетом ограничений, которые наложены на управление  $\mathbf{u}(t)$ ). Одновременно с максимизацией Гамильтониана интегрируется основная и сопряженная системы уравнений. Важно отметить, что в каждый момент времени происходит параллельное решение нескольких классов задач математического программирования: «при максимизации соответствующих частных функций Гамильтона (частных Гамильтонианов) для каждой модели может решаться задача о назначениях, задача линейного программирования с бивалентными переменными; задачи линейного программирования; задачи с двухсторонними ограничениями» [59,126,182].

*Шаг 6.* Осуществляется проверка условия:

$$|J_0^{(r)}(t_f) - J_0^{(r-1)}(t_f)| < \varepsilon_1, \quad (3.72)$$

где  $\varepsilon_1$  – заданная точность.

Если условие выполняется, то управление найдено. Происходит выдача  $\mathbf{u}^*(t), \Psi^*(t), J^{(\text{opt})}$ . Если данное условие не выполняется, то переход на **шаг 3** и повторение соответствующих шагов обобщенного алгоритма.

*Шаг 7.* Выход из алгоритма, т.е. окончание итерационного процесса поиска (выбора) оптимального комплексного плана функционирования и модернизации КИС, заканчивается в том случае, когда после окончания интегрирования на шаге 4 выполняется условия:

$$|J_0^{(r)}(t_f) - J_0^{(r-1)}(t_f)| < \varepsilon_1, \quad (3.73)$$

где  $\varepsilon_1$  – заданная величина,  $r = 0, 1, \dots$ . В противоположном случае возврат к **шагу 4** и т.д.

### **3.4. Методика динамического оценивания качества комплексных планов функционирования и модернизации корпоративной информационной системы**

Традиционно оценивание и выбор из множества альтернатив наилучшей программы (оптимизации) перевода КИС из заданного в требуемое структурное состояние происходит на конечной стадии разработки комплексного плана функционирования и модернизации КИС. Значимость показателей качества планов проведения инфраструктурного проекта определяется с помощью весовых коэффициентов, сформированных на основе *эвристических* процедур, а экспертные знания на этапе *синтеза* программ управления КИС не учитываются. Таким образом, существующие методы оптимизации управляющих воздействий, направленные на поиск скоординированных программ функционирования и модернизации элементов и подсистем КИС, не могут с требуемой полнотой и обоснованностью отразить на доступном для ЛПР уровне абстракции множество

взаимосвязей показателей качества комплексных планов, выраженные продукционными правилами вида: «ЕСЛИ, ТО».

Используемые сегодня трудоемкие процедуры проведения экспертных опросов в ИСППР существенно снижают мотивацию специалистов участвовать в принятии решений, т.к. на данной стадии нередко возникает множество проблем. ЛПР необходимо отвечать на широкий спектр вопросов и выставлять «безликие» веса индикаторам (показателям) качества, которые имеют сложную для понимания природу и т.д. Для устранения данного недостатка в диссертация была разработана методика динамического многокритериального оценивания комплексных планов функционирования и модернизации КИС (в основу которой положен разработанный комбинированный алгоритм, представленный ранее в параграфе 3.3). Ее можно разделить на *два* основных этапа [181]:

- а) формирование результирующего показателя качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС для каждого уровня СТО (управления БП; управления функционированием и модернизацией информационных сервисов КИС; управления модернизацией ИР).
- б) изменение вида введенных в параграфах 2.1.-2.3. логико-динамических моделей программного управления: модели БП, происходящих в СТО; модели функционирования и модернизации сервисов КИС; модели модернизации ресурсов КИС. Интегральные показатели качества вида (2.7, 2.8, 2.22, 2.23, 2.33, 2.34), согласно разрабатываемому в диссертационной работе подходу, должны быть приведены к терминальному виду, что влияет на вид основной системы уравнений, Гамильтониана, сопряженной системы, условий трансверсальности и позволяет интегрировать знания экспертов в процесс поиска оптимальной программы проведения инфраструктурного проекта.

Второй этап имеет ряд особенностей, связанных с формированием показателей качества для каждой уровня иерархий СТО. Далее представим

изменения, которые были внесены для применения разработанного в диссертации подхода.

*Уточненная* математическая модель программного управления БП, проводимыми в  $B_j$  подсистеме СТО имеет следующий вид:

$$\frac{d\tilde{x}_{vl}^{(b,j)}}{dt} = 1; \quad (3.1)$$

$$\frac{dx_{vl}^{(b,j)}}{dt} = \sum_{n=1}^{m_j} r_{vln}(t) u_{vln}^{(b,j)}(t), j = 1, \dots, q; \quad (3.2)$$

$$\frac{d\tilde{x}_{vl}^{(b,j)}}{dt} = \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} c_{vln}^{(b,j)}(t) u_{vln}^{(b,j)}(t), j = 1, \dots, q. \quad (3.3)$$

Ограничения на управляющие воздействия:

$$\sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_j} u_{vln}^{(b,j)} \leq g_n^{(b,j)}, \forall n; \sum_{n=1}^{m_j} u_{vln}^{(b,j)} \leq s_l^{(b)}, \forall v, \forall l; \quad (3.4)$$

$$\sum_{n=1}^{m_j} u_{vln}^{(b,j)} \left[ \sum_{\alpha \in G_a} (a_{v\alpha}^{(b,j)} - x_{v\alpha}^{(b,j)}) + \sum_{b \in G_b} (a_{\beta}^{(s,l)} - x_{\beta}^{(s,l)}) \right] = 0, \forall v; \quad (3.5)$$

$$u_{vln}^{(b,j)}(t) \in \{0, 1\}. \quad (3.6)$$

*Уточненные* краевые условия:

$$\text{для } t = t_0 : x_{vl}^{(b,j)}(t_0) = \tilde{x}_{vl}^{(b,j)}(t_0) = \tilde{\tilde{x}}_{vl}^{(b,j)}(t_0) = 0; \quad (3.7)$$

$$\text{для } t = t_f : x_{vl}^{(b,j)}(t_f) = a_{vl}^{(b,j)}; \tilde{x}_{vl}^{(b,j)}(t_f), \tilde{\tilde{x}}_{vl}^{(b,j)}(t_f) \in \mathbf{R}^1, \forall v, \forall l. \quad (3.8)$$

*Уточненные* показатели качества программного управления БП:

$$* J_1 = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} (\tilde{\tilde{x}}_{vln}^{(b,j)}(t_f))^2; \quad (3.9)$$

$$* J_2 = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} (\tilde{x}_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2; \quad (3.10)$$

$$* J_3 = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} (a_{vl}^{(b,j)} - x_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2; \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned}
J_{res}^{(b,j)} = & \frac{\lambda_1^{(1)}}{2} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} (\tilde{x}_{vln}^{(b,j)}(t_f))^2 + \frac{\lambda_2^{(1)}}{2} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} (\tilde{\tilde{x}}_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2 + \frac{\lambda_3^{(1)}}{2} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} (a_{vl}^{(b,j)} - x_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2 + \\
& + \frac{\lambda_{12}^{(1)}}{4} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \left[ (\tilde{x}_{vln}^{(b,j)}(t_f))^2 (\tilde{\tilde{x}}_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2 \right] + \frac{\lambda_{13}^{(1)}}{4} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} \left[ (\tilde{x}_{vln}^{(b,j)}(t_f))^2 (a_{vl}^{(b,j)} - x_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2 \right] + \quad (3.12) \\
& + \frac{\lambda_{23}^{(1)}}{4} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} \left[ (\tilde{\tilde{x}}_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2 (a_{vl}^{(b,j)} - x_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2 \right] + \\
& + \frac{\lambda_{123}^{(1)}}{8} \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \left[ (\tilde{x}_{vln}^{(b,j)}(t_f))^2 (\tilde{\tilde{x}}_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2 (a_{vl}^{(b,j)} - x_{vl}^{(b,j)}(t_f))^2 \right].
\end{aligned}$$

Выражения отмеченные (\*) приведены для демонстрации изменений показателей качества, которые потребовались в связи с преобразованием функционалов к терминальному виду, который соответствует задачам оптимального управления с терминальными показателями качества Майера. Для дальнейших расчетов используется обобщенный нечетко-возможностный показатель вида (3.12), сформированный с помощью представленных ранее алгоритма и методики.

При этом коэффициенты  $\lambda_1^{(1)}, \lambda_2^{(1)}, \lambda_3^{(1)}, \lambda_{12}^{(1)}, \lambda_{13}^{(1)}, \lambda_{23}^{(1)}, \lambda_{123}^{(1)}$  обобщенного показателя, получены в результате экспертного опроса и представляют веса частных показателей управления, которые отражают нелинейные причинно-следственные связи между ними, что отличает их от аналогичных, но полученных с помощью использования традиционного коэффициентного подхода к формированию линейных сверток в задачах многокритериальной оптимизации. Верхний индекс «1» указывает на модель программного управления БП.

После того как были внесены изменения в модель БП, в соответствии с методом локальных сечений В.Г. Болтянского (см. параграф 3.1), следует сформировать Гамильтониан, сопряженную систему и условия трансверсальности.

Гамильтониан для модели программного управления БП имеет следующий вид:

$$H_1 = \sum_{v=1}^{o_j} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \left[ \left( r_{vln}^{(b,j)} \psi_{vl}^{(b,j)} + \tilde{\psi}_{vl}^{(b,j)} c_{vln}^{(b,j)} \right) u_{vln}^{(b,j)} + \tilde{\psi}_{vl}^{(b,j)} \right]. \quad (3.13)$$

Сопряженная система может быть представлена следующим образом:

$$\dot{\psi}_{vl}^{(b,j)} = - \left\{ \sum_{n=1}^{m_j} r_{v(l+1)n}^{(b,j)} \psi_{(l+1)n}^{(b,j)} + \tilde{\psi}_{v(l+1)}^{(b,j)} c_{vln}^{(b,j)} \right\} u_{v(l+1)n}^{(b,j)} - \sum_{n=1}^{m_j} \psi_{ln}^{(b,j)} u_{vln}^{(b,j)} - \sum_{r=1}^{p_s} \psi_{(n+1)r}^{(s,l)} u_{(n+1)r}^{(s,l)}; \quad (3.14)$$

$$\dot{\tilde{\psi}}_{vl}^{(b,j)} = 0; \quad (3.15)$$

$$\dot{\tilde{\tilde{\psi}}}_{vl}^{(b,j)} = 0. \quad (3.16)$$

Условия трансверсальности имеют следующий вид:

$$\psi_{vl}^{(b,j)}(t_f) = - \frac{dJ_{res}^{(b,j)}}{dx_{vl}^{(b,j)}}; \quad (3.17)$$

$$\tilde{\psi}_{vl}^{(b,j)}(t_f) = - \frac{dJ_{res}^{(b,j)}}{d\tilde{x}_{vl}^{(b,j)}}; \quad (3.18)$$

$$\tilde{\tilde{\psi}}_{vl}^{(b,j)}(t_f) = - \frac{dJ_{res}^{(b,j)}}{d\tilde{\tilde{x}}_{vl}^{(b,j)}}. \quad (3.19)$$

Далее представим изменения, внесенные в динамическую модель функционирования и модернизации сервисов КИС, а именно в основную систему уравнений, краевые условия, показатели качества.

*Уточненная* математическая модель программного управления функционированием КИС, учитывающая этап модернизации ИР, имеет следующий вид:

$$\frac{dx_n^{(s,l)}}{dt} = \sum_{r=1}^{p_s} u_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (3.20)$$

$$\frac{dx_r^{(s,l)}}{dt} = \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (3.21)$$

$$\frac{dx_{rS_i}^{(s,l)}}{dt} = \omega_{rS_i}^{(s,l)}(t); \quad (3.22)$$

$$\frac{d\tilde{x}_{nr}^{(s,l)}}{dt} = \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} \left[ \delta_{nr}^{(s,l)}(t) \cdot w_{nr}^{(s,l)}(t) \right]; \quad (3.23)$$

$$\frac{d\tilde{\tilde{x}}_{nr}^{(s,l)}}{dt} = \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{p_s} \sum_{r=1}^{m_j} \left[ c_{nr}^{(s,l)}(t) \cdot w_{nr}^{(s,l)}(t) \right]. \quad (3.24)$$

Ограничения на управляющие воздействия:

$$0 \leq u_{nr}^{(s,l)}(t) \leq [e_{nr}^{(j)}(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t)) + \bar{e}_{nr}^{(j)}\gamma_r^{(m,\delta)}(t)]w_{nr}^{(s,l)}; \quad (3.25)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} V_n^{(s,l)} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq [V_r^{(j)}(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t)) + \bar{V}_r^{(j)}\gamma_r^{(m,\delta)}(t)]; \quad (3.26)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} u_{nr}^{(s,l)}(t) \leq [P_r^{(j)}(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t)) + \bar{P}_r^{(j)}\gamma_r^{(m,\delta)}(t)]; \quad (3.27)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)} \left[ \sum_{\pi \in G_c} (a_\pi^{(s,l)} - x_\pi^{(s,l)}) + \sum_{k \in G_c} (a_k^{(m,r)} - x_k^{(m,r)}) \right] = 0, \forall l; \quad (3.28)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \varepsilon_n, \forall n; \quad \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \theta_r, \forall r; \quad (3.29)$$

$$\omega_{rS_i}^{(s,l)}(a_{S_i}^{(s,l)} - x_{S_i}^{(s,l)}) = 0; \quad (3.30)$$

$$w_{nr}^{(s,l)} \in \{0, u_{vln}^{(b,j)}\}; \gamma_r^{(m,\delta)}(t), \omega_{rS_i}^{(s,l)} \in \{0, 1\}. \quad (3.31)$$

Краевые условия:

$$\text{для } t = t_0 : x_n^{(s,b)}(t_0) = x_r^{(s,l)}(t_0) = \tilde{x}_{nr}^{(s,l)}(t_0) = \tilde{\tilde{x}}_{nr}^{(s,l)}(t_0^{(j)}) = x_{rS_i}^{(s,l)}(t_0) = 0; \quad (3.32)$$

$$\text{для } t = t_f : x_n^{(s,l)}(t_f) = a_n^{(s,l)}; x_r^{(s,l)}(t_f), \tilde{x}_{nr}^{(s,l)}(t_f), \tilde{\tilde{x}}_{nr}^{(s,l)}(t_f), x_{rS_i}^{(s,l)}(t_f) \in \mathbf{R}^1. \quad (3.33)$$

Уточненные показатели качества программного управления функционированием и модернизацией сервисов КИС:

$$* J_4 = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} (\tilde{x}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2; \quad (3.34)$$

$$* J_5 = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} (\tilde{\tilde{x}}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2; \quad (3.35)$$

$$* J_6 = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} (a_n^{(s,l)} - x_n^{(s,l)}(t_f))^2; \quad (3.36)$$

$$\begin{aligned}
J_{res}^{(s,l)} = & \frac{\lambda_1^{(2)}}{2} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} (\tilde{x}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2 + \frac{\lambda_2^{(2)}}{2} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} (\tilde{\tilde{x}}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2 + \\
& + \frac{\lambda_3^{(2)}}{2} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} (a_n^{(s,l)} - x_n^{(s,l)}(t_f))^2 + \frac{\lambda_{12}^{(2)}}{4} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} \left[ (\tilde{x}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2 (\tilde{\tilde{x}}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2 \right] + \\
& + \frac{\lambda_{13}^{(2)}}{4} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} \left[ (\tilde{x}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2 (a_n^{(s,l)} - x_n^{(s,l)}(t_f))^2 \right] + \\
& + \frac{\lambda_{23}^{(2)}}{4} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} \left[ (\tilde{\tilde{x}}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2 (a_n^{(s,l)} - x_n^{(s,l)}(t_f))^2 \right] + \\
& + \frac{\lambda_{123}^{(2)}}{8} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} \left[ (\tilde{x}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2 (\tilde{\tilde{x}}_{nr}^{(s,l)}(t_f))^2 (a_n^{(s,l)} - x_n^{(s,l)}(t_f))^2 \right].
\end{aligned} \tag{3.37}$$

Выражения, имеющие в своем составе символ (\*), приведены для демонстрации изменений показателей качества. Для дальнейших расчетов применяется многокритериальный нечетко-возможностный показатель вида (3.37).

Коэффициенты  $\lambda_1^{(2)}, \lambda_2^{(2)}, \lambda_3^{(2)}, \lambda_{12}^{(2)}, \lambda_{13}^{(2)}, \lambda_{23}^{(2)}, \lambda_{123}^{(2)}$  обобщенного показателя, имеют аналогичную интерпретацию, но для уровня управления сервисами КИС. Верхний индекс обозначает принадлежность к страте полимодельного комплекса, где «2» – указывает на модель программного управления сервисами КИС (см. 3.37).

Гамильтониан для модели программного управления функционированием и модернизацией сервисов КИС имеет следующий вид:

$$H_2 = \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} \left[ (\psi_r^{(s,l)} + \tilde{\psi}_{nr}^{(s,l)} \delta_{nr}^{(s,l)} + \tilde{\tilde{\psi}}_{nr}^{(s,l)} c_{nr}^{(s,l)}) w_{nr}^{(s,l)} + \psi_n^{(s,l)} u_{nr}^{(s,l)} \right]. \tag{3.38}$$

Сопряженная система:

$$\dot{\psi}_n^{(s,l)} = - \sum_{r=1}^{p_s} \left[ \psi_{(n+1)r}^{(s,l)} u_{(n+1)r}^{(s,l)} + \psi_n^{(s,l)} u_{nr}^{(s,l)} \right]; \tag{3.39}$$

$$\dot{\tilde{\psi}}_{nr}^{(s,l)} = - \sum_{c=1}^{p_s^{(r)}} \psi_{(\delta+1)c}^{(m,r)} \gamma_{(\delta+1)c}^{(m,r)}; \tag{3.40}$$

$$\dot{\tilde{\tilde{\psi}}}_{nr}^{(s,l)} = 0; \tag{3.41}$$

$$\dot{\tilde{\tilde{\tilde{\psi}}}}_{nr}^{(s,l)} = 0; \tag{3.42}$$

$$\dot{\psi}_{rS_l}^{(s,l)} = - \tilde{\psi}_{rS_l}^{(s,l)} \omega_{rS_l}^{(s,l)}; \tag{3.43}$$

$$\frac{d\tilde{\psi}_{rS_l}^{(s,l)}}{dt} = 0. \quad (3.44)$$

Условия трансверсальности:

$$\psi_n^{(s,l)}(t_f) = -\frac{dJ_{res}^{(s,l)}}{dx_n^{(s,l)}}; \quad (3.45)$$

$$\psi_{nr}^{(s,l)}(t_f) = -\frac{dJ_{res}^{(s,l)}}{dx_r^{(s,l)}}; \quad (3.46)$$

$$\tilde{\psi}_{nr}^{(s,l)}(t_f) = -\frac{dJ_{res}^{(s,l)}}{d\tilde{x}_{nr}^{(s,l)}}; \quad (3.47)$$

$$\tilde{\tilde{\psi}}_{nr}^{(s,l)}(t_f) = -\frac{dJ_{res}^{(s,l)}}{d\tilde{\tilde{x}}_{nr}^{(s,l)}}; \quad (3.48)$$

$$\tilde{\psi}_{rS_l}^{(s,l)}(t_f) = 1. \quad (3.49)$$

Уточненная математическая модель программного управления модернизацией ИР КИС (реализации инфраструктурного проекта) имеет следующий вид:

$$\frac{dx_{\delta}^{(m,r)}}{dt} = \sum_{\delta=1}^{\Delta_j} \pi_{\delta c}^{(m,r)}(t) \gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t), \forall c, c = 1, \dots, P_j^{(r)}; \quad (3.50)$$

$$\frac{dx_r^{(m,\delta)}}{dt} = \gamma_r^{(m,\delta)}(t); \quad (3.51)$$

$$\frac{d\tilde{x}_{\delta}^{(m,r)}}{dt} = 1; \quad (3.52)$$

$$\frac{d\tilde{\tilde{x}}_{\delta}^{(m,r)}}{dt} = \sum_{r=1}^{P_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta_j} \sum_{c=1}^{P_j^{(r)}} [c_{\delta c}^{(m,r)}(t) \gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t)], \forall c, c = 1, \dots, P_j^{(r)}. \quad (3.53)$$

Ограничения на управляющие воздействия:

$$\sum_{r=1}^{P_s} \gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t) \leq q_{\delta j}^{(m,r)}, \forall \delta, \forall c; \quad (3.54)$$

$$\sum_{\delta=1}^{\Delta_j} \gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t) \leq h_c^{(m,r)}, \forall c, c = 1, \dots, P_j^{(r)}; \quad (3.55)$$

$$\sum_{c=1}^{P_j^{(r)}} \gamma_{\delta c}^{(m,r)}(a_{(\delta-1)}^{(m,r)} - x_{(\delta-1)}^{(m,r)}) = 0; \quad (3.56)$$

$$\gamma_r^{(m,\delta)}(a_{rP_j}^{(m,\delta)} - x_{rP_j}^{(m,\delta)}) = 0; \quad (3.57)$$

$$\gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t), \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \in \{0, 1\}. \quad (3.58)$$

Краевые условия:

$$\text{для } t = t_0^{(j)} : x_{\delta}^{(m,r)}(t_0) = x_r^{(m,\delta)}(t_0) = \tilde{x}_{\delta}^{(m,r)}(t_0) = \tilde{\tilde{x}}_{\delta}^{(m,r)}(t_0) = 0; \quad (3.59)$$

$$\text{для } t = t_f^{(j)} : x_{\delta}^{(m,r)}(t_f) = a_{\delta c}^{(m,r)}; x_r^{(m,\delta)}(t_f), \tilde{x}_{\delta}^{(m,r)}(t_f), \tilde{\tilde{x}}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \in \mathbf{R}^1. \quad (3.60)$$

*Измененные* показатели качества программного управления процессами модернизации ресурсов КИС:

$$*J_7 = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta j} \left( \tilde{x}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2; \quad (3.61)$$

$$*J_8 = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta j} \left( \tilde{\tilde{x}}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2; \quad (3.62)$$

$$*J_9 = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta \delta} \sum_{c=1}^{P_j^{(r)}} \left[ \Gamma - \left( x_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \left( \gamma_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \right]^2. \quad (3.63)$$

$$\begin{aligned} J_{res}^{(m,r)} = & \frac{\lambda_1^{(3)}}{2} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta \delta} \left( \tilde{x}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2 + \frac{\lambda_2^{(3)}}{2} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta \delta} \left( \tilde{\tilde{x}}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2 + \\ & + \frac{\lambda_3^{(3)}}{2} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta \delta} \left[ \Gamma - \left( x_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \left( \gamma_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \right]^2 + \frac{\lambda_{12}^{(3)}}{4} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta \delta} \left[ \left( \tilde{x}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2 \left( \tilde{\tilde{x}}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2 \right] + \\ & + \frac{\lambda_{13}^{(3)}}{4} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta \delta} \left\{ \left( \tilde{x}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2 \left[ \Gamma - \left( x_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \left( \gamma_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \right]^2 \right\} + \\ & + \frac{\lambda_{23}^{(3)}}{4} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta \delta} \left\{ \left( \tilde{\tilde{x}}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2 \left[ \Gamma - \left( x_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \left( \gamma_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \right]^2 \right\} + \\ & + \frac{\lambda_{123}^{(3)}}{8} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta \delta} \left\{ \left( \tilde{x}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2 \left( \tilde{\tilde{x}}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) \right)^2 \left[ \Gamma - \left( x_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \left( \gamma_r^{(m,\delta)}(t_f) \right) \right]^2 \right\}. \end{aligned} \quad (3.64)$$

Выражения, имеющие в своем составе символ (\*), приведены для демонстрации изменений показателей качества. Для дальнейших расчетов применяется многокритериальный нечетко-возможностный показатель вида (3.64).

Коэффициенты  $\lambda_1^{(3)}, \lambda_2^{(3)}, \lambda_3^{(3)}, \lambda_{12}^{(3)}, \lambda_{13}^{(3)}, \lambda_{23}^{(3)}, \lambda_{123}^{(3)}$  обобщенного показателя, имеют аналогичную интерпретацию, но для уровня управления модернизацией ресурсов КИС.

Гамильтониан для модели программного управления модернизацией ресурсов КИС:

$$H_3 = \sum_{r=1}^{P_s} \sum_{\delta=1}^{\Delta_j} \sum_{c=1}^{P_j^{(r)}} \left[ \left( \psi_{\delta}^{(m,r)} \pi_{\delta c}^{(m,r)} + \tilde{\psi}_{\delta}^{(m,r)} c_{\delta c}^{(m,r)} \right) \gamma_{\delta c}^{(m,r)} + \tilde{\psi}_{\delta}^{(m,r)} + \gamma_r^{(m,\delta)} \psi_r^{(m,\delta)} \right]. \quad (3.65)$$

Сопряженная система:

$$\dot{\psi}_{\delta}^{(m,r)} = - \sum_{c=1}^{P_j^{(r)}} \left[ \psi_{(\delta+1)c}^{(m,r)} \pi_{(\delta+1)c}^{(m,r)} + \tilde{\psi}_{(\delta+1)c}^{(m,r)} c_{(\delta+1)c}^{(m,r)} \right] \gamma_{(\delta+1)c}^{(m,r)}; \quad (3.66)$$

$$\dot{\psi}_r^{(m,\delta)} = \gamma_r^{(m,\delta)} \psi_r^{(m,\delta)}; \quad (3.67)$$

$$\dot{\tilde{\psi}}_{\delta}^{(m,r)} = 0; \quad (3.68)$$

$$\dot{\tilde{\tilde{\psi}}}_{\delta}^{(m,r)} = 0. \quad (3.69)$$

Условия трансверсальности:

$$\psi_{\delta}^{(m,r)}(t_f) = - \frac{dJ_{res}^{(m,r)}}{dx_{\delta}^{(m,r)}}; \quad (3.70)$$

$$\psi_r^{(m,\delta)}(t_f) = 1; \quad (3.71)$$

$$\tilde{\psi}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) = - \frac{dJ_{res}^{(m,r)}}{d\tilde{x}_{\delta}^{(m,r)}}; \quad (3.72)$$

$$\tilde{\tilde{\psi}}_{\delta}^{(m,r)}(t_f) = - \frac{dJ_{res}^{(m,r)}}{d\tilde{\tilde{x}}_{\delta}^{(m,r)}}. \quad (3.73)$$

Таким образом, в параграфе представлена новая методика, которая позволяет использовать разработанный в диссертации комбинированный алгоритм решения задачи комплексного планирования функционирования и модернизации КИС, а также проводить оптимизацию программ инфраструктурного проекта.

## Выводы

1. Достоинством разработанного в диссертации комбинированного алгоритма, отличающего его от известных, является не только возможность учета сложности взаимосвязей показателей качества, используемых для оценивания и оптимизации комплексных планов функционирования и

модернизации КИС, но и опора на фундаментальные научные и практические результаты, полученные в теории оптимального управления сложными динамическими объектами, что позволило повысить оперативность и обоснованность синтезируемых скоординированных программ выполнения исследуемого инфраструктурного проекта.

2. Разработана методика динамического многокритериального оценивания качества и оптимизации комплексных планов функционирования и модернизации КИС. В отличие от традиционно используемых многошаговых, итерационных эвристических процедур назначения весов соответствующим критериальным функциям, веса показателей качества в рамках предложенного подхода формируются автоматически на основе предварительно проведенного экспертного опроса.

3. Опора на принципы сервис-ориентированного и нечетко-возможностного подходов позволила сократить размерность решаемой задачи комплексного планирования. Кроме того, разработанный в диссертации подход позволяет динамически оценивать и оптимизировать важнейший показатель качества разрабатываемых планов – ССВ. Этого удалось достичь благодаря использованию иерархического полимодельного логико-динамического описания предметной области и распределению введенного показателя по стратам рассматриваемого объекта, что не удавалось сделать ранее.

#### **4. Программная реализация и исследование разработанных комбинированных методов и алгоритмов комплексного планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы**

В данной главе описаны особенности разработанного в диссертации прототипа программного модуля, который предназначен для поиска и оптимизации комплексных планов скоординированного функционирования и модернизации КИС. В его основе находятся описанные ранее логико-динамические модели программного управления БП, информационными сервисами КИС и модернизацией ИР.

##### **4.1. Анализ требований и технологий создания прототипа модуля программного комплекса решения задач функционирования и модернизации корпоративной информационной системы**

Рассмотрим требования, предъявляемые к разрабатываемому модулю программного комплекса [29,30,109]:

- а) удобство и простота интерфейса;
- б) программный код должен быть информативен и легко читаем;
- в) возможность интеграции сторонних программ для решения задач математического программирования;
- г) требования к программному и аппаратному обеспечению не должны превышать уровень классических офисных приложений, например, Microsoft Office 2007.

Современные инструменты разработки предоставляют широкие возможности для создания прототипов программных комплексов, однако динамическая типизация объектов, используемая сегодня во многих популярных языках программирования (Python, Java, C#), часто является причиной многих практических проблем на этапе расширения приложений. Для создания

программного модуля решения задач комплексного планирования процессов скоординированного функционирования и модернизации КИС использован язык программирования C++. Он функционален, развит, имеет высокий уровень совместимости с рядом широко известных приложений управления проектами в различных предметных областях.

Оптимизационная часть разработанного в диссертации алгоритма синтеза программ совместного функционирования и модернизации КИС реализована с применением библиотеки MATLAB 2020, а именно для решения задач линейного и целочисленного программирования, которые возникают на этапе расчета значений Гамильтониана. Используемая математическая библиотека является мощным инструментом решения прикладных технических задач. Продукт давно зарекомендовал себя как незаменимый инструмент моделирования и оптимизации сложных процессов на многих предприятия.

Очевидно, что использование MATLAB 2020 противоречит требованиям автономности функционирования разрабатываемого прототипа программного модуля, однако широкие возможности среды позволяют оперативно решать поставленные задачи [70]. Отметим, что интерфейс, который предоставляет указанный пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений нельзя назвать «дружественным». По этой причине оптимизационный модуль прототипа задействует функции библиотеки MATLAB в «фоновом» режиме, т.е. пользователь со средой не взаимодействует.

Интегрированная среда разработки Visual Studio 2017 является основной средой разработки. Она свободно распространяется для осуществления академической и научной деятельности.

#### **4.2. Особенности программной реализации прототипа модуля программного комплекса**

В процессе проектирования прототипа программного модуля была выявлена проблема стремительного нарастания приоритетов операция, которым

соответствуют значения сопряженных переменных, зависящие от вида основной и сопряженной систем уравнений (3.50-3.53, 3.66-3.69, 3.70-3.73,), а также от условий трансверсальности. На *шаге 4* разработанного в диссертации оптимизационного алгоритма (см. параграф 3.3.), при выполнении интегрирования от конечного момента времени к начальному приоритет предыдущей работы нарастает с коэффициентом, пропорциональным приоритету последующей работы.

Подобное стремительное нарастание значений констант приводит к повышенному потреблению объема оперативной памяти ЭВМ, что потребовало использования специализированных типов данных для записи и вычисления необходимых значений.

В целях устранения данной проблемы, на программном уровне на *шаге 4* разработанного в диссертации комбинированного алгоритма (см. 3.4) применялись десятичные логарифмы указанных динамических многокритериальных приоритетов, которые позволили устранить данную программную проблему. Для расчета значений вектора сопряженной переменной  $\Psi(t_0)$  при машинной реализации разработанного алгоритма оптимизации комплексных планов функционирования и модернизации КИС была использована следующая формула:

$$\vec{\psi}_i = \log_{10}(\vec{\psi}_i + 1), \quad (4.1)$$

где константа «1» необходима для исключения отрицательных значений.

Предложенный подход был применен на программном уровне, т.к. увеличение всех значений функций Гамильтона на заданную константу не приведет к искажению процедуры выбора оптимального управляющего воздействия  $\mathbf{u}^*(t)$ .

### 4.3. Спецификация модуля программного прототипа

На стадии проектирования прототипа программного модуля была разработана его объектно-ориентированная спецификация. На рисунке 20 представлено описание структуры прототипа программного модуля.



Рисунок 20. Диаграмма взаимосвязей пакетов разработанного прототипа программного модуля решения задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС.

#### 4.4. Описание разработанного прототипа программного модуля

Прототип модуля управления модернизацией и функционированием КИС состоит из следующих основных частей [124]:

1. **Модуль реализации вычислительных алгоритмов.** Исполняет все вычислительные процедуры. На этапе расчета необходимые значения векторов и ограничений передаются в MATLAB 2020 для проведения вычислений. Модуль пользовательского интерфейса визуализации результатов – предоставляет синтезированный план в виде удобной для пользователя таблицы.
2. **Модуль пользовательского интерфейса редактора модели.** Необходим для управления исходными данными и ввода параметров системы и модернизируемых информационных ресурсов.
3. **Модуль проведения экспертного опроса.** Вспомогательный модуль. В модуль встроена процедура обращения к специальному web-сервису, который

возвращает значения весов показателей. Процедура опроса экспертов происходит на закрытом корпоративном web-ресурсе, доступ к которому предоставляется по паролю.

4. **Модуль взаимодействия с базой данных.** В модуле реализовано преобразование из внутренних структур данных программы в структуры, хранимые в базе данных.

#### **4.5. Пример использования разработанного специального модельно-алгоритмического обеспечения для поиска комплексного плана модернизации и функционирования корпоративной информационной системы складского комплекса**

Представим пример поиска комплексного плана функционирования и модернизации модуля КИС складского комплекса ООО «Хлебный Дом» (группа компаний «Fazer») с помощью разработанного в рамках диссертационной работы программного модуля. В целях подготовки к переходу на новую систему управления ЖЦ продукции руководителями отделов сбыта и развития ООО «Хлебный Дом» было принято решение о производстве обновления парка вычислительной техники и коммуникационного оборудования, которое поддерживает функционирование складской подсистемы производственного подразделения, расположенного по адресу: Санкт-Петербург, улица Ольги Форш дом 10.

Существующая система автоматизированного управления складским запасами (модуль SAP WMS) дает возможность контролировать и анализировать процессы приема и перемещения сырья, необходимого для производства хлебопекарной продукции, а также отгрузки готовых хлебопекарных изделий.

На рисунке 21 изображена схема связи БП с информационными сервисами КИС и ее ресурсами на основе сервис-ориентированного подхода.

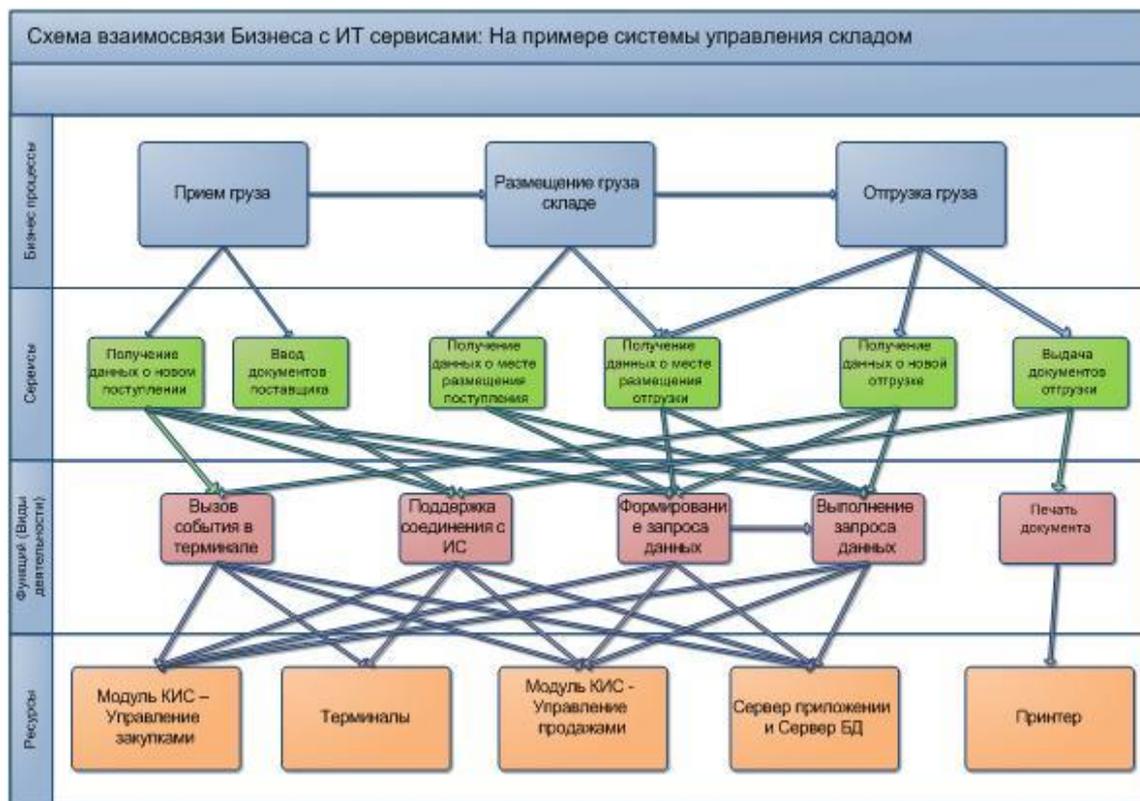


Рисунок 21. Пример возможной взаимосвязи БП, информационных сервисов и ресурсов КИС

На предприятии существует практика остановки процессов функционирования элементов и подсистем предприятия на период проведения работ по техническому обслуживанию производственного оборудования и информационных сервисов КИС, задействованных в поддержке БП. В целях снижения расходов, связанных с простоем подсистем СТО, объем хлебобулочной продукции, который необходимо произвести в рамках заданной производственной программы, распределяется по близлежащим подразделениям (производственным площадкам), что приводит к увеличению нагрузки на основные и обеспечивающие подсистемы предприятия (в т.ч. на логистическую и информационную службы).

В рамках исследования проводился поиск новых путей (комплексных планов или альтернативных сценариев) проведения модернизации ресурсов КИС, т.е. без

остановки БП. Кроме того, стояла задача повысить качество разрабатываемых комплексных планов проведения инфраструктурного проекта.

В рамках исследования рассматривалась последовательность из трех стандартизированных БП, поддерживаемых КИС. (см. рисунок 21). Предполагается, что программа функционирования и график выпуска продукции сформированы на период проведения модернизации.

Кратко опишем особенности рассматриваемых БП. Потребителями продукции компании ООО «Хлебный Дом» являются не только крупные дистрибьюторы продовольственной продукции, но и небольшие продуктовые сети и магазины (малый и средний бизнес). В договоре поставки контрагентами определен порядок *возврата продукции на производственную площадку* в случае, если она не была реализована. Это связано с тем, что утилизация хлебопекарной продукции должна происходить согласно ГОСТу 8227-56 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Укладывание, хранение и транспортирование», а также проекту Федерального закона о специальном техническом регламенте: «На хлебопекарную продукцию, процессы ее производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации». В данных документах говорится, что хлебобулочные изделия, имеющие признаки болезней и плесени, подлежат *уничтожению*. Продуктовые сети не обладают необходимыми ресурсами для реализации данной процедуры согласно указанному регламенту. Таким образом, указанная услуга, оказываемая ООО «Хлебный Дом», является одной из важнейших с точки зрения создания нематериальной ценности продукции компании.

Формирование заказа и его доставка до контрагента – это многоэтапный процесс. Перевозка хлебопекарных изделий осуществляется с помощью автомобильного транспорта. Положения заявки (заказа) хранятся в специализированных контейнерах («лотках»). На каждый «лоток» установлена RFID метка, которая хранит информацию о том какая продукция в нем находится (номенклатура и количество хлебопекарной продукции). Перед отгрузкой эксплуатационный персонал должен произвести сканирование штрих-кода позиций

заказа и метку, расположенную на «лотке» с помощью RFID-считывателя. Данные об отгрузках заносятся в реестр и хранятся на серверах базы данных.

На рисунке 22 приведен пример того, как внутренние сервисы, задействованные в оказании информационных услуг складской подсистеме предприятия, используют ресурсы КИС.

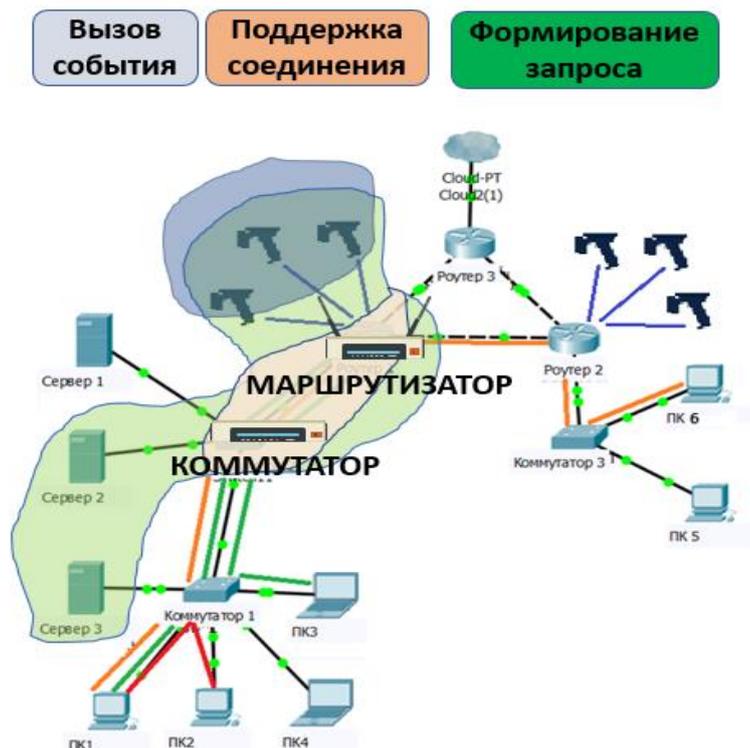


Рисунок 22. Возможная схема взаимодействия ресурсов КИС с внутренними сервисами

В рамках инфраструктурного проекта проводилась модернизация (обновление, замена) ресурсов КИС силами информационной службы предприятия, а именно: замена RFID считывателей, серверов баз данных, коммутаторов, маршрутизаторов, каналов связи. В Таблице 4 приведены характеристики модернизируемых элементов КИС. Внедряемые аппаратно-программные средства (ИР) имеют улучшенные характеристики, но производитель остается прежним, т.к. использование разнородного оборудования усложняет

администрирование информационной инфраструктуры. Проведение модернизационных работ имеет свой технологический цикл и регламент, который определен особенностями функционирования и модернизации унаследованных и внедряемых элементов КИС. Директивный интервал планирования составляет 7 недель. Шаг планирования – 1 день. Ниже (см. таблица. 3) представлены характеристики существующих элементов КИС.

Таблица 3 – Характеристики элементов УКИС

| № | СУЩЕСТВУЮЩАЯ КИС (УКИС) | Техническая характеристика ресурса КИС   | Значение                 |
|---|-------------------------|--|--------------------------|
| 1 | RFID считыватель        | IEEE Протокол WiFi сети                  | WLAN (802.11 a/b/g)      |
|   |                         | Емкость аккумулятора считывателя         | 2300 мАч.                |
| 2 | СЕРВЕР БД               | Частота вращения шпинделя жесткого диска | 7 200 об/мин.            |
|   |                         | Количество ядер процессора               | 16 шт.                   |
|   |                         | Объем оперативной памяти                 | 16 GB.                   |
| 3 | КОММУТАТОР              | Количество портов                        | 24 порта.                |
| 4 | МАРШРУТИЗАТОР           | Ширина канала связи WiFi                 | ширина канала 20\40 Mhz. |
| 5 | КАНАЛЫ СВЯЗИ            | Категория кабеля                         | Cat. 5.                  |

Ниже (см. таблица. 4) описаны характеристики «новых» элементов КИС.

Таблица 4 – Характеристики элементов «новой» КИС

| № | «НОВАЯ» КИС      | Техническая характеристика ресурса КИС   | Значение                    |
|---|------------------|--|-----------------------------|
| 1 | RFID считыватель | IEEE Протокол WiFi сети                  | WLAN (802.11 b/g/n/)        |
|   |                  | Емкость аккумулятора считывателя         | 5 000 мАч.                  |
| 2 | СЕРВЕР БД        | Частота вращения шпинделя жесткого диска | 10 000 + об/мин.            |
|   |                  | Количество ядер процессора               | 24 шт.                      |
|   |                  | Объем оперативной памяти                 | 32 GB.                      |
| 3 | КОММУТАТОР       | Количество портов                        | 48 портов                   |
| 4 | МАРШРУТИЗАТОР    | Ширина канала связи WiFi                 | ширина канала 20\40\80 Mhz. |
| 5 | КАНАЛЫ СВЯЗИ     | Категория кабеля                         | Cat. 6.                     |

На рисунке 23 показана связь аппаратно-программных ресурсов КИС и внутренних сервисов КИС на этапе модернизации.

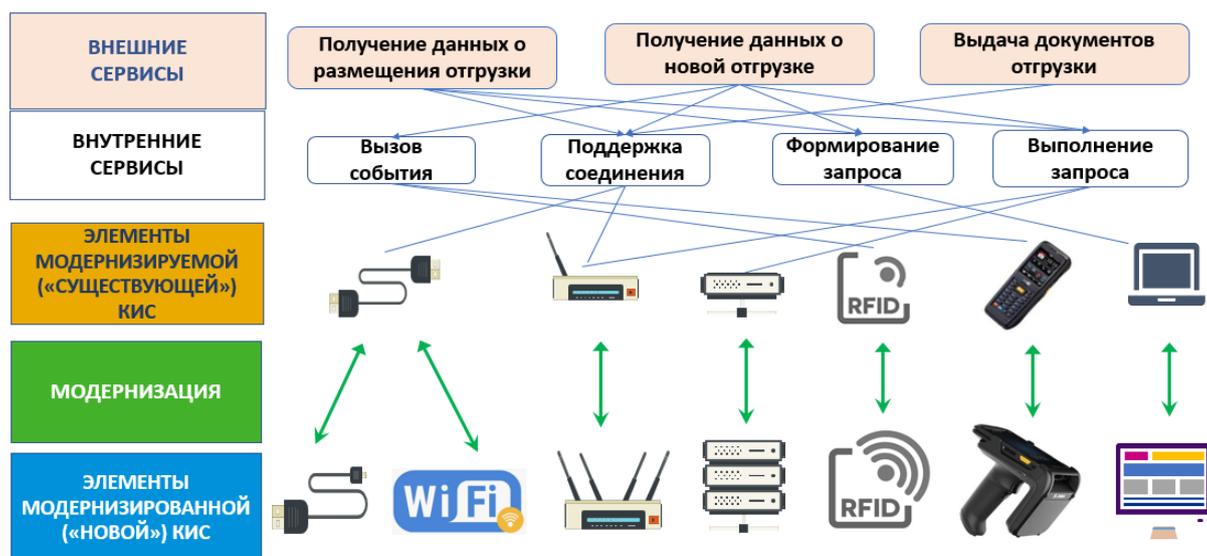


Рисунок 23. Схема взаимосвязи внешних с внутренними сервисов и (опосредованно) с ресурсами КИС на этапе модернизации

В таблице 5 показаны «улучшенные» характеристики интенсивность реализации информационных услуг на ресурсах КИС, «новая» производительность сервисов на ресурсах КИС, а также объем оперативной памяти ИР.

Таблица 5 – Влияние модернизации на характеристики КИС

| № | Элементы КИС     | Характеристика ресурсов КИС                            | Изменение характеристик ресурсов КИС | Кол. эл. УКИС | Кол. эл. КИС |
|---|------------------|--|--------------------------------------|---------------|--------------|
| 1 | RFID считыватель | Интенсивность реализации информационного сервиса на ИР | +30%                                 | 11            | 12           |
| 2 | СЕРВЕР БД        | Производительность ИР                                  | +50%                                 | 3             | 2            |
|   |                  | Объем оперативной памяти ИР                            | +50%                                 |               |              |
| 3 | КОММУТАТОР       | Производительность ИР                                  | +50%                                 | 4             | 3            |
| 4 | МАРШРУТИЗАТОР    | Интенсивность реализации информационного сервиса на ИР | +20%                                 | 2             | 2            |
| 5 | КАНАЛЫ СВЯЗИ     | Интенсивность реализации информационного сервиса на ИР | +20%                                 | 50            | 40           |

Содержательная постановка задачи заключается в необходимости найти такую допустимую скоординированную программу функционирования и модернизации КИС (комплексный план проведения инфраструктурного проекта), в ходе реализации которой все операции, относящиеся к соответствующим циклам управления, будут завершены в срок и в полном объеме КИС, а снижение обобщенного показателя качества будет минимальным. Требуется учесть основные технологические и пространственно-временные ограничения, связанные как с процессами функционирования КИС, так и с процессами модернизации соответствующих ресурсов [2,43-5352].

Для оценивания комплексных планов функционирования и модернизации КИС на этапе планирования была разработана и использована группа показателей качества комплексных планов функционирования и модернизации модуля КИС (на всех уровнях), которая обслуживает складскую подсистему предприятия, а именно: оперативность проведения работ ( $J_1$ ); полноту завершения операций ( $J_2$ ); стоимостные показатели качества (в т.ч. ССВ) ( $J_3$ ).

ЛПР ответили на 8 вопросов (см параграф 3.3) для каждого уровня иерархий рассматриваемого сложного динамического объекта (складского комплекса и его ИТ-инфраструктуры), что позволило сформировать результирующие показатели качества, комплексно оценивающие разрабатываемые программы модернизации КИС на стадии планирования.

Диспетчерским решением для запуска процедуры синтеза комплексного плана функционирования и модернизации КИС был выбран эвристический план, отвечающий всем пространственно-временным и технологическим ограничениям разрабатываемого проекта. На рисунке 24 приведен эвристический план модернизации ресурсов КИС.

|         | НЕДЕЛЯ 1 | НЕДЕЛЯ 2 | НЕДЕЛЯ 3 | НЕДЕЛЯ 4 | НЕДЕЛЯ 5 | НЕДЕЛЯ 6 | НЕДЕЛЯ 7 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ИР 1.1  | ■        |          |          |          |          |          |          |
| ИР 1.2  |          | ■        |          |          |          |          |          |
| ИР 1.3  |          |          | ■        |          |          |          |          |
| ИР 1.4  |          |          |          | ■        | ■        |          |          |
| ИР 2.1  | ■        |          |          |          |          |          |          |
| ИР 2.2  |          | ■        |          |          |          |          |          |
| ИР 3.1  | ■        |          |          |          |          |          |          |
| ИР 3.2  |          | ■        | ■        |          |          |          |          |
| ИР 3.3  |          |          |          | ■        |          |          |          |
| ИР 4.1  | ■        |          |          |          |          |          |          |
| ИР 5.1  | ■        | ■        | ■        |          |          |          |          |
| ИР 6.1  | ■        | ■        |          |          |          |          |          |
| ИР 6.2  |          |          | ■        | ■        |          |          |          |
| ИР 6.3  |          |          |          |          | ■        | ■        |          |
| ИР 6.4  |          |          |          |          |          |          | ■        |
| ИР 7.1  | ■        | ■        |          |          |          |          |          |
| ИР 7.2  |          |          | ■        | ■        |          |          |          |
| ИР 7.3  |          |          |          |          | ■        |          |          |
| ИР 7.4  |          |          |          |          |          | ■        |          |
| ИР 8.1  | ■        | ■        |          |          |          |          |          |
| ИР 8.2  |          |          | ■        |          |          |          |          |
| ИР 9.1  | ■        | ■        |          |          |          |          |          |
| ИР 10.1 | ■        |          |          |          |          |          |          |
| ИР 10.2 |          | ■        | ■        |          |          |          |          |
| ИР 10.3 |          |          |          | ■        |          |          |          |
| ИР 10.4 |          |          |          |          | ■        | ■        |          |

Рисунок 24. Эвристический план модернизации информационных ресурсов и функционирования КИС

Введены следующие сокращения: ИР 1.1. ИР КИС №1.1.; прямоугольник синего цвета – операция по модернизации информационных ресурсов успешно завершилась; прямоугольник желтого цвета – операция по модернизации информационных ресурсов нарушила директивный срок; прямоугольник красного цвета – срыв срока проведения модернизации.

На рисунке 25 представлен оптимальный план проведения модернизации ресурсов КИС.

|         | НЕДЕЛЯ 1 | НЕДЕЛЯ 2 | НЕДЕЛЯ 3 | НЕДЕЛЯ 4 | НЕДЕЛЯ 5 | НЕДЕЛЯ 6 | НЕДЕЛЯ 7 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ИР 1.1  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 1.2  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 1.3  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 1.4  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 2.1  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 2.2  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 3.1  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 3.2  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 3.3  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 4.1  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 5.1  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 6.1  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 6.2  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 6.3  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 6.4  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 7.1  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 7.2  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 7.3  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 7.4  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 8.1  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 8.2  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 9.1  |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 10.1 |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 10.2 |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 10.3 |          |          |          |          |          |          |          |
| ИР 10.4 |          |          |          |          |          |          |          |

Рисунок 25. Оптимальный план модернизации информационных ресурсов  
 На рисунке 26. показано влияние эвристического плана на реализацию БП СТО.

|                 | НЕДЕЛЯ 1 | НЕДЕЛЯ 2 | НЕДЕЛЯ 3 | НЕДЕЛЯ 4 | НЕДЕЛЯ 5 | НЕДЕЛЯ 6 | НЕДЕЛЯ 7 | НЕДЕЛЯ 8 | НЕДЕЛЯ 9 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| БП 1-СЕРВИС 1.1 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| СЕРВИС 1.1      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| БП 2-СЕРВИС_2.1 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| СЕРВИС_2.2      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| БП 3-СЕРВИС_2.2 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| СЕРВИС_3.1      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| СЕРВИС_3.2      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |

Рисунок 26. Влияние эвристического плана модернизации информационных ресурсов на БП СТО

Для иллюстрации используются следующие сокращения: «БП-1 – Сервис 1.1.» – БП №1 задействует Информационный Сервис 1.1.; цвета прямоугольников имеют идентичную интерпретацию.

На рисунке 27 изображено влияние оптимальных планов модернизации ресурсов и сервисов КИС на БП.

|                 | НЕДЕЛЯ 1 | НЕДЕЛЯ 2 | НЕДЕЛЯ 3 | НЕДЕЛЯ 4 | НЕДЕЛЯ 5 | НЕДЕЛЯ 6 | НЕДЕЛЯ 7 | НЕДЕЛЯ 8 | НЕДЕЛЯ 9 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| БП 1-СЕРВИС 1.1 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| СЕРВИС 1.1      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| БП 2-СЕРВИС 2.1 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| СЕРВИС 2.2      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| БП 3-СЕРВИС 2.2 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| СЕРВИС 3.1      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| СЕРВИС 3.2      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |

Рисунок 27. Влияние оптимального плана модернизации информационных ресурсов на БП СТО

Зеленый цвет прямоугольника указывает на то, что разработанная с помощью предложенного подхода комплексная программа функционирования и модернизации КИС позволила повысить качество реализации БП.

Использование в рамках разработанного прототипа программного модуля логико-динамических моделей и комбинированного алгоритма синтеза комплексных планов модернизации и функционирования КИС, учитывающие многокритериальные требования ЛПР, позволили в среднем повысить на **5-15%** показатели полноты и оперативности выполнения операций, составляющих синтезированные программы.

Стоимостные показатели качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС были улучшены в среднем на **10-14%**. Сравнение проводилось со значениями показателей, которые были рассчитаны на основе использования эвристических подходов к решению задач теории расписаний в СТО.

#### 4.6. Анализ результатов машинных экспериментов

В диссертации проведено исследование влияния количества доступных ресурсов на качество комплексного плана функционирования и модернизации КИС. В представлены основные закономерности, которые удалось выявить в ходе проведения экспериментов. Результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты проведенных экспериментов

| Исходные данные  | Вариант I   | Вариант II  | Вариант III |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Количество ресурсов, которые требуют модернизации в КИС                                | 40          | 50          | 70          |
| Запланированное количество ресурсов КИС, на которых должна быть проведена модернизация | 10          | 30          | 65          |
| Период времени при проведении эвристической модернизации (количество рабочих дней)     | 22          | 33          | 44          |
| Период времени на проведение модернизации с использованием предлагаемого подхода       | 20          | 28          | 41          |
| Значение результирующего показатель качества $J_{res}$ для <u>эвристических планов</u> | 1117        | 901         | 408         |
| Значение результирующего показатель качества $J_{res}$ для <u>оптимальных планов</u>   | <b>1284</b> | <b>1013</b> | <b>454</b>  |

В таблице приняты следующие обозначения: «Вариант I» – высокая степень унифицированности внедряемых ИР; «Вариант II» – умеренная степень

унифицированности внедряемых ИР; «Вариант III» – низкая степень унифицированности внедряемых ИР.

Анализ результатов, получаемых с помощью предложенного прототипа программного модуля, позволяет сделать следующие промежуточные выводы [42]:

1. Разработанный в диссертации алгоритм, опирающийся на полимодельное логико-динамическое описание предметной области, требует бóльшего процессорного времени, чем эвристические алгоритмы, следовательно, область его непосредственного применения ограничена системами, не предъявляющими жестких требований к времени отклика [9-10].
2. Первое приближение вектора сопряженной системы  $\Psi(t_0)$  в наибольшей степени определяет скорость сходимости разработанного в диссертации алгоритма оптимизации комплексных планов функционирования и модернизации КИС. Таким образом, принципиальное значение для оперативности решения задач синтеза программ проведения инфраструктурного проекта и выбора из них наиболее предпочтительных имеет «диспетчерский план» (допустимое управление), который формируется на первом шаге.
3. Наибольший эффект от использования разработанного подхода достигается при умеренном количестве унифицированных ресурсов.
4. Сложность разработанного алгоритма является полиномиальной.

Полученные результаты были использованы в ряде научно-исследовательских проектов (грантах РФФИ, выполненных в СПИИРАН), а именно: в рамках решения задач, связанных с разработкой комбинированных методов и алгоритмы комплексного моделирования, многокритериального оценивания и оптимизации показателей живучести и эффективности функционирования сложных объектов, обладающих структурно-функциональной избыточностью, а также при исследовании методов и алгоритмов проактивного управления восстановлением работоспособности бортовых систем сложных динамических объектов при возникновении нештатных ситуаций. Опора на элементы, представленного в диссертации подхода, позволила повысить

обоснованность и в целом качество программ функционирования и реконфигурации СТО, исследуемых в указанных работах [181].

Использование элементов разработанных новых моделей, методов и алгоритмов, а также принципов сервис-ориентированного подхода дало возможность провести комплексный анализ сложных, иерархических и разномасштабных по времени процессов модернизации КИС. Наряду с этим было проведено как обоснование программ внедрения «новых» элементов и подсистем, так и оптимизация параметров их функционирования в зависимости от конкретного места установки, что позволило исключить прерывания БП рассматриваемого СТО. Исследования были проведены в рамках реализации коммерческого проекта СЧ ОКР «Разработка единого и виртуального паспорта (ЕВЭП) КРН «Союз-2» в «АО НИО ЦИТ ПЕТРОКОМЕТА».

#### **4.7. Возможные варианты применения разработанного модельно-алгоритмического обеспечения**

Программный модуль является прототипом, который позволяет проводить логико-динамическое описание процессов параллельного функционирования КИС и модернизации ее элементов и подсистем в едином масштабе времени, а также предоставляет возможность оперативной и обоснованной оптимизации комплексных планов назначения операций и распределения соответствующих ресурсов в КИС.

Модуль может быть дополнен и расширен путем интеграции в программный код аналитико-имитационных моделей, которые описывают сценарии влияния возмущающих воздействий на предоставление КИС информационных сервисов БП. Подобный подход позволит анализировать робастность и устойчивость планов функционирования и модернизации КИС. Варьируя количество и мощность ресурсов (интенсивность их работы), а также, модифицируя технологию проведения инфраструктурного проекта, можно выявить закономерности,

влияющие на качество комплексных программ эволюционного перехода к «новой» КИС.

Использование логико-динамических моделей, принципов сервис-ориентированного подхода и ФСА дают возможность количественно и качественно оценить затраты ресурсов КИС на предоставляемые ею информационные сервисы, например: объем затрачиваемой оперативной памяти, процессорное время, необходимое для решения задач, интенсивности обработки операций и другие. Следовательно, ряд экспериментов, проведенных на этапе планирования модернизации КИС, позволит найти компромиссные решения при обосновании производительности аппаратно-программных средств, а также определить их количество.

На этапе эксплуатации возможно использование разработанного прототипа для поиска путей совершенствования функционирования существующей КИС с учетом знаний, полученных на предыдущих стадиях ЖЦ.

Разработанное специальное модельно-алгоритмическое обеспечение опирается на понятия БП, операция, ресурс, структура и т.д. Принятые концепты связаны с операциями на всех уровнях рассматриваемого сложного динамического объекта (уровне БП, уровне сервисов информационной системы; уровне модернизации КИС). Введенные понятия доступны для частной (предметной) интерпретации и использования во многих сферах хозяйственной деятельности человека.

Примером может быть управление проектом технического обслуживания оборудования СТО. Технологические последовательности операций являются составными частями проекта, а операции – конкретным набором действий по обслуживанию. Таким образом, настоящий прототип программного модуля может быть доработан и использован для поиска оптимальной программы распределения объема работ и составления комплексного плана проведения обслуживания элементов и подсистем СТО.

Другим перспективным направлением возможного использования прототипа программного модуля в СТО, которые представляют *композируемые предприятия (Composable Enterprise)*. Их особенностью является способность гибко адаптироваться к изменениям БП путем создания «*пакетов*» *бизнес-способностей* и их комбинирования из отдельных модулей. Пакет бизнес-возможностей – это множество «блоков», которые могут либо покупаться, либо разрабатываться самим предприятием, обеспечивая трансформацию портфеля (продуктов) СТО. Такие СТО создаются с целью обеспечения потребителя более уникальным и «кастомизируемым» бизнес-опытом. Данный вид предприятия размывает границы между бизнесом и ИТ, увеличивает скорость трансформации предприятия (в т.ч. цифровой) БП и существующих информационных сервисов. Таким образом, перспективным направлением исследований является разработка модельно-алгоритмического обеспечения формирования и оптимизации внедрения пакетов бизнес-возможностей, которые должны быть обеспечены оптимальным объемом информационных услуг.

В общем случае можно сказать, что разработанные в диссертации логико-динамические модели, описывающие процессы скоординированного функционирования и модернизации КИС, а также предложенный комбинированный алгоритм многокритериальной оптимизации программ проведения инфраструктурных проектов целесообразно применять для комплексного решения задач планирования связанных гетерогенных работ (в т.ч. на этапе *цифровой трансформации СТО*), при котором требуется наилучшим образом использовать заданные классы различных ресурсов.

## **Выводы**

1. В диссертации разработано оригинальное специальное модельно-алгоритмическое и программное обеспечение решения задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС, основу которого составила прикладная теория проактивного управления структурной динамикой

сложных технических объектов, нечетко-возможностный и сервис-ориентированный подходы, позволившие в совокупности проводить многокритериальное оценивание введенных показателей качества, а также оптимизацию модернизационных программ. Указанные элементы теорий и подходов были использованы в разработанном в диссертации прототипе программного модуля, а также реализованы на практике для комплексного планирования инфраструктурного проекта крупного производственного предприятия.

2. Отличительной особенностью разработанного модуля является автоматическое назначение динамических приоритетов показателей качества комплексных планов параллельного функционирования и модернизации КИС, вес которых меняется ситуационно в зависимости от текущих и прогнозируемых условий обстановки, что повышает обоснованность принимаемых решений. Используемые в прототипе модели и оптимизационный алгоритмы позволяют сократить цикл и объем взаимодействия модуля с экспертом предметной области до нескольких итерации, что существенно повышает оперативность решения задач синтеза управляющих воздействий.

3. Прототип программного модуля построен на концептах: «процесс», «операция», «ресурс». «структура». Данные абстракции позволяют использовать разработанные логико-динамические модели в различных предметных областях. Специальное модельно-алгоритмическое обеспечение, реализованное в виде прототипа программного обеспечения, может эффективно решать задачи комплексного планирования функционирования и модернизации в сложных логистических и производственных системах, а также в космической отрасли.

4. Результаты проведенных в диссертации экспериментов показали, что сходимость разработанного и используемого в программном модуле оптимизационного алгоритма зависит в наибольшей степени от диспетчерского решения (первого приближения необходимого для запуска «оптимизационной части» алгоритма). Таким образом, область его непосредственного применения

ограничена системами, которые не предъявляют жестких требований к времени отклика.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработанные в диссертации модели и алгоритмы комплексного планирования функционирования и модернизации КИС на основе сервис-ориентированного подхода обеспечивают решение актуальной научно-технической задачи повышения оперативности, обоснованности и качества процессов управления корпоративной информационной системой на этапе ее модернизации, которая имеет большое значение для развития современных ИИСППР.

В диссертации были получены следующие научные результаты:

1. Обоснована актуальность и проведен системный анализ задач комплексного планирования функционирования и модернизации КИС. Сформулированы цель, объект и предмет диссертационной работы. На основе сервис-ориентированного и функционально-стоимостного подхода проведено концептуальное и теоретико-множественное описание целевых, обеспечивающих и вспомогательных процессов СТО на различных уровнях. Показана возможность рассмотреть задачу комплексного планирования функционирования и модернизации КИС с единых методических и методологических позиций теории управления структурной динамикой СТО, что позволило в дальнейшем существенно повысить обоснованность, оперативность и качество принимаемых управленческих решений.
2. Разработан комплекс логико-динамических моделей синтеза скоординированных программ управления процессами функционирования и модернизации КИС. В его состав входят: логико-динамическая модель программного управления БП, логико-динамическая модель программного управления информационными сервисами КИС, логико-динамическая модель

программного управления модернизацией ресурсов КИС, учитывающие важнейшие технические, технологические и пространственно-временные ограничения.

3. Предложены новая методика динамического многокритериального оценивания комплексных планов функционирования и модернизации КИС и комбинированный алгоритм их оптимизации, которые позволяют сделать обоснованный выбор наиболее предпочтительных программ проведения инфраструктурного проекта. Используя научные и практические результаты, полученные в современной теории проактивного управления СТО, нечетко-возможностный, функционально-стоимостной и сервис-ориентированный подходы, удалось исходную большеразмерную дискретную задачу многокритериального параллельного структурно-функционального синтеза облика КИС и разработки программ ее перевода из заданного в требуемое состояние преобразовать в задачу выбора в конечномерных пространствах, что существенно повысило оперативность синтеза комплексных планов функционирования и модернизации КИС.

4. Разработан прототип программного модуля, который позволяет проводить комплексное планирование функционирования и модернизации КИС. На практике успешно реализована технология, основанная на новой методике автоматического назначения динамических приоритетов управленческо-стоимостным показателям качества синтезируемых планов с использованием комбинированного алгоритма оптимизации программ реализации инфраструктурного проекта, что подтверждает достоверность и обоснованность проведенных теоретических исследований. В диссертационной работе определены основные ограничения разработанного модуля, а также область его возможного применения.

Предложенное модельно-алгоритмическое обеспечение может быть использовано для разработки комплексных планов функционирования и модернизации элементов и подсистем существующих и перспективных СТО.

В качестве **рекомендаций** для дальнейшей разработки темы диссертационной работы можно выделить исследования, направленные на решение следующих задач:

1. Оценивания робастности и устойчивости разрабатываемых оптимальных программ функционирования СТО на различных стадиях ЖЦ.
2. Разработки методов улучшения скорости сходимости разработанного в диссертации алгоритма.
3. Разработки моделей, методов и алгоритмов, которые позволят конструктивно описывать функционирования эргатических подсистем СТО.

Положения, выносимые на защиту, соотнесены с пунктами паспорта специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации» (технические науки)»: п. 3. «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», п. 5. «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.».

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

АСОДУ – автоматизированные системы оперативного диспетчерского управления;

БП – бизнес-процесс;

ДАСГ – динамический альтернативный системный граф;

ВП – виртуальное предприятие;

ЗОУ – задач оптимального управления;

ИИСППР – интеллектуальные информационные системы поддержки принятия решений;

ИР – информационный ресурс;

ИС – информационная система;

КИС – корпоративная информационная система;

ЛДМ – логико-динамическая модель;

ЛПР – лицо, принимающие решения;

ЛОР – лицо, обосновывающее решение;

ССВ – показатель совокупная стоимость владение;

СТО – сложный технический объект;

СУ – система управления;

ФСА – функционально-стоимостной анализ;

ЧПУ – числовое программное управление;

CRM – Customer Relationship Management;

ERP – Enterprise Resource Planning;

MES – Manufacturing Execution System;

OLAP – Online Analytical Processing;

PLM – Product Lifecycle Management;

ROI – Return On Investment;

RT– Request Tracker;

RFID – Radio Frequency Identification;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;

SCM – Supply Chain Management;

WiFi – Wireless Fidelity.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аврамчук Е.Ф., Вавилов А.А., Емельянов С.В. и др. Технология системного моделирования / Под общ. ред. С.В.Емельянова. И.: Машиностроение, 1988.
2. Алексеев А.В., Захаров В.В., Охтилев М.Ю., Бураков В.В. Распределенная система поддержки принятия управленческих решений ситуационного центра. В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019. С. 1664-1668.
3. Аничкин А. С., Семенов В. А. Современные модели и методы теории расписаний // Труды ИСП РАН. 2014. №3.
4. Асадуллаев Р.Г., Ломакин В.В. Интегрированная модель поддержки жизненного цикла проектов автоматизированных систем // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2018. №2.
5. Атанс М., Фалб П. Оптимальное управление. М.: Машиностроение, 1968.
6. Бадлаева, О.А., Чуева, А.Д. Основные подходы к оценке эффективности информационных систем // Молодой ученый. – 2016. – № 27.2– С. 5-7.
7. Балашов Е. П. Эволюционный синтез систем. М. : Радио и связь, 1985. - 328 с.
8. Басыров А.Г., Легков К. Е. Метод эвристико-комбинированного решения трудоемких задач в параллельных вычислительных системах реального времени // Т-Comm. 2019. №3. Т. 13, №. 3, 2019, с. 52-56.
9. Басыров А.Г., Максимов В.А. Алгоритм управления процессами хранения в гетерогенных распределенных системах хранения данных космических аппаратов дистанционного зондирования земли // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. №2. Т. 9, №. 2, 2017, с. 6-15.
10. Басыров А.Г., Ширококов В.В. Методика функционально-распределенной обработки информации в перспективных кластерах микроспутников дистанционного зондирования Земли // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. №4. Т. 9, №. 4, 2017, с. 62-70.
11. Батоврин В.К., Бахтурин Д.А. Управление жизненным циклом технических систем: Сер. докл. СПб, 2012. Вып. 1. 59 с. 2.
12. Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: ИЛ, 1960.
13. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией. – М.: Наука, 1964.

14. Белозеров Г.Н., Дмитриев А.К., Иванов А.В., Мальцев В.Б., Онищенко Л.В., Рышков Ю.П., Степкин В.С. Актуальные вопросы автоматизированной обработки и анализа информационных процессов // МО СССР, 1985. – 159 с.
15. Бир С. Мозг фирмы. – М.:УРСС, 2005. – 315 с.
16. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. - М.: Наука, 1966.
17. Борисов, А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьев и др. – М.: Радио и связь, 1989 . – 304 с.
18. Борисов, А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
19. Брайсон А., Хо-Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. –М.: Наука, 1972.
20. Васильев А. А., Догадин А. В., Левшаков В. М., Невская А. Н. Технология и технологическое оборудование корпусообрабатывающих цехов судостроительных предприятий // Санкт-Петербург : Центр технологии судостроения и судоремонта, 2016. - 199 с.
21. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Теория и системы управления, 2001, № 1. – С.5-22.
22. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. М.: Факториал Пресс, 2002. - 823
23. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения. М.: Финансы и статистика, 2005. 544 с.
24. Военная системотехника и системный анализ. – Учебник /Под ред. проф. Б.В. Соколова. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 1999.
25. Голландцев Ю.А., Дубенецкий В.А. О возможности применения информационных систем класса ERP для управления учебным процессом в вузе // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление. 2009. №6 (91). с. 177-188.
26. Гончаренко В. А. Концептуальные основы построения устойчивых к воздействиям автоматизированных систем специального назначения на основе адаптивных технологий // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. №4.
27. Гончаров В.В. В поисках совершенства управления: Руководство для высшего управленческого персонала: в 2 т. – М.: МНИИПУ, 1998.
28. Городецкий В.И. Информационные технологии и многоагентные системы. //Проблемы информатизации, 1998, №1, с.3-14.

29. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. Дата введения 01.01.1992.
30. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. Дата введения 01.03.2012.
31. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18384-1-2017 Информационные технологии (ИТ). Эталонная архитектура для сервис-ориентированной архитектуры (SOA RA). Часть 1. Терминология и концепции SOA.
32. Громов С.А., Тарасов В.Б. Интегрированные интеллектуальные системы оперативного планирования производства. Известия ЮФУ. Технические науки, 2011, № 7, с. 60–67.
33. Гусев П. Ю., Сокольников В. В. Контроль над выполнением производственного плана с применением технологии дополненной реальности // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. №5 (78).
34. Дилоу-Рагиня Эвелио Антонио Эвелиевич, Колпин М. А., Григорьев К. Л., Соколов Б. В. Полиmodelное описание процесса модернизации унаследованной информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода // Приборостроение. 2010. №11.
35. Дмитриев А.К. Юсупов Р.М. Идентификация и техническая диагностика. – МО СССР, 1987. –521 с.
36. Добановский С.А., Озерянный Н.А. Системы автоматического управления с реконфигурацией // Измерение, контроль, автоматизация, 1990, № 4(76). – С.62-80.
37. Дубенецкий В.А., Советов Б.Я., Цехановский В.В. Проектирование корпоративных информационных систем. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013, 191 с.
38. Дубенецкий В.А., Цехановский В.В. Объектно-ориентированные модели корпоративных бизнес-процессов. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014, 191 с.
39. Заде Л. Теория линейных систем. Метод пространства состояний. – М.: Наука, 1970.
40. Зараменских Е.П. Управление жизненным циклом информационных систем: монография / Е.П. Зараменских. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2014 – 270 с.
41. Захаров В. В. Динамическая интерпретация формального описания и решения задачи модернизации сложных объектов // Приборостроение. 2019. №10
42. Захаров В. В. Программно-математическое обеспечение процесса модернизации сложных объектов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2020. Т. 63. №11. С. 975-984.

43. Захаров В. В., Ушаков В. А. Динамический подход к планированию модернизации автоматизированных систем управления производственными объектами // Приборостроение. 2019. №6.
44. Захаров В.В. Методы и алгоритмы комплексного проактивного управления сложными объектами в чрезвычайных ситуациях сборнике: Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах. Сборник статей Международной научной конференции. Под редакцией Е.Д. Соложенцева, В.В. Карасев. 2020. С. 147-152.
45. Захаров В.В. Модельно-алгоритмическое обеспечение планирования модернизации сложных организационно-технических объектов. В сборнике: Технологическая перспектива в рамках Евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста. Труды 5-ой Международной научной конференции. 2019. С. 486-494
46. Захаров В.В. Павлов А.Н., Модельно-алгоритмическое обеспечение планирования модернизации судостроительных производств // Пятая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2019): труды конференции. М: Издательство Перо, 2019. С.133–137.
47. Захаров В.В. Содержательная и формальная постановка задачи планирования технического перевооружения промышленного объекта. В сборнике: Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов межрегиональной конференции и Санкт-Петербургской международной конференции. 2018. С. 250-253.
48. Захаров В.В. Содержательная и формальная постановка задачи планирования технического перевооружения промышленного объекта. В сборнике: Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов межрегиональной конференции и Санкт-Петербургской международной конференции. 2018. С. 250-253.
49. Захаров В.В. Управление развитием производственных объектов. В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019 Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019. С. 3114-3119.
50. Захаров В.В., Касаткин В.В., Мустафин Н.А., Павлов А.Н., Соколов Б.В. Методологические и методические основы решения проблемы выбора эффективных вариантов функционирования информационно-управляющих комплексов. В сборнике: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. материалы IV межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет; науч. ред. Б.В. Соколов. 2018. С. 146-14811.

51. Захаров В.В., Потрясаев С.А., Салухов В.И., Шкодырев В.П. Информационная технология определения местоположения мобильного робототехнического комплекса методами радиочастотной идентификации. В сборнике: Управление в морских и аэрокосмических системах (УМАС-2016). Материалы 9-ой Мультиконференции по проблемам управления. Председатель президиума мультиконференции В.Г. Пешехонов. 2016. С. 104-111.
52. Захаров В.В., Соколов Б.В., Кулаков А.Ю. Методы и алгоритмы планирования модернизации корпоративной информационной системы на основе технологий промышленного интернета вещей. В книге: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. материалы V межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН. Севастополь, 2019. С. 209-210.
53. Захаров В.В., Соколов Б.В., Кулаков А.Ю. Модели и методы синтеза технологий и программ управления реконфигурацией бортовых систем малых космических аппаратов. В сборнике: XII мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019). Материалы XII мультиконференции. В 4-х томах. Редколлегия: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов [и др.]. 2019. С. 75-77.
54. Зеленков Ю.А. Гибкая корпоративная информационная система: концептуальная модель, принципы проектирования и количественные метрики // Бизнес-информатика. 2018. №2 (44).
55. Зимин И.Н. Алгоритм расчета сетей при переменных интенсивностях выполнения операций // Известия АН СССР. Техн. кибернетика. – 1973. - №6. – С. 17 – 23.
56. Зимин И.Н., Иванилов Ю.П. Решение задач сетевого планирования сведением их к задачам оптимального управления // Журнал вычислительной математики и математической физики.-1971.-№3. – с.632 – 641.
57. Иванов В.А., Фалдин Н.В. Теория оптимальных систем автоматического управления. – М. – Наука, 1981
58. Ивлев В.А. Методологический подход к консалтинговой деятельности // Информационные технологии, 1995, № 3-4, с. 17-19.
59. Иконникова А. В., Петрова И. А., Потрясаев С. А., Соколов Б. В. Динамическая модель комплексного планирования модернизации и функционирования информационной системы // Приборостроение. 2008. №11.
60. Имитационное моделирование производственных систем / А.А. Вавилов, Д.Х. Имаев, В.И. Плескунин и др. – М.: Машиностроение; Берлин: Ферлаг Техник, 1983.

61. Ипатов Ю., Цыгалов Ю. Экономическая эффективность инвестиции в информационные технологии: оптимальный метод оценки // Корпоративные системы. 2004. № 33
62. Исаев Г.Н. Моделирование информационных ресурсов: теория и решение задач: учебное пособие – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2010. – 224с.
63. Калинин В.Н., Резников Б.А. Теория систем и управления (структурно-математический подход). – Л.: ВИКИ, 1987.
64. Калинин В.Н., Резников Б.А., Варакин Е.И. Теория систем и оптимального управления. – МО СССР, 1979. Ч.1. – 319 с.
65. Калянов Г.Н. CASE-технологии. Консалтинг при автоматизации бизнес-процессов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2000.
66. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. – М.: Радио и связь, 1990.
67. Коваленко Б.Б., Гусейнова И.В., Гусарова Т.И. Влияние цифровизации экономики на методологии управления проектами // Экономика и экологический менеджмент. 2019. №2.
68. Когаловский М. Р. и др. Глоссарий по информационному обществу / Под общ. ред. Ю.Е. Хохлова. – М.: Институт развития информационного общества, 2009. 160 с.
69. Колчин А. Ф., Овсянников М. В., Стрекалов А. Ф. и др. Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002. 304 с.
70. Коржавина А. С., Князьков В. С. Реализация высокоточных вычислений в базисе модулярно-интервальной арифметики // Программные системы: теория и приложения. 2019. Т. 10, №3 (42). с. 81-127.
71. Костров А.В., Александров Д.В. Уроки информационного менеджмента. Практикум. – М.Ж Финансы и статистика, 2005. – 304 с.
72. Кравец В.Г., Любинский В.Е. Основы управления космическими полетами. – М.: Машиностроение, 1983.
73. Кузин Е. И., Кузин В. Е. Создание интегрированной системы поддержки жизненного цикла изделия // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. №2 (50).
74. Кузин Е. И., Кузин В. Е. Управление жизненным циклом сложных технических систем: история развития, современное состояние и внедрение на машиностроительном предприятии // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. №1 (49).
75. Кульга К. С. Автоматизация технической подготовки и управления производством на основе PLM – системы / К.С. Кульга. – М.: Машиностроение, 2008. 256 с.

76. Кульга К. С. Интегрированная информационно-вычислительная система управления производством в режиме реального времени // Автоматизация и современные технологии. 2006, №4. С. 42–46.
77. Кульга К. С. Особенности автоматизации подготовки производства предприятий, работающих в условиях единичного и мелкосерийного производства // Нефтяное хозяйство. 2007, №1. С. 75–78.
78. Кульга К. С. Особенности внедрения на предприятиях и методы интеграции CAD/CAM/PDM/FRP/MRP/MES/PLM и ERP-систем // САПР и графика. 2008, №3. С.91–94.
79. Лахин О. И., Полников А. С., Симонова Е. В., Скобелев П. О. Теория сложности и проблема управления жизненным циклом изделий аэрокосмической промышленности // Информационно-управляющие системы. 2015. №1 (74).
80. Ли, Т. Г. Управление процессами с помощью ЭВМ. Моделирование и оптимизация / Т.Г. Ли, Г.Э. Адамс, У.М. Гейнз. - М.: Советское радио, 2002. - 312 с.
81. Лисецкий Ю. М. Модели сопровождения информационных систем предприятия по этапам жизненного цикла // Программные продукты и системы. 2018. №3.
82. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Система поддержки принятия решений с автоматизированными средствами корректировки суждений экспертов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 2014. 1(172): 114–120.
83. Лукинова О.В. Методологические аспекты управления жизненным циклом информационной системы на основе инструментов функциональной стандартизации // Программные продукты и системы. 2016. №4 (116).
84. Майданович О.В. Интеллектуальные технологии автоматизированного мониторинга сложных технических объектов // Труды СПИИРАН. 1. № 29 (6). С. 201-216.
85. Мальцев В.Б. Анализ состояния технических систем. МО РФ, 1992. – 181 с.
86. Математическое обеспечение управления подвижными объектами: Учебное пособие / Б.А. Резников, И.И. Делий, Б.В. Москвин и др. – МО СССР, 1986. – 149 с.
87. Месарович М., Мако Д., Такахара Я. Теория иерархических многоуровневых системы. – М.: Мир, 1973.
88. Методологические вопросы построения имитационных систем: Обзор / Емельянов С. В., Калашников В. В., Лутков В. И. и др. / Под научн. ред. Д. М. Гвишиани, С. В. Емельянова. М.: МЦНТИ, 1973. 87 с.

89. Микони С. В. Систематизация свойств сложных технических систем // Материалы IX конференции «Информационные технологии в управлении (ИТУ-2016)». – СПб. : «ЦНИИ “Электроприбор”», 2016. – С. 84–95.
90. Микони С. В., Соколов Б. В. Юсупов Р. М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография С. В. Микони, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. – М.: РАН, 2018. – 314 с.
91. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981.
92. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. – М.: Наука, 1975.
93. Морозов В.П., Дымарский Я.С. Элементы теории управления ГАП: математическое обеспечение. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1984.
94. Москвин Б.В. Обеспечение устойчивости управления экономических систем алгоритмическими методами. Сборник трудов «Экономическая кибернетика: системный анализ в экономике и управлении». – СПб.: ГУЭФ, 2003. Вып. 7. с. 88 – 92.
95. Москвин Б.В. Оптимизация технологии управления операциями. Сборник трудов «Экономическая кибернетика: системный анализ в экономике и управлении». – СПб.: ГУЭФ, 2004. Вып. 9. с. 73 – 76.
96. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10-ти т. / Ред. совет: В.С. Авдучевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1988, т.3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова.
97. Национальный стандарт Российской Федерации системы менеджмента качества: ГОСТ Р ИСО 9001-2015 от 01.11.2015 // Национальный стандарт. – 2015.
98. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. - Л.: Машиностроение, 1985.
99. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Теоретические и прикладные проблемы разработки и применения автоматизированных систем мониторинга состояния сложных технических объектов // Труды СПИИРАН. 1. № 1 (1). С. 167-180.
100. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов – М.: Наука, 2006.-410 с.
101. Павлов А. Н. Модели и методы планирования ре- конфигурации сложных объектов с перестраиваемой структурой: дис. ... д-ра техн. наук. – СПб.: ГУАП, 2014. – 381 с.
102. Павлов А.Н., Соколов Б.В. Осипенко С.А., Алешин Е.Н., Зиновьев С.В., Копкин Е. В. Системный анализ организационно-технических систем космического назначения. Учебник // под редакцией Павлова А.Н. – СПб: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2018. 357 с.

103. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989.
104. Петренко С. А. Проблема устойчивости функционирования киберсистем в условиях деструктивных воздействий // Труды института системного анализа Российской академии наук. 2010. Т. 52. С. 68–105.
105. Позин Б.А. Ввод в действие информационных систем и сопровождение их программного обеспечения // Новые техно-логии. 2010. № 4. С. 1–32.
106. Понтрягин Л., Болтянский В., Гамкредидзе Р., Мищенко Е. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Физматгиз, 1961.
107. Понтрягин Л., Болтянский В., Гамкредидзе Р., Мищенко Е. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Физматгиз, 1961
108. Потрясаев С. А. Комплексное моделирование сложных процессов на основе нотации BPMN // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 11. С. 913–920.
109. Потрясаев С.А. Динамическая модель и алгоритмы комплексного планирования операций и распределения ресурсов в корпоративной информационной системе: Дисс. . . . канд. техн. наук. по спец. 05.13.01 – сист. ан. синт. и обр. инф. СПб., 2009. 159 с. (СПИИРАН)
110. Потрясаев С.А. Синтез технологий и комплексных планов управления информационными процессами в промышленном интернете: дис. д-ра тех. наук. СПИИРАН, СПб, 2020.
111. Привалов А. Е., Дудалев Г. В., Александров М. А. Повышение эффективности планирования деятельности космодрома в интегрированной автоматизированной системе управления // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. №10.
112. Прохоров Н., Шибанов С. В. Об одном из подходов интеграции унаследованных информационных систем на примере распределенной информационной системы Реестр договоров» для ОАО «Пензаэнерго» // НиКа. 2006.
113. Растрин Л.А. Адаптация сложных систем. – Рига: Зинанте, 1981.
114. Растрин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Сов. радио, 1980.
115. Резников Б.А. Системный анализ и методы системотехники. – МО СССР, 1990. – 522 с.
116. Ростовцев Ю.Г. Основы построения автоматизированных систем сбора и обработки информации. – СПб.: ВИКИ им.А.Ф.Можайского, 1992. – с.717.
117. Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК). 5-е издание. М. Олимп-Бизнес, 2018.
118. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. –СПб.: КОРОНА принт. – 2004. – 384 с.

119. Силич В.А. Декомпозиционные алгоритмы построения моделей сложных систем. – Томск: Изд-во ТГУ, 1982. – 136 с.
120. Скрипкин К. Г. Экономическая эффективность информационных систем. М.: ДМК Пресс, 2002. 256 с.
121. Скрипкин К.Г. Экономическая эффективность информационных систем в России: Монография. - М.: МАКС Пресс, 2014. - 156 с.
122. Соколов Б.В., Зайчик Е.М., Иконникова А.В., Потрясаев С.А, Комплексное планирование модернизации информационных систем: методологические и методические основы, Тр. СПИИРАН, 3:1 (2006), 265–278.
123. Соколов Б.В., Захаров В.В., Азаркина Н.О., Ипатьева И.А. Методология и технология проактивного управления модернизацией в современных условиях В сборнике: Логистика: современные тенденции развития. Материалы XVIII Международной научно-практической конференции. 2019. С. 116-122.
124. Соколов Б.В., Захаров В.В., Назаров Д.И. Совместное оперативное планирование измерительных и вычислительных операций в киберфизических системах // Научное приборостроение. – 2020. Т. 30, №3. С. 49-62.
125. Соколов Б.В., Калинин В.Н Динамическая модель и алгоритм оптимального планирования комплекса работ с запретами на прерывание // Автоматика и телемеханика, 1985, № 5. – С.106-114.
126. Соколов Б.В., Москвин Б.В., Михайлов Е.П., Павлов А.Н. Комбинированные модели управления структурной динамикой сложных технических объектов // Известия Вузов. Приборостроение. - 2006, том № 49, № 11.
127. Спесивцев А.В. Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов: Автореф. дис. док. техн. наук: 05.13.01; [Место защиты: СПИИРАН]. – СПб., 2019. – 39 с.
128. Сундеев П. В. Функциональная стабильность критичных информационных систем: основы анализа // Научный журнал КубГАУ - Scientific Journal of KubSAU. 2004. №07.
129. Табак Д., Куо Б. Оптимальное управление и математическое программирование. М. – Наука, 1975.
130. Танаев В.С., Шкурба В.С. Введение в теорию расписаний //Под ред. Юдина Д.Б. – М.: Наука, 1975.
131. Технология системного моделирования / Е.Ф. Аврамчук, А.А. Вавилов, С.В. Емельянов и др.; Под общ. ред. С.В. Емельянова и др. – М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1988.

132. Флеминг У., Ришел Р. Оптимальное управление детерминированными и стохастическими системами. – М.: Мир, 1978.
133. Холл А. Опыт методологии для системотехники. – М.: Сов. радио, 1975.
134. Хохлов А.С., Баулин Е.С., Коннов А. И., Мишутин Д.Ю. Комплекс интегрированного планирования деятельности ВИНК// Автоматизация в промышленности, Москва, 2018, № 12.–с. 15–26.
135. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. – М.: Наука, 1982.
136. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.И. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем (синтез и планирование развития). – М.: Наука, 1993..
137. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.И., Филимонов В.А. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем: Оптимизационно-имитационный подход. – М.: Наука, 1985.
138. Цурков В.И. Динамические задачи большой размерности. – М.: Наука, 1988.
139. Черноусько Ф. Л., Колмановский В. Б., Вычислительные и приближенные методы оптимального управления, Итоги науки и техн. Сер. Мат. анализ, 1977, том 14, 101–166
140. Черняк Л. Адаптируемость и адаптивность // Открытые системы, 2004. №9 – С.30-35.
141. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: ИЛ, 1959.
142. Юсупов Р.М., Мусаев А.А. Особенности оценивания эффективности информационных систем и технологий // Труды СПИИРАН. 2017. № 51 (2). С. 5-34.
143. Юсупов Р.М., Соколов Б.В., Птушкин А.И., Иконникова А.В., Потрясаев С.А., Цвирко Е.Г. Анализ состояния исследований проблем управления жизненным циклом искусственно созданных объектов // Труды СПИИРАН. 1. № 16 (1). С. 37-109.
144. Ackoff, R.L., 1978. The Art of Problem Solving. Wiley-Interscience, New York.
145. Ann-Louise Andersen, Thomas Ditlev Brunoe, Kjeld Nielsen, Carin Rösiö, Towards a generic design method for reconfigurable manufacturing systems: Analysis and synthesis of current design methods and evaluation of supportive tools, Journal of Manufacturing Systems, Volume 42, 2017, Pages 179-195, ISSN 0278-6125,
146. Arseniev D.G., Shkodyrev V.P., Yagafarov K.I. The Model of a Cyber-Physical System for Hybrid Renewable Energy Station Control. In: Arseniev D., Overmeyer L., Kälviäinen H., Katalinić B. (eds) Cyber-Physical Systems and Control. CPS&C 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, 2020, vol 95. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-34983-7\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34983-7_37)
147. Ausaf, M.F., Gao, L. & Li, X. Optimization of multi-objective integrated process planning and scheduling problem using a priority-based optimization algorithm. Front. Mech. Eng. 10, 392–404 (2015).

148. Bakhmut A.D., Krylov A.V., Krylova M.A., Okhtilev M.Y., Okhtilev P.A., Sokolov B.V. Proactive Management of Complex Objects Using Precedent Methodology. In: Silhavy R. (eds) Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems. CSOC2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 764. Springer, Cham (2019)
149. Basar, T., Olsder, G.J.D., 1982. Dynamic Noncooperative Game Theory, Academic Press, London
150. Behrad E, Sadoullah E, Amirhossein M. An integrated dynamic facility layout and job shop scheduling problem: A hybrid NSGA-II and local search algorithm. Journal of Industrial & Management Optimization, 2020, 16 (4) : 1801-1834. doi: 10.3934/jimo.2019030
151. Bisbal, J., Lawless, D., Wu, B., Grimson, J. Legacy Information System Migration: A Brief Review of Problems, Solutions and Research Issues. // IEEE Software, 16, 1999. 103-111.
152. Bourque P., Fairley R.E. SWEBOK V 3.0. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge. 2014.
153. Brecher C (ed.). Integrative Production Technology for High-Wage Countries. Berlin: Springer; 2012.
154. Brettel, Malte & Fischer, Felix & Bendig, David & Weber, Anja & Wolff, Bartholomäus. (2016). Enablers for Self-optimizing Production Systems in the Context of Industrie 4.0. Procedia CIRP. 41. 93-98. 10.1016/j.procir.2015.12.065.
155. Brynjolfsson E., Milgrom P. (2013) Complementarity in organizations. The handbook of organizational economics (eds. R. Gibbons, J. Roberts). Princeton: Princeton University Press, pp. 11–55.
156. Chaplicki J.M. Terotechnology versus exploitation theory – some remarks // Scientific problems of machines operation and maintenance, 2008, № 2(154).
157. Cohon, J.L/. 1978. Multi-objective Programming and Planning, Academic Press, New York.
158. Correa F. R., Cyber-physical systems for construction industry, 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), St. Petersburg, 2018, pp. 392-397.
159. Durão L.F.C.S., Haag S., Anderl R., Schützer K., Zancul E. Digital Twin Requirements in the Context of Industry 4.0. In: Chiabert P., Bouras A., Noël F., Ríos J. (eds) Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0. PLM 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 540. Springer, Cham
160. Gnidenko A., Vladislav S., Potriasaev S., Sokolov B. Methodology and integrated modeling technologies for synthesis of cyber-physical production systems modernization programs and plans, IFAC-PapersOnLine, Volume 52, Issue 13, 2019, Pages 642-647
161. Gorodetsky, V. I., & Skobelev, P. O. (2017). Industrial Applications of Multi-agent Technology: Reality and Perspectives. SPIIRAS Proceedings, 6(55), 11-45. <https://doi.org/10.15622/sp.55.1>

162. ISO/IEC 12207:2017. Systems and software engineering – Software life cycle processes. Date of introduction 11.2017.
163. ISO/IEC/IEEE 15288:2015. Systems and software engineering – System life cycle processes. Date of introduction 15.05.2015.
164. Kleis L., Chwelos P., Ramirez R.V., Cockburn I. (2012) Information technology and intangible output: The impact of IT investment on innovation productivity. *Information Systems Research*, vol. 23, no. 1, pp. 42–59.
165. Koren, Y., Gu, X. & Guo, W. Reconfigurable manufacturing systems: Principles, design, and future trends. *Front. Mech. Eng.* 13, 121–136 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0483-0>
166. Lu, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration* 6, 2017: pp. 1-10.
167. Lyytinen K., Newman M. (2008) Explaining information systems change: A punctuated socio-technical change model. *European Journal of Information Systems*, vol. 17, no. 6, pp. 589–613.
168. Mahdjoub, M., Monticolo, D., Gomes, S., Sagot, J.C.: A collaborative design for usability approach supported by virtual reality and a multi- agent system embedded in a PLM environment. *Comput. Aided Des.* 42(5), 402–413 (2010)
169. Marchetta, M.G., Mayer, F., Forradellas, R.Q.: A reference framework following a proactive approach for product lifecycle management. *Comput. Ind.* 62(7), 672–683 (2011)
170. Marco, D.A., McGovan K.L., 1988. *Structured Analysis and Design Technique*. McGrawHill, New York.
171. Mithas S., Ramasubbu N., Sambamurthy V. (2011) How information management capability influences firm performance. *MIS Quarterly*, vol. 35, no. 1, pp. 237–256.
172. Nikolaev S., Gusev M., Padalitsa D., Mozhenkov E., Mishin S., Uzhinsky I. (2018) Implementation of “Digital Twin” Concept for Modern Project-Based Engineering Education. In: Chiabert P., Bouras A., Noël F., Ríos J. (eds) *Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0. PLM 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 540. Springer, Cham
173. Oracle unified method (OUM). Oracle’s full lifecycle method for deploying oracle-based business solutions. Oracle and/or its affiliates. USA, World Headquarters, 2014.
174. Pasetti Monizza G., Rojas R.A., Rauch E., Garcia M.A.R., Matt D.T. (2018) A Case Study in Learning Factories for Real-Time Reconfiguration of Assembly Systems Through Computational Design and Cyber-Physical Systems. In: Chiabert P., Bouras A., Noël F., Ríos J. (eds) *Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0. PLM 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 540. Springer, Cham

175. Pavlou P.A., El Sawy O.A. (2006) From IT leveraging competence to competitive advantage in turbulent environments: The case of new product development. *Information Systems Research*, vol. 17, no. 3, pp. 198–227.
176. Pinedo, M. L. 2016. “Design and Implementation of Scheduling Systems: Basic Concepts.” In *Scheduling*, 459–483. Cham: Springer.
177. Rational unified process (RUP). Best practices for software. Development teams. Rational Software Corporation, 1998.
178. Saunders A., Brynjolfsson E. (2016) Valuing information technology related intangible assets. *MIS Quarterly*, vol. 40, no. 1, pp. 83–110.
179. Siliak, D.D., 1990. *Decentralized Control of Complex Systems*, Academic Press, New York.
180. Singh, M., and A. Titli, 1978. *Systems: Decomposition, Optimization and Control*, Pergamon Press, Oxford.
181. Sokolov B., Pavlov A., Potriasaev S., Zakharov V. (2020) Methodology and Technologies of the Complex Objects Proactive Intellectual Situational Management and Control in Emergencies. In: Kovalev S., Tarassov V., Snasel V., Sukhanov A. (eds) *Proceedings of the Fourth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’19)*. IITI 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1156. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50097-9\\_243](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50097-9_243).
182. Sokolov B., Zakharov V., Kofnov O., Saluhov V. (2020). Integrated dynamic planning and scheduling of enterprise information system modernization. *Proceedings of the 32nd European Modeling & Simulation Symposium (EMSS 2020)*, pp. 270-276. DOI: <https://doi.org/10.46354/i3m.2020.emss.0382>.
183. Sokolov, B., Pavlov A.N., Pavlov D.A., Zakharov V.V. (2020) Technology Resolution Criterion of Uncertainty in Intelligent Distributed Decision Support Systems. In: Kotenko I., Badica C., Desnitsky V., El Baz D., Ivanovic M. (eds) *Intelligent Distributed Computing XIII. IDC 2019. Studies in Computational Intelligence*, vol 868. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32258-8\\_434](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32258-8_434).
184. Tambe P., Hitt L.M. (2012) The productivity of information technology investments: New evidence from IT labor data. *Information Systems Research*, vol. 23, no. 3–1, pp. 599–617.
185. The Technique of Multi-Criteria Decision-Making in the Study of Semi-Structured Problems / A. N. Pavlov [et al.] // *Proceedings of the 6th Computer Science On-line Conference (CSOC2017)*. April 2017. – Springer International Publishing Switzerland, 2017. – *Cybernetics and Mathematics Applications in Intelligent Systems*. – Vol. 2: P. 131–140.

186. Trofimova, I., Nazarov, D., Zakharov, V. (2019). Modification of Multiple-model Description and Planning and Update Control Algorithms of Supply Chain. *IFAC-PapersOnLine*, 52, 1972-1977. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.492>
187. Voell C., Chatterjee P., Rauch A., Golovatchev J. (2018) How Digital Twins Enable the Next Level of PLM – A Guide for the Concept and the Implementation in the Internet of Everything Era. In: Chiabert P., Bouras A., Noël F., Ríos J. (eds) *Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0. PLM 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 540. Springer, Cham
188. Yassine, H.M., Shkodyrev, V.P. Optimal production manufacturing based on intelligent control system V.P. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, №157, pp. 210–220.
189. Z. Dowd, A. Y. Franz and J. S. Wasek, "A Decision-Making Framework for Maintenance and Modernization of Transportation Infrastructure," in *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 67, no. 1, pp. 42-53, Feb. 2020, doi: 10.1109/TEM.2018.2870326.
190. Zelenkov Y. Business and IT alignment in turbulent business environment // *Lecture Notes in Business Information Processing*. 2015. No. 228. P. 101–112.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ СТРУКТУР РАЗРАБОТАННОГО ПРОТОТИПА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ

В основном, в прототипе программного модуля происходит работа со списками, элементами которых являются структуры:

- а) Информация о ресурсе, выделенном для модернизации информационных ресурсов:

```
typedef struct _resource_info{
    int paral_oper;
    int **time_matrix;
    int *intensity;
    double *cost;
}Resource_info;
```

$paral\_oper (q_{\delta j}^{(m,r)})$  – максимально возможное количество информационных ресурсов, модернизируемых одновременно с помощью данного ресурса;

$**time\_matrix$  – временная матрица, содержащая управляющие воздействия ( $\gamma_{\delta c}^{(m,r)}$ ) по выполнению операций, связанных с модернизацией информационных ресурсов на данном ресурсе;

$*intensity (\gamma_{\delta c}^{(m,r)}(t))$  – интенсивности операций, модернизации информационных ресурсов;

$*cost (c_{\delta c}^m)$  – стоимости выполнения операций, необходимых для модернизации информационных ресурсов.

- б) Информация об информационном ресурсе:

```
typedef struct _object_resurs{
    int **time_matrix;
    int *intensity;
    int *intensity_m;
    int *work_t;
```

```

    int memory;
    int memory_m;
    int capability;
    int capability_m;
}Object_resurs;
**time_matrix – временная матрица, содержащая управляющие воздействия ( $w_{nr}^{(s,l)}$ ) по выполнению операций, связанных с обработкой информации;
*intensity ( $e_r^{(j)}$ ) – интенсивность выполнения операций, связанных с обработкой информации на ресурсе до его модернизации;
*intensity_m( $\bar{e}_r^{(j)}$ ) – интенсивность выполнения операций, связанных с обработкой информации на ресурсе после его модернизации;
*work_t – время задействования ресурса;
memory ( $V_r^{(j)}$ ) – максимально возможный объем оперативной памяти ресурса до модернизации;
memory_m ( $\bar{V}_r^{(j)}$ ) – максимально возможный объем оперативной памяти ресурса после модернизации;
capability ( $P_r^{(j)}$ ) – CPU ресурса до модернизации;
capability_m ( $\bar{P}_r^{(j)}$ ) – CPU ресурса после модернизации.
в) Информация об информационном ресурсе, как об объекте модернизации:
typedef struct _object_info{
    double **psy_matrix ;
    int *volume ;
    int *cur_volume ;
    double *t_dir ;
    int flag;
    int elems_am;
}Object_info;

```

**\*\*psy\_matrix** ( $\dot{\psi}_{\delta}^{(m,r)}$ ) – сопряженная система ;

**\*volume** ( $a_{\delta c}^{(m,r)}$ ) – объемы операций, необходимых для совершения модернизации объекта;

**\*cur\_volume** ( $x_{\delta}^{(m,r)}$ ) – текущее состояние выполнения операций, необходимых для совершения модернизации объекта;

**\*t\_dir** () – директивное время выполнения операций, необходимых для совершения модернизации объекта;

**flag** – флаг завершения процесса модернизации объекта;

**elems\_am** – количество операций, необходимых для модернизации объекта;

г) Информация о информационном сервисе:

**typedef struct \_stream**{

**double \*\*psy\_matrix**;

**int elems\_am**;

**int \*memory**;

**int \*volume**;

**int \*cur\_volume**;

**double \*t\_dir**;

**int flag**;

**}Stream\_info**;

**\*\*psy\_matrix** ( $\dot{\psi}_n^{(s,l)}$ ) – сопряженная система;

**elems\_am** – количество операций;

**\*memory** ( $V_{\psi}^{(j)}$ ) – необходимые объемы оперативной памяти для выполнения операций сервиса;

**\*volume** ( $a_n^{(s,l)}$ ) – объемы информации, которые обрабатываются при работе сервиса;

**\*cur\_volume** ( $x_n^{(s,l)}$ ) – состояния выполнения операций сервиса;

**\*t\_dir** () – директивное время выполнения операций сервиса;

flag – флаг завершения обработки информационного сервиса.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЧАСТНЫХ ПЛАНОВ В РАМКАХ РАЗРАБОТАННОГО ПРОТОТИПА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ

Для нахождения максимальных значений частных функций Гамильтона с учетом ограничений на управляющие воздействия необходимо на каждом шаге процедуры оптимизации планов функционирования и модернизации КИС решать различные комбинации задач целочисленного (бивалентного) и линейного программирования. Для этого были использованы инструментальные средства пакета прикладных программ MATLAB 2020.

Решение задачи целочисленного и линейного программирования были реализованы с помощью функций MATLAB 2020 [70]: «Mixed-integer linear programming (MILP) (intlinprog)»

$$\min f^T \cdot x$$

*при условии,*

$$A \cdot x \leq b$$

$$A_{eq} \cdot x = b_{eq},$$

$$lb \leq x \leq ub,$$

где  $f$ ,  $x$ ,  $b$ ,  $b_{eq}$ ,  $lb$  и  $ub$  есть векторы, а  $A$  и  $A_{eq}$  есть матрицы.

Синтаксис:  $x = \text{intlinprog}(f, \text{intcon}, A, b, A_{eq}, b_{eq}, lb, ub, x_0, \text{options})$

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ РАЗРАБОТАННОГО ПРОТОТИПА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ

Для проведения расчетом используются функции. В целом модуль написан на основе функционального стиля программирования.

`Resource_info* res_inf [SIZE_RES]` – список, элементы которого содержат информацию о ресурсах, выделенных для модернизации информационных ресурсов;

`Object_resurs* obj_res [SIZE_OBJ]` - список, элементы которого содержат информацию о информационных ресурсах;

`Object_info* obj_inf [SIZE_OBJ]` - список, элементы которого содержат информацию о ресурсах КИС, как об объектах модернизации;

`Stream_info* stream [SIZE_STREAM]` - список, элементы которого содержат информацию о информационном сервисе;

`HamiltonA* ham[3]`, `HamiltonAeq* hameq[3]` – списки, элементы которых содержат информацию, необходимую для блока оптимизации;

Функции:

- а) `void create_ham (int i, int size)` - функция создает записи в списках `ham` и `hameq`; входные данные: `int i` – номер элемента списков `ham` и `hameq`; `int size` – размерность векторов;
- б) `void store_resurs_info (int i)` - функция помещает запись в список `res_inf`; входные данные: `int i` – номер элемента списка `res_inf`;
- в) `void store_object_info (int i, int el_amount)` - функция помещает запись в список `obj_inf`; входные данные: `int i` – номер элемента списка `obj_inf`; `int el_amount` – количество операций, необходимых для модернизации информационного ресурса;
- г) `void store_object_resurs (int i, int f)` - функция помещает запись в список `obj_res`; входные данные: `int i` – номер элемента списка `obj_res`; `int f` – флаг сервера;

- д) `void store_stream_info (int i, int el_amount)` - функция помещает запись в список `stream`; `int i` – номер элемента списка `stream`; `int el_amount` – количество операций, необходимых для обработки информационного сервиса;
- е) `double _alfa (int cur_time, int str, int flow)` - функция возвращает размер штрафа, возлагаемого за превышение директивного срока начала выполнения операции, связанной с обработкой информационного сервиса; входные данные: `int cur_time` – текущее время; `int str` – информационный сервис; `int flow` – операция, составляющая сервис;
- ж) `void quality_3 ()` - функция вычисляет результирующий показатель качества для уровня управления модернизацией ресурсов КИС;
- з) `void _quality2 ()` – функция вычисляет результирующий показатель качества для уровня управления обработкой информационных потоков;
- и) `void psy ()` – функция вычисляет сопряженную систему уравнений для уровня управления ресурсами КИС;
- к) `void _psy_stream ()` – функция, вычисляет сопряженную систему уравнений для уровня управления сервисов;
- л) `void create_f (int time)` - функция формирует гамильтониан (уровень управления модернизацией информационных ресурсов); входные данные: `int time` – текущее время;
- м) `void create_fobj (int time)` и `void create_fstr (int time)` – функции формируют гамильтониан (уровень управления информационными сервисами КИС); входные данные: `int time` – текущее время;
- н) `void create_A ()` и `void create_Aeq ()` - функции формируют матрицы `A` и `Aeq` соответственно, необходимые для решения задачи максимизации гамильтониана (уровень управления модернизацией информационных ресурсов; задача дискретного программирования);
- о) `void _create_A ()` и `void create_Aeq ()` - функции формируют матрицы `A` и `Aeq` соответственно, необходимые для решения задачи максимизации

- гамильтониана (уровень управления обработкой информационных потоков; задача дискретного программирования);
- п) `void create_A_lin ()` и `void create_Aeq_lin ()` - функции формируют матрицы  $A$  и  $A_{eq}$  соответственно, необходимые для решения задачи максимизации гамильтониана (уровень управления модернизацией; задача линейного программирования);
- р) `void create_board (int t)` - функция формирует векторы  $lb$  и  $ub$ , необходимые для решения задачи максимизации гамильтониана (уровень управления информационными сервисами; задача линейного программирования);
- с) `void level_2 (int time)` – функция формирует оптимальное расписание функционирования информационных сервисов; входные данные: `int time` - текущее время;
- т) `void level_3 ()` – функция формирует оптимальное расписание модернизации информационных ресурсов КИС.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ

На рисунке 29 представлен интерфейс основной формы.

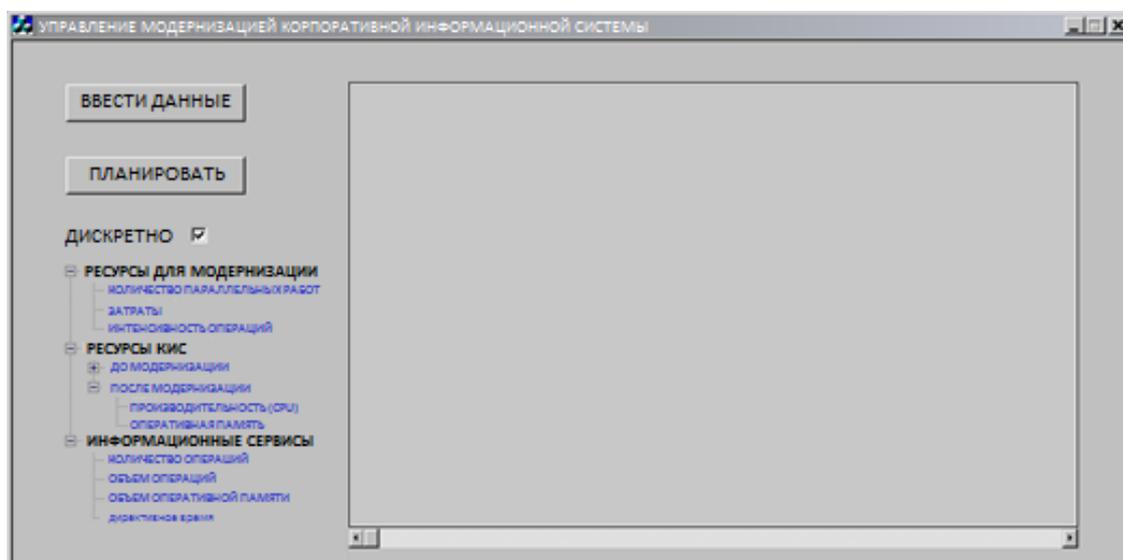


Рисунок 29. Основная форма

При нажатии кнопки «ВВЕСТИ ДАННЫЕ» появляется окно для ввода данных (рисунок 30). Большинство входных данных, таких как: количество операций; для каждого из модернизируемых информационных ресурсов; объем этих операций; стоимость и интенсивность их выполнения на каждом из ресурсов, выделенных для модернизации; директивное время для каждой операции; объем оперативной памяти, CPU и интенсивность обработки внутреннего сервиса для каждого информационного ресурса до и после модернизации; количество операций в каждом из информационных потоков, их объем и требуемый объем ОП; директивное время для каждой операции информационного сервиса указывается в скрытых формах.

Пользователю необходимо явно задать следующие параметры:

1. временной интервал для проведения модернизации;
2. количество ресурсов для модернизации;

3. количество операций в составе информационного сервиса (внутренних сервисов);
4. количество информационных ресурсов.

Необходимо задать максимальные значения следующих варьируемых параметров: количество операций, для каждого из модернизируемых информационных ресурсов, количество операций в каждом из информационных сервисов (внутренних сервисов), см рисунок 30.

При нажатии кнопки «Ввести» формируются все необходимые входные данные и создаются соответствующие модели.

| ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ   |    | ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕРВИСЫ                 |   |
|---|----|--|---|
| КОЛИЧЕСТВО МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ РЕСУРСОВ                       | 16 | КОЛИЧЕСТВО ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕРВИСОВ КИС | 3 |
| КОЛИЧЕСТВО ОПЕРАЦИЙ В ЦИКЛЕ МОДЕРНИЗАЦИИ                  | 7  | КОЛИЧЕСТВО ОПЕРАЦИЙ СЕРВИСА            | 3 |
| КОЛИЧЕСТВО РЕСУРСОВ ДОСТУПНЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ | 5  |  |   |
| ИНТЕРВАЛ ПЛАНИРОВАНИЯ                                     | 9  |  |   |

Рисунок 30. Форма ввода исходных данных

Сгенерированные данные возможно увидеть на графике путем двойного нажатия на элемент дерева с интересующим полем (рисунок 31, рисунок 32, рисунок 33).

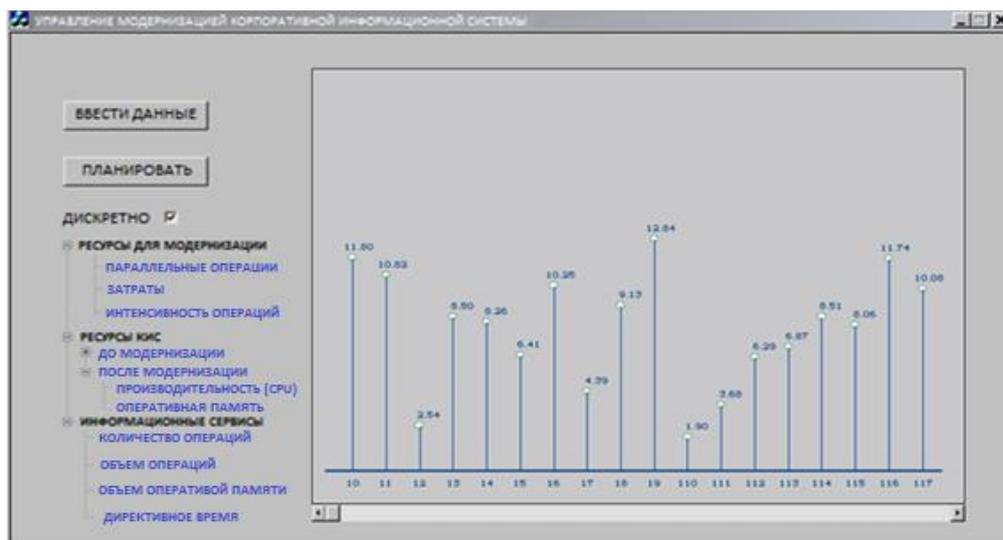


Рисунок 31. Демонстрация входных данных в графическом виде

Например, на рисунке 31 представлены интенсивности выполнения операций сервисов по обработке информации на информационных ресурсах.

На графиках приняты следующие обозначения: первые вертикальные отрезки (синие) показывают интенсивности выполнения операций по предоставлению сервисов с помощью ресурсов КИС до модернизации, а вторые (красные) – после.

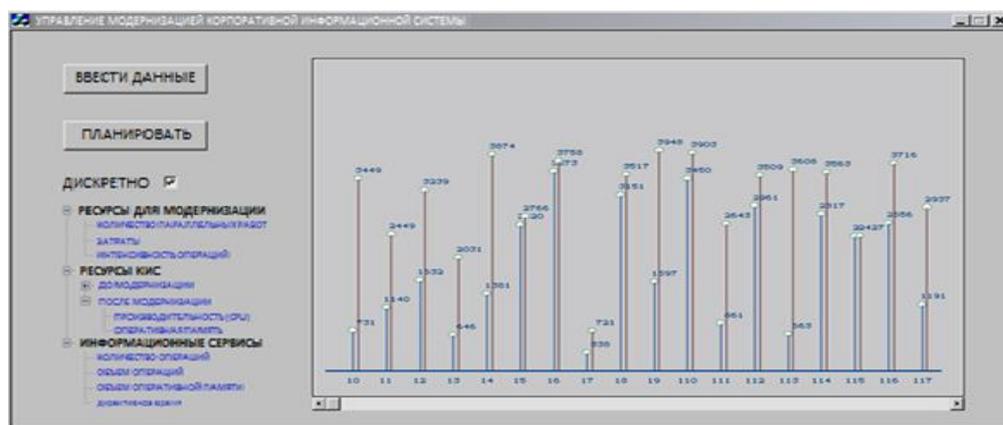


Рисунок 32. Демонстрация входных данных в графическом виде

При снятии флажка «Дискретно» данные будут представляться в виде связного графика (рисунок 31).

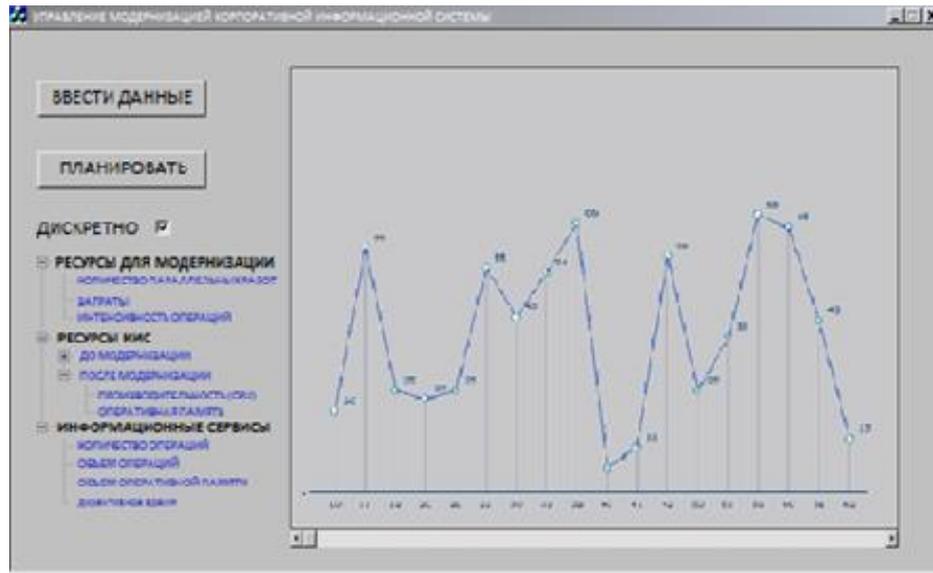


Рисунок 33. Демонстрация входных данных в графическом виде

При нажатии на клавишу «Планировать» формируются диспетчерское решение и строятся расписания по модернизации информационных ресурсов и по реализации информационных сервисов, рассчитываются показатели качества при диспетчерском (исходном) и полученном оптимальном решении (рисунок 34).

Представим необходимые условные обозначения:

Блок «Управление информационными сервисами КИС»

$Stream_i$  – информационный сервис КИС;

$Oper_j$  – операция (внутренний сервис);

$Resurs_{№i}$  – информационный ресурс;

$T_1 - T_i$  – время (количество временных единиц в день), выделенных для функционирования и модернизации.

В ячейке значение  $r$ , если на выполнение операции  $Oper_j$ , необходимой для поддержки функционирования информационного сервиса  $Obj_i$  выделяются ресурс КИС  $Resurs_{№r}$ .

Расписание по реализации внутренних сервисов включает в себя значения интенсивностей, с которыми  $Resurs_{№i}$  оказывает внутренний сервис  $Oper_j$  информационному сервису  $Stream_i$ .

Блок «Расписание модернизации КИС»

Resurs№<sub>i</sub> – ресурс, выделенный на модернизацию;

Obj<sub>i</sub> – информационный ресурс, подверженный модернизации;

Oper<sub>j</sub> – операция, необходимая для модернизации информационного ресурса;

Day<sub>1</sub> – Day<sub>k</sub> – интервал времени (дни), выделенный на проведение модернизации.

На рисунке 34 представлена форма вывода оптимального плана функционирования и модернизации КИС.

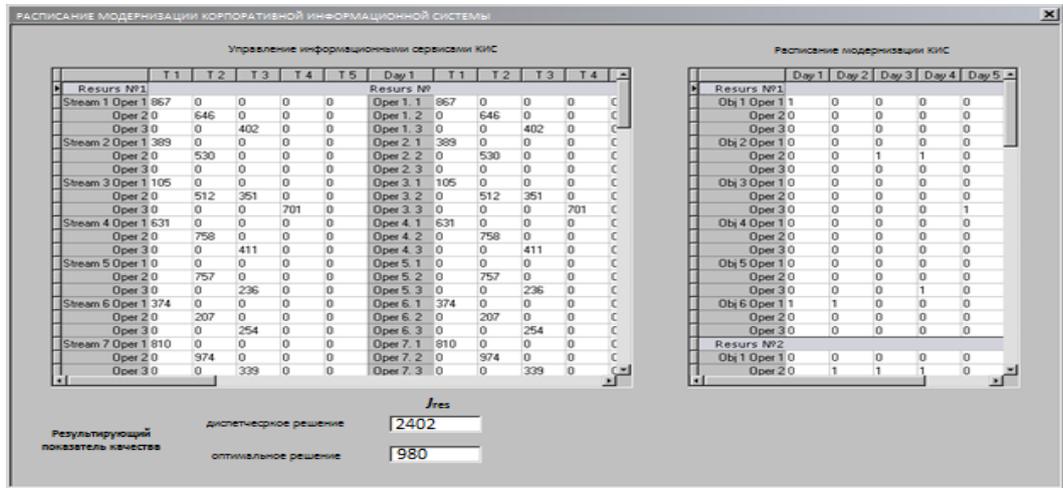


Рисунок 34. Сгенерированные расписания

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### **В рецензируемых журналах из списка ВАК:**

1. **Захаров В.В.** Программно-математическое обеспечение процесса модернизации сложных объектов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2020. Т 63. №11. С. 975-984.
2. Соколов Б.В., **Захаров В.В.**, Назаров Д.И. Совместное оперативное планирование измерительных и вычислительных операций в киберфизических системах // Научное приборостроение. – 2020. Т. 30. №3. С. 49-62.
3. **Захаров В.В.** Динамическая интерпретация формального описания и решения задачи модернизации сложных объектов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62. № 10. С. 914-920.
4. **Захаров В.В.**, Ушаков В. А. Динамический подход к планированию модернизации автоматизированных систем управления производственными объектами // Приборостроение. – 2019. Т. 62, №6, С. 585-588.

### **В зарубежных изданиях, индексируемых в WoS/Scopus:**

1. Sokolov B., **Zakharov V.**, Kofnov O., Saluhov V. (2020). Integrated dynamic planning and scheduling of enterprise information system modernization. Proceedings of the 32nd European Modeling & Simulation Symposium (EMSS 2020), pp. 270-276.
2. Sokolov B., Pavlov A., Potriasaev S., **Zakharov V.** (2020) Methodology and Technologies of the Complex Objects Proactive Intellectual Situational Management and Control in Emergencies. In: Kovalev S., Tarassov V., Snasel V., Sukhanov A. (eds) Proceedings of the Fourth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’19). ITI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1156. Springer, Cham.

3. Pavlov A.N., Pavlov D.A., **Zakharov V.V.** (2020) Technology Resolution Criterion of Uncertainty in Intelligent Distributed Decision Support Systems. In: Kotenko I., Badica C., Desnitsky V., El Baz D., Ivanovic M. (eds) Intelligent Distributed Computing XIII. IDC 2019. Studies in Computational Intelligence, vol 868. Springer, Cham.
4. Sokolov, B., Trofimova, I., Nazarov, D., **Zakharov, V.** (2019). Modification of Multiple-model Description and Planning and Update Control Algorithms of Supply Chain. IFAC-PapersOnLine, 52, 1972-1977.

#### **В других изданиях:**

1. **Захаров В.В.** Методы и алгоритмы комплексного проактивного управления сложными объектами в чрезвычайных ситуациях сборнике: Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах. Сборник статей Международной научной конференции. Под редакцией Е.Д. Соложенцева, В.В. Карасев. 2020. С. 147-152.
2. Соколов Б.В., **Захаров В.В.**, Азаркина Н.О., Ипатьева И.А. Методология и технология проактивного управления модернизацией в современных условиях В сборнике: Логистика: современные тенденции развития. Материалы XVIII Международной научно-практической конференции. 2019. С. 116-122.
3. Павлов А.Н., **Захаров В.В.** Модельно-алгоритмическое обеспечение планирования модернизации судостроительных производств. В сборнике: Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем (ИКМ МТМТС-2019). Пятая международная научно-практическая конференция. Труды конференции. 2019. С. 133-137. **(РИНЦ)**.
4. Алексеев А.В., **Захаров В.В.**, Охтилев М.Ю., Бураков В.В. Распределенная система поддержки принятия управленческих решений ситуационного центра. В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по

проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019. С. 1664-1668.

5. **Захаров В.В.**, Соколов Б.В., Кулаков А.Ю. Методы и алгоритмы планирования модернизации корпоративной информационной системы на основе технологий промышленного интернета вещей. В книге: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. материалы V межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН. Севастополь, 2019. С. 209-210.
6. **Захаров В.В.**, Кулаков Ф.М., Соколов Б.В. Модели и алгоритмы синтеза технологий и программ управления робототехническими системами. В книге: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. материалы V межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН. Севастополь, 2019. С. 211-212. **(РИНЦ)**.
7. **Захаров В.В.** Управление развитием производственных объектов. В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019. С. 3114-31198.
8. **Захаров В.В.** Модельно-алгоритмическое обеспечение планирования модернизации сложных организационно-технических объектов. В сборнике: Технологическая перспектива в рамках Евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста. Труды 5-ой Международной научной конференции. 2019. С. 486-494.
9. **Захаров В.В.**, Соколов Б.В., Кулаков А.Ю. Модели и методы синтеза технологий и программ управления реконfigurацией бортовых систем

малых космических аппаратов. В сборнике: XII мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019). Материалы XII мультиконференции. В 4-х томах. Редколлегия: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов [и др.]. 2019. С. 75-77.

10. **Захаров В.В.**, Касаткин В.В., Мустафин Н.А., Павлов А.Н., Соколов Б.В. Методологические и методические основы решения проблемы выбора эффективных вариантов функционирования информационно-управляющих комплексов. В сборнике: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. материалы IV межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет; науч. ред. Б.В. Соколов. 2018. С. 146-14811.
11. **Захаров В.В.** Содержательная и формальная постановка задачи планирования технического перевооружения промышленного объекта. В сборнике: Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов межрегиональной конференции и Санкт-Петербургской международной конференции. 2018. С. 250-253.
12. **Захаров В.В.**, Потрясаев С.А., Салухов В.И., Шкодырев В.П. Информационная технология определения местоположения мобильного робототехнического комплекса методами радиочастотной идентификации. В сборнике: Управление в морских и аэрокосмических системах (УМАС-2016). Материалы 9-ой Мультиконференции по проблемам управления. Председатель президиума мультиконференции В.Г. Пешехонов. 2016. С. 104-111.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6. КОПИИ АКТОВ ВНЕДРЕНИЯ



### АКТ РЕАЛИЗАЦИИ

результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата технических наук Захарова Валерия Вячеславовича

Комиссия в составе:

**Председатель** – заместитель генерального директора по производству ООО «Фазер», Остапенко В.М.

**Член комиссии:**

- начальник отдела производственной аналитики, к.т.н., Григорьян Р.Г.

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Захарова В.В., выполненной на тему: **“Модели и алгоритмы планирования модернизации корпоративной информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода”** и представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно:

- разработанный комплекс логико-динамических моделей, позволяющий проводить совместную постановку и параллельное решение задач планирования бизнес-процессов и поддерживающих их информационных процессов (информационных сервисов), в т.ч операций по модернизации унаследованной информационной системы;
- разработанный алгоритм формирования динамических многокритериальных приоритетов разномасштабных по времени операций, который дает возможность учесть явные и неявные знания экспертов и интегрировать их на этапе создания планов модернизации корпоративной информационной системы;

реализованные в виде экспериментального образца программного модуля позволили в автоматизированном режиме рассчитать значения показателей полноты и оперативности и стоимости выполнения комплекса операций бизнес-процессов, входящих в производственную программу предприятия на этапе модернизации информационной системы.

Внедрение результатов многокритериального оценивания знаний экспертов о значимости показателей качества модернизационных программ унаследованной информационной системы предприятия позволило на практике повысить степень обоснованности разрабатываемых оптимизированных планов обновления информационной инфраструктуры. Отличительной чертой предложенного подхода является возможность учета приоритета стратегических целей предприятия над локальными задачами информационной службы на этапе проведения модернизации корпоративной информационной системы.

Предложенная Захаровым В.В. архитектура созданного экспериментального образца программного комплекса дала возможность гибко использовать его на этапе эксплуатации, т.е. во время разработки и анализа путей проведения модернизации ресурсов корпоративной информационной системы. Модуль многокритериального оценивания знаний экспертов, развернутый в сети Интернет, также повысил оперативность проведения экспертного опроса, что позволило уменьшить промежуток времени между сбором и интеграцией знаний в процессе создания графиков производства различных видов работ.

Председатель комиссии

Остапенко В.М.

Члены комиссии:

Григорьян Р.Г.

Государственная корпорация  
**«РОСТЕХ»**  
 Акционерное общество  
 «Научно-исследовательский и  
 опытно-экспериментальный  
 центр интеллектуальных технологий»  
**«ПЕТРОКОМЕТА»**  
 Юридический адрес:  
 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит.А.  
 Почтовый адрес ОП:  
 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Тобольская д. 12  
 Тел/факс: (812) 600-15-12, mail@petrocometa.ru

УТВЕРЖДАЮ  
 Первый заместитель  
 генерального директора  
 АО «НИО ЦИТ «Петрокомета»

В.Н. Коромысличенко



« 11 » декабря 2020 года

### АКТ РЕАЛИЗАЦИИ

результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата технических наук Захарова Валерия Вячеславовича

Комиссия в составе:

**председатель** – директор департамента производства информационных систем, кандидат технических наук, доцент Каргин Виктор Александрович,

**члены комиссии:**

- начальник отдела прикладных информационных технологий, кандидат технических наук Ничипорович Олег Петрович,
- начальник отдела предпроектных исследований, кандидат технических наук Охтилев Павел Алексеевич,

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Захарова В.В., выполненной на тему **«Модели и алгоритмы планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода»** и представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно:

- разработанный полимодельный комплекс, описывающий задачу планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы (КИС) как задачу программного управления динамическими объектами со смешанными ограничениями.
- разработанная методика динамического многокритериального оценивания качества комплексных планов функционирования и модернизации КИС.

были использованы при выполнении СЧ ОКР «Разработка единого виртуального электронного паспорта (ЕВЭП) КРН «Союз-2» при обосновании состава и структуры разрабатываемой информационной системы, которая обеспечивает непрерывность бизнес-процессов оценивания качества и технического состояния в составе системы информации КРН «Союз-2» и ее составных частей на всех этапах жизненного цикла.

Опора на принципы сервис-ориентированного подхода позволили провести комплексный анализ сложных, иерархических и разномасштабных по времени процессов управления функционированием и модернизацией КИС при ее внедрении и адаптации к конкретным местам установки. При этом оригинальная методика, предложенная Захаровым В.В. по учету явных и неявных знаний экспертов при многокритериальном синтезе планов функционирования и модернизации КИС, позволяет повысить обоснованность принимаемых проектных и оперативных управленческих решений по сравнению с существующими эвристическими подходами.

В целом, положительный эффект от использования результатов, полученных Захаровым В.В. в его диссертационной работе, состоит в повышении оперативности принятия управленческих решений, а также уменьшении продолжительности проведения комплекса основных и вспомогательных модернизационных работ на различных этапах жизненного цикла контролируемых объектов.

|                        |   |
|------------------------|---|
| Председатель комиссии: | Директор департамента производства информационных систем кандидат технических наук, доцент<br><br>В.А.Каргин |
| Члены комиссии:        | Начальник отдела прикладных информационных технологий кандидат технических наук<br><br>О.П.Ничипорович       |
|                        | Начальник отдела предпроектных исследований кандидат технических наук<br><br>П.А.Охтилев                    |

## ГУАП

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»  
(ГУАП)

Санкт-Петербург



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательным  
технологиям и инновационной  
деятельности

Шиншников В.Ф.

2022 г.

### АКТ РЕАЛИЗАЦИИ

результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата  
технических наук Захарова Валерия Вячеславовича

Комиссия в составе:

**Председатель** – проректор ГУАП по учебной деятельности Матыш В.А. к.т.н., доцент

**Члены комиссии:**

- профессор кафедры компьютерных технологий и программной инженерии Колесникова С.И. д.т.н., доцент,
- доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии Ключарев А.А., к.т.н., доцент,

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Захарова В.В., выполненной на тему: “Модели и алгоритмы планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода” и представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно:

- комплекс логико-динамических моделей, разработанный для моделирования и оптимизации процессов совместного планирования функционирования и модернизации корпоративной системы и большеразмерной сложной технической системы;

- разработанный алгоритм учета динамических приоритетов разноуровневых и разномасштабных по времени операций;

используются в учебном процессе кафедры компьютерных технологий и программной инженерии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» при подготовке магистров по направлению 09.04.04 «Программная инженерия» при проведении лекционных и практических занятий по дисциплинам «Поддержка жизненного цикла программного обеспечения», «Методология программной инженерии».

**Председатель комиссии**

проректор ГУАП по учебной деятельности,  
доцент кафедры компьютерных технологий  
и программной инженерии

к.т.н., доцент,

Почетный работник высшего профессионального  
образования РФ

Матьяш В.А.

**Члены комиссии:**

профессор кафедры компьютерных технологий  
и программной инженерии

д.т.н., доцент

Колесникова С.И.

доцент кафедры компьютерных технологий  
и программной инженерии

к.т.н., доцент,

Почетный работник высшего профессионального  
образования РФ

Ключарев А.А.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (СПИИРАН)**

14 линия, 39, Санкт-Петербург, 199178

Телефон: (812) 328-33-11, факс: (812) 328-44-50, E-mail: spiiiran@iias.spb.su, http://www.spiiiran.nw.ru  
ОКПО 04683303, ОГРН 1027800514411, ИНН/КПП 7801003920/780101001

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель директора по  
научной работе СПИИРАН  
доктор технических наук

С.В. Кулешов

«20» февраля 2020г.

**АКТ РЕАЛИЗАЦИИ**

результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата  
технических наук Захарова Валерия Вячеславовича в СПИИРАН

Комиссия в составе:

**Председатель** – заведующий лабораторией информационных технологий на транспорте,  
д.т.н., профессор Искандеров Ю.М.

**Члены комиссии:**

- ведущий научный сотрудник лаборатории ИТСАМ, д.т.н., профессор Микони С.В.  
- главный научный сотрудник лаборатории ИТСАМ, д.т.н., профессор Охтилев М.Ю.  
рассмотрела материалы диссертационной работы Захарова В. В., выполненной на тему:  
«Модели и алгоритмы планирования функционирования и модернизации корпоративной  
информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода» и представленной на  
соискание ученой степени кандидата технических наук, а также промежуточные и итоговые  
отчеты по:

- государственному заданию №0073-2019-0004 «Методология и технологии интеграции существующих и перспективных государственных и коммерческих информационно-управляющих и телекоммуникационных систем и сетей на различных этапах их жизненного цикла»
- гранту РФФИ № 18-07-01272: «Разработка теоретических и технологических основ интеллектуальной поддержки принятия решений при комплексном планировании работы городского магистрального транспорта в мегаполисе с учетом предпочтений пассажиров различных социальных групп»,
- гранту РФФИ № 18-08-01505: «Разработка и исследование методов и алгоритмов проактивного управления восстановлением работоспособности бортовых систем сложных динамических объектов при возникновении нештатных ситуаций»,
- гранту РФФИ 20-08-01046: «Комбинированные методы и алгоритмы комплексного моделирования, многокритериального оценивания и оптимизации показателей живучести и эффективности функционирования сложных объектов, обладающих структурно-функциональной избыточностью»,
- гранту РФФИ №19-08-00989 А: «Разработка и исследование научных основ теории многокритериального оценивания, анализа и управления качеством моделей и полимодельных комплексов, описывающих сложные технические объекты»,

и установила, что основные положения диссертационной работы Захарова В.В. были использованы в полном объеме при выполнении перечисленных проектов в 2016-2020 годах.

При этом, используя разработанные в диссертации полимодельный комплекс, включающий в себя логико-динамические модели бизнес-процессов, управления информационными сервисами и модернизацией информационных ресурсов, обеспечивающих их непрерывное функционирование, а также комбинированные алгоритмы, удалось исходную дискретно-событийную по своей природе проблему планирования операций и распределения вычислительных ресурсов преобразовать с помощью метода локальных сечений Болтянского В.Г. в двухточечную краевую задачу. Данный модельно-алгоритмический комплекс был реализован в СПИИРАН в рамках перечисленных проектов.

Новое модельно-алгоритмическое обеспечение получило широкую практическую реализацию при решении фундаментальных и прикладных задач проактивного управления сложными транспортными, космическими и производственными системами, где происходит поэтапная интеграция перспективных информационных технологий.

Использование предложенных Захаровым В.В. логико-динамических моделей и комбинированных алгоритмов позволило в среднем повысить на 5-15% качество и полноту выполнения комплексных планов функционирования и модернизации КИС, а также уменьшить их общую продолжительность. При этом значения показателей затрат (в энергетическом и денежном выражении) на реализацию синтезированных программ были уменьшены на 8-14% по сравнению со значениями аналогичных, но рассчитываемых с помощью традиционных методов календарного планирования и составления расписаний применительно к исследуемой предметной области.

Полученный положительный эффект основан на представленном в диссертации новом подходе к согласованию разработанных системно-управленческих и финансово-ресурсных моделей, рассматриваемых до последнего времени независимо.

**Председатель комиссии:**

доктор технических наук, профессор



Ю.М. Искандеров

**Члены комиссии:**

доктор технических наук, профессор



С.В. Микони

доктор технических наук, профессор



М.Ю. Охтилев