

На правах рукописи



Абдалов Арсентий Владимирович

**МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА МОДЕРНИЗАЦИИ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ**

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Орёл, 2024 г.

Работа выполнена в отделе информационно-коммуникационных систем федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации».

Научный руководитель: **Гришаков Вадим Геннадьевич**,  
кандидат технических наук

Официальные оппоненты: **Ерёменко Владимир Тарасович**,  
доктор технических наук,  
профессор, профессор кафедры  
информационной безопасности  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.  
Тургенева», г. Орёл  
**Бушуев Дмитрий Александрович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой технической  
кибернетики ФГБОУ «БГТУ имени  
Шухова», г. Белгород

Защита состоится «21» ноября 2024 г. в 16:00 на заседании диссертационного совета БелГУ.19.03 на базе ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» по адресу: 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85, корп. 17, ауд. 3-33.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке имени Н.Н. Страхова «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» и на сайте (НИУ «БелГУ») (<http://bsuedu.ru>).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года.

Ученый секретарь диссертационного совета



В.И. Федоров

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Российский сегмент отрасли информационных технологий (ИТ) занимает весомую часть экономики страны. В его состав входит более 73 тыс. действующих предприятий, из которых более двух тысяч признаны «динамично развивающимися». Характерной особенностью таких предприятий является наличие в их составе специализированных подсистем – автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП). Поддержание процесса непрерывной разработки приводит к тому, что количество функциональных подсистем (ФП) в структуре АСУП достигает десятков, а информационных и программно-технических сервисов – сотен.

Подобная сложная организация АСУТП и АСУП подразумевает, что в течение их жизненного цикла требуется решение задачи модернизации – совершенствования существующих или разработка новых ФП. Необходимость процесса модернизации также определяется рядом внешних факторов, таких как: изменение условий функционирования предприятий, их конкурентная борьба, вывод производимых продуктов на новые рынки сбыта, организационные изменения и т.д. Высокий темп развития отрасли информационных технологий, появление новых инструментальных и алгоритмических средств, включая базы данных, языки программирования, средства разработки и отладки программного кода, средства тестирования и поддержания процесса разработки приводит к высокой интенсивности потребности в модернизации ФП – и соответственно важности эффективного решения задачи управления процессами модернизации.

Для модернизации АСУТП и АСУП требуются соответствующие ресурсы и решение проблемы управления процессом их распределения в ходе модернизации. При этом типовыми особенностями такой проблемы являются:

- гетерогенность процесса распределения ресурсов, связанная с его разделением на централизованную часть (руководство предприятия), а также частично децентрализованную часть, реализуемую на нижележащих уровнях управления (профильные специалисты АСУТП и АСУП);

- изменение существующих принципов поступления ресурсов на предприятия, связанных, наряду с вариантом прямых закупок, с появлением множества альтернативных источников (господдержка, фонды, спонсирование, субсидирование, донатинг).

Очевидно, что для подобных особенностей проблемы управления распределением ресурсов в процессе модернизации АСУТП и АСУП существующие методы и модели распределения, основанные, в первую очередь, на плановых механизмах, таких, например, как календарное планирование, существенно снижают эффективность процесса модернизации. В основном это связано с их ориентацией на детерминированные значения вероятностно-временных показателей потока поступающих для модернизации ресурсов и, фактически, не являются адекватными реальным процессам поставок с множеством источников и стохастическим характером поступления

от них ресурсов. Это, в свою очередь оказывает существенное влияние на результаты модернизации различных ФП в составе АСУТП и АСУП, в первую очередь предприятий отрасли информационных технологий, такие как: задержки в создании новых средств автоматизации, отказ создания и развертывания ФП с новой, «прорывной» функциональностью и другие. В связи с этим, возникает вопрос о необходимости учета указанных факторов АСУТП и АСУП разработке оптимальных методов и моделей управления процессом модернизации как в общем для предприятий со значимой ролью ИТ-инфраструктур в процессе деятельности, так и отрасли информационных технологий в первую очередь.

**Степень разработанности темы.** Вопросам, связанным моделированием процессов функционирования автоматизированных систем различного класса посвящены работы таких отечественных ученых, как В.М. Глушков, А.Г. Мамиконов, А.В. Костров, Д.В. Александров, С.А. Юдицкий, Е.Г. Ойхман, Б.Я. Советов, П.Н. Всеславлев, К.Г. Скрипкин, Г.Н. Калянов, В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков и других. Кроме того, значительный вклад в развитие исследований, связанных с проектированием и эксплуатацией подобных систем, внесли зарубежные ученые: Д. Йордан, М. Хаммер, Д. Чампи, И. Якобсон, М. Джексон, Е. Кодд и другие.

При этом, результаты их исследований не в полной мере могут быть применены к решению проблемы управления процессом модернизации АСУТП и АСУП применительно к предприятиям отрасли информационных технологий, а также слабо учитывают особенность процесса поставок ресурсов от множества разнородных источников со стохастическим характером их поступления.

Итак, на сегодняшний момент недостаточно внимания уделено исследованиям методов и моделей управления оптимизации процесса модернизации ФП различного уровня в АСУТП и АСУП современных ИТ-предприятий в условиях сложной динамики их поступления, что, в общем случае, возможно на основе использования методов стохастического планирования с применением дискретно-событийных подходов к их имитационному моделированию и моделированию системной динамики. Вышесказанное определяет **актуальность** темы исследования.

**Объектом исследования** является процесс модернизации функциональных подсистем АСУТП и АСУП предприятий отрасли информационных технологий.

**Предметом исследования** являются методы, модели и алгоритмы автоматизированного управления очередями заявок на модернизацию функциональных подсистем АСУТП и АСУП при наличии множества источников ресурсов, необходимых для модернизации.

**Цель исследования** – повышение эффективности процесса модернизации функциональных подсистем АСУТП и АСУП предприятий отрасли информационных технологий за счёт разработки моделей, методов и алгоритмов оптимального управления обслуживанием заявок на модернизацию с

учетом неопределенности их вероятностно-временных характеристик, а также характеристик поступления требуемых для модернизации ресурсов.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Анализ существующих методов, моделей и программно-алгоритмического обеспечения, используемых для управления процессом модернизации функциональных подсистем АСУТП и АСУП предприятий отрасли информационных технологий.

2. На основе обобщения структуры и функций АСУТП и АСУП предприятий отрасли информационных технологий выполнено моделирование подсистемы управления процессом модернизации их функциональных подсистем.

3. Разработка метода формирования параметров процесса модернизации функциональных подсистем с динамически изменяемыми правилами обслуживания заявок на модернизацию и стратегий выбора источников ресурсов в зависимости от текущих условий ресурсобеспеченности подсистемы модернизации.

4. Разработка алгоритмического и программного обеспечения автоматизированной системы управления процессом модернизации функциональных подсистем АСУТП и АСУП предприятий отрасли информационных технологий и провести модельные эксперименты для его структурно-параметрической настройки применительно к конкретным условиям функционирования подсистемы модернизации АСУТП/АСУП предприятия (на примере ООО «ТехАргос» (г. Москва и филиал – г. Орел).

**Методология исследования.** В диссертации использовались методы теории множеств, теории массового обслуживания, теории автоматизированного управления, системного анализа, методы календарного и стохастического планирования, математической статистики и теории вероятностей.

**Научная новизна работы.** В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

- представлена модель процесса обслуживания заявок на модернизацию, основанная на классе моделей управляемых систем массового обслуживания, отличающаяся использованием трехкритериального подхода к принятию решения об обслуживании заявок на модернизацию, использующего экспертно сформированные стоимостные функции, определяющие ценность такой модернизации;

- предложен метод формирования параметров процесса модернизации функциональных подсистем с динамически изменяемыми правилами обслуживания заявок, отличающийся использованием дополнительной обратной связи с планированием выбора требуемых источников ресурсов из множества доступных;

- на основе предложенных теоретических положений разработан комплекс алгоритмов, обеспечивающий поддержку принятия решения на модернизацию заданных функциональных подсистем АСУТП/АСУП путем

формирования плана модернизации, отличающийся распараллеливанием процессов управления очередями заявок на модернизацию и планированием выбора требуемых источников ресурсов.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что произведено рассмотрение системных свойств систем обслуживания заявок на модернизацию функциональных подсистем АСУП отрасли информационных технологий на основе анализа типичных представителей; выявлены общие черты как в объекте, так и в процессе управления, обусловленные неопределенностью и неполнотой исходных данных вследствие опережающей динамики изменения внешних условий модернизации; разработан метод формирования параметров процесса модернизации функциональных подсистем с динамически изменяемыми правилами обслуживания заявок, отличающийся от известных использованием дополнительной обратной связи с планированием выбора требуемых источников ресурсов из множества доступных.

**Практическая значимость работы** заключается в программной реализации модели, метода и комплекса алгоритмов, обеспечивающих возможность непрерывного управления процессом модернизации автоматизированной системы управления АСУТП/АСУП предприятием отрасли информационных технологий; в разработке методики поддержки управления, обеспечивающей выбор оптимальных параметров этого процесса, с учетом текущих условий ресурсообеспеченности; спланирован и проведен имитационный эксперимент для конкретного предприятия с заданным множеством поставщиков (источников) ресурсов.

Результаты диссертационного исследования внедрены в деятельность ООО «ТехАргос» (г. Москва).

**Положения, выносимые на защиту:**

- модель процесса обслуживания заявок на модернизацию автоматизированной системы управления предприятием, позволяющая при заданном количестве источников ресурсов и характеристиках потока заявок от функциональных подсистем, получить оценку потребности в ресурсах.

- метод формирования параметров процесса модернизации функциональных подсистем с динамически изменяемыми правилами обслуживания заявок, позволяющий определить требуемые источники ресурсов из множества доступных.

- комплекс алгоритмов поддержки принятия решения при управлении процессом модернизации автоматизированной системы управления предприятием, позволяющих сформировать план поставки ресурсов, основанный на выбранных заявках на модернизацию.

- архитектура программного комплекса поддержки принятия решений на модернизацию функциональных подсистем автоматизированной системы управления предприятием отрасли информационных технологий и результаты экспериментальной оценки его эффективности.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается принятой методологией исследования, основанной на использовании современных методов, согласованием результатов численных и имитационных экспериментов с положениями теоретических решений; отсутствием противоречий с данными, полученными ранее в исследованиях другими авторами; публикациями автора в рецензируемых изданиях; положительными результатами внедрения.

**Апробация работы.** Результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на международных и всероссийских конференциях: III international conference on advanced technologies in materials science, mechanical and automation engineering MIP: ENGINEERING-III-2021 на тему «Resource planning algorithm for reconfigurable information system development in the case of several sources of resources» (Красноярск, 2021); Modern informatization problems in simulation and social technologies (MIP-2023'SCT) на тему «Algorithmic and software support for decision-making in the management of IT departments» (Yelm, WA, USA, 15 ноября 2022 года – 15 января 2023 года); International Open Science Conference «Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis» на тему « A method for planning IT infrastructure reconfiguration when the flow of automation requests is uncertain and resources flow is unsteady» (Yelm, 2021); V Юбилейной международной научно-практической конференции «Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты» на тему «Подход к потоковому моделированию процессов функционирования ИТ-подразделений» (Брянск, 2023); XV всероссийская научно-практическая конференция научно-педагогических работников общего и профессионального образования «Актуальные аспекты фундаментальных и прикладных исследований» на тему «Алгоритмическое и программное обеспечение поддержки принятия решений при управлении ИТ-подразделениями» (Орел, 30 ноября 2022).

**Публикации.** Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 17 работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 14 работ, 1 патент на изобретение, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий объем работ составляет 17,7 печатных листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 154 страницах машинописного текста, включая 78 рисунков, 9 таблиц, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 163 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследований, охарактеризована степень её разработанности, сформулированы цель и задачи работы, представлена научная новизна и практическая значимость. Приводится краткое содержание глав диссертации, сведения по апробации.

**В первой главе** проведен анализ существующих методов, моделей и программно-алгоритмического обеспечения, используемых для управления

процессом модернизации функциональных подсистем АСУТП и АСУП предприятий отрасли информационных технологий. Исследованы этапы этого процесса и его особенности существенно влияющие на эффективность реализации указанных функциональных подсистем.

В результате проведенного анализа установлено, что типовая АСУТП/АСУП предприятия отрасли информационных технологий имеет архитектуру, включающую 2 функциональных компонента (рисунок 1): автоматизированного управления предприятием и автоматизированного управления процессом разработки ИТ-продукта. При этом указанные компоненты сильно взаимосвязаны.

Исследованы различные модели и методы, применяемые в ходе реализации процесса модернизации функциональных подсистем с учетом специфики предприятия отрасли информационных технологий. Определен критерий эффективности процесса модернизации – результативность обслуживания потока заявок, выражаемая через функцию от количества и доли обработанных заявок с учетом их важности и времени обслуживания.

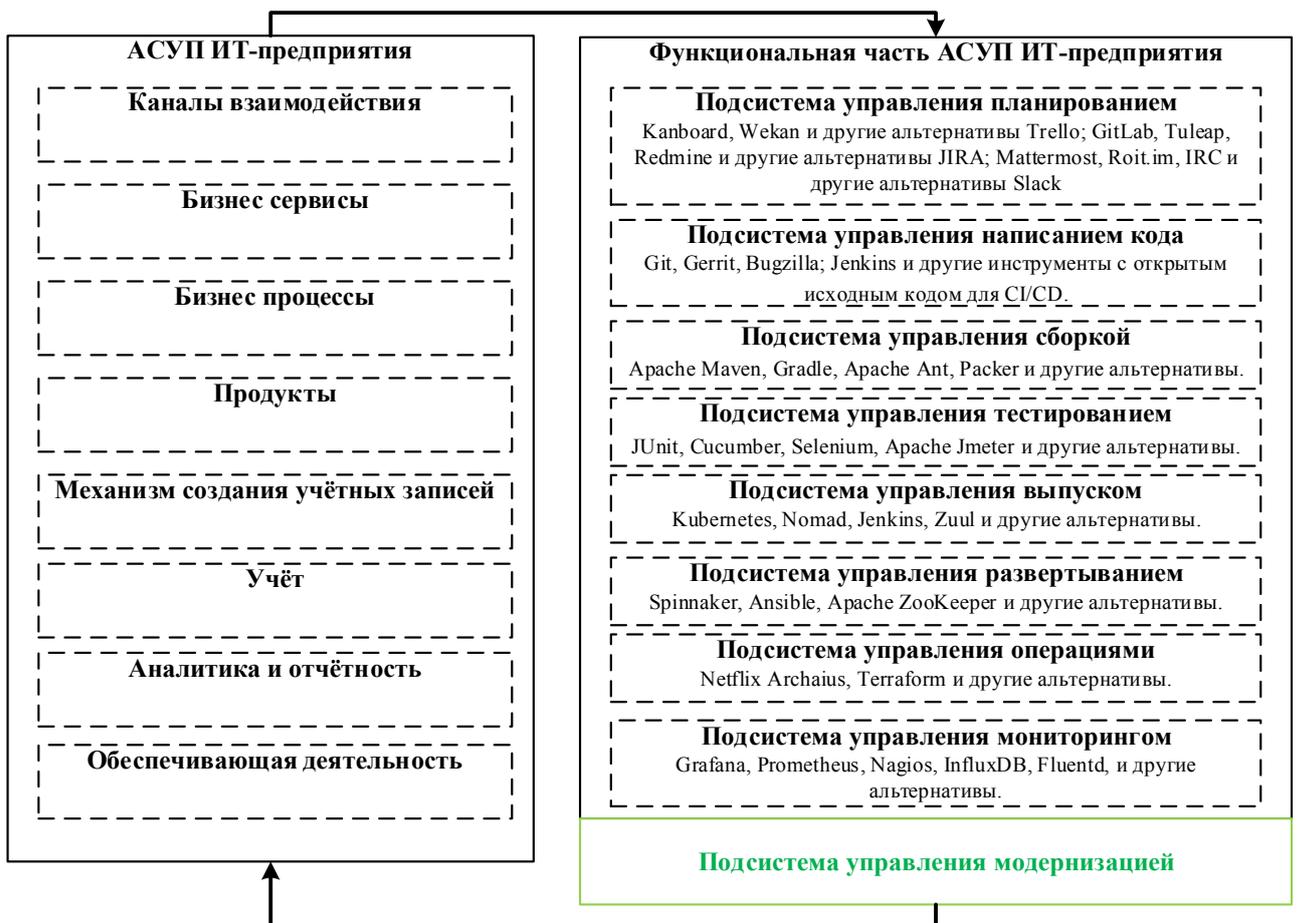


Рисунок 1 – Типовая схема АСУ предприятия отрасли информационных технологий

Выявлена необходимость учёта условий неопределённости вероятностно-временных характеристик поступления требуемых для модернизации ресурсов,

усложняющих получение непосредственного численного решения задачи их распределения по множеству поступающих заявок на модернизацию. Показана необходимость использования комбинированного подхода на основе численных и имитационных экспериментов.

**Во второй главе** представлена модель процесса обслуживания заявок на модернизацию функциональных подсистем АСУ (рисунок 2). Теоретико-множественный вид модели представлен выражением 1:

$$M = \left[ \sum_{i=1}^N K_i, R^{\text{exist}}, R^Q, \sum_{j=1}^b Q_j, C^{\text{IT}}, U^{\langle R, Q \rangle} \right] \quad (1)$$

где:  $K$  – множество заявок на модернизацию мощностью  $N$ . Его элементом является заявка  $K_i = \langle it_i, \tau_{\text{раб}}, S_i \rangle$ ;  $Q_j = (Q_1, Q_2, \dots, Q_b)$  – множество источников (поставщиков) ресурсов мощностью  $b$ ;  $R^Q(t) = \{R_0^Q(t), R_1^Q(t), \dots, R_m^Q(t)\}$  – множество мощностью  $M$  требуемых для модернизации в заданные моменты времени ресурсов;  $R^{\text{exist}}(t) = \{R_0^{\text{exist}}(t), R_1^{\text{exist}}(t), \dots, R_m^{\text{exist}}(t)\}$  – множество существующих в заданные моменты времени ресурсов из всех источников (текущая ресурсообеспеченность). Результатом обработки элементов множества является множество функциональных подсистем ИТ мощностью  $J$ . Его элементом является функциональная подсистема (ФП) –  $it_j = \langle \text{uid}, \text{Type}_K, R_j, \tau_{\text{раб}} \rangle$ , где  $\text{uid}$  – уникальный идентификатор, модернизируемой ФП. В рамках исследования сделано допущение от классификации элементов множества ИТ применительно к предприятиям отрасли информационных технологий. В исследовании было принято решение все множество ФП свести в множество  $\text{Type}_K = \{MC, BC, U, OP\}$  мощностью 4, где: 1.  $MC$  – ФП, важные для ИТ-предприятия в целом; 2.  $BC$  – ФП, важные для конкретного направления производства; 3.  $U$  – вспомогательные ФП; 4.  $OP$  – ФП офисной автоматизации.

Обслуживающим прибором в предлагаемой модели является подразделение, реализующее целевую функцию  $E^{\text{IT}} = f(K_i \rightarrow it_j)$  – процесс модернизации элементов множества  $K$  в элементы множества ИТ.

Для ее реализации обоснованно выбран методологический аппарат управляемых систем массового обслуживания (УСМО) – разновидности СМО с управляемой дисциплиной обслуживания. Выбраны характеристики потоков заявок на модернизацию ФП и ресурсов, поступающих от множества источников ресурсов (рисунок 2). На рисунке 2 показано, что дисциплина обслуживания управляется за счет процедуры  $U^{\langle R, Q \rangle}$  в непрерывном режиме.

Определим, что мощность множества  $R^{exist}$  является переменной за счет:

– дополнения элементами множества  $R^Q$ , поток которых поступает с интенсивностью  $\lambda_R^{<Q>}$ ;

– удаления элементов множества  $R^{exist}$  за счет отправки в ремонт и вывода из эксплуатации. Определим интенсивность этого потока, как  $\lambda_{R_-}$ ;

– дополнения элементами множества  $R_j$  – высвобождение ресурсов из ФП, функционирующих в составе АСУТП/АСУП. В свою очередь этот процесс может быть, как плановым с интенсивностью потока  $\lambda_{R_-^N}^{план}$ , так и внеплановым

с интенсивностью потока  $\lambda_{R_-^N}^{внеплан}$ .

Тогда уравнения изменения множества  $R^{exist}$  определим следующим образом:

$$R(t_{k+1}) = R(t_k) + \Delta R(t_{k+1}), \quad (3)$$

$$\Delta R(t_{k+1}) = (R^{<Q_1>}(t_{k+1}) + R^{<Q_2>}(t_{k+1}) + \dots + R^{<Q_L>}(t_{k+1})) - R^{<R_->}(t_{k+1}) - R^{<R_-^N>}(t_{k+1}) + R_{план}^{<R_+^N>}(t_{k+1}) + R_{внеплан}^{<R_+^N>}(t_{k+1}), \quad (4)$$

где  $R^{<Q>}(t_{k+1}) = (R^{<Q_1>}(t_{k+1}) + R^{<Q_2>}(t_{k+1}) + \dots + R^{<Q_L>}(t_{k+1}))$  – ресурсы, поступившие от всех источников  $Q$ , к моменту времени  $t_{k+1}$ ,  $R^{<R_->}(t_{k+1})$  – количество удаленных ресурсов в момент времени  $t_{k+1}$ ,  $R^{<R_-^N>}(t_{k+1})$  – ресурсы, выделенные в модернизируемые ФП в момент времени  $t_{k+1}$ ,  $R_{план}^{<R_+^N>}(t_{k+1})$  – ресурсы, полученные в результате плановой утилизации ФП в момент времени  $t_{k+1}$ ,  $R_{внеплан}^{<R_+^N>}(t_{k+1})$  – ресурсы, полученные в результате внеплановой утилизации ФП.

Важной задачей исследования являлось определение вида функции управления дисциплиной обслуживания  $U^{<R,Q>}$ . С этой целью были введены следующие альтернативы управления:

–  $U'$  – «отказ»: заявки  $K'(t)$ , отбрасываются с интенсивностью  $\lambda_{K_-}$ ;

–  $U''$  – «обработать»: заявки  $K''(t)$  выполняются и под них в предприятии модернизируются ФП;

–  $U'''$  – «оставить»: заявки остаются в очереди  $K'''(t)$ .

Тогда вид функции  $U^{<R,Q>}$  управления дисциплиной обслуживания в момент времени  $t$  имеет вид:

$$U^{<R,Q>} : U(t) = U'(t) + U''(t) + U'''(t) \quad (5)$$

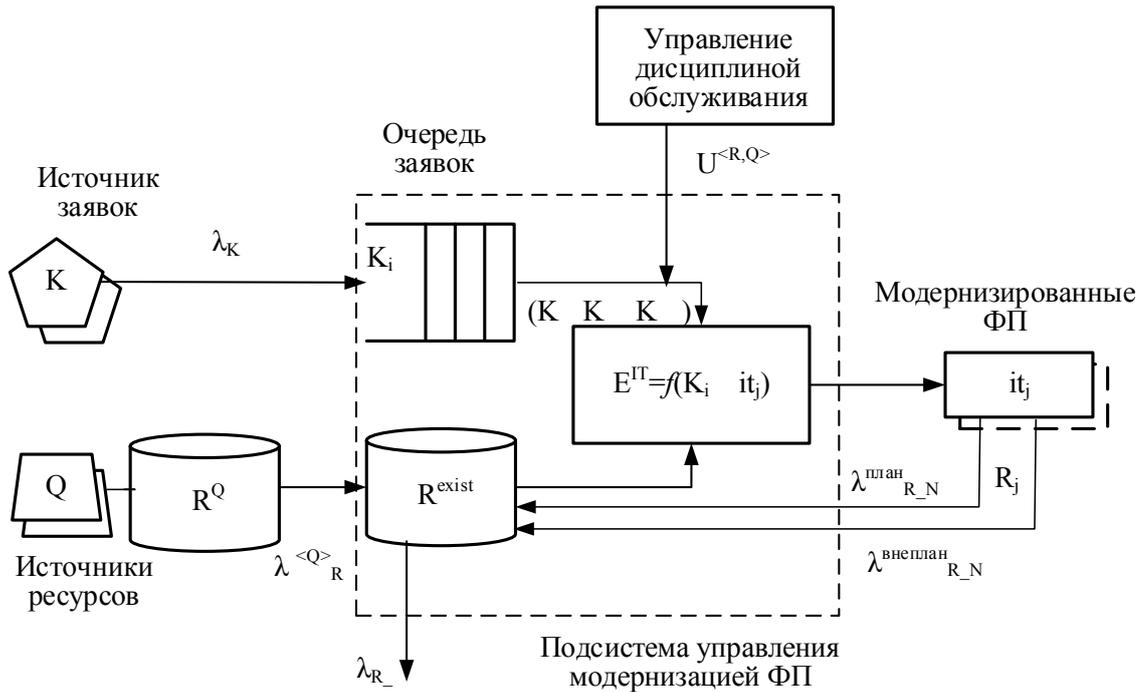


Рисунок 2 – Модель процесса обслуживания заявок на модернизацию функциональных подсистем АСУ

Для выбора той или иной альтернативы управления в исследовании предложено использовать меру ее полезности, выражаемую функцией полезности  $C^{IT} = \sum_{i=1}^n c_i$ , которая определяет величину противоположную размеру потерь. Этот показатель увеличивается при успешной модернизации ФП и уменьшается в случае задержки элемента  $K_i$  в очереди заявок (рисунок 2). Для получения соответствующих коэффициентов  $c_i$  был использован метод экспертного опроса среди обоснованно определенной выборки экспертов администраторов АСУТП/АСУП реальных предприятий. Согласованность мнений экспертов оценивалась с использованием дисперсионного коэффициента конкордации. Методика и результаты экспертного опроса представлены в Приложении 1 диссертации. В результате экспертного опроса для каждой из рассмотренных выше альтернатив управления (выражение 5) были предложены следующие коэффициенты для получения значений  $C^{IT}$  (выражение 6 – пример выражений для ФП уровня важных для операционной деятельности):

$$C_{\text{МС}}^{\text{обработка}} = \begin{cases} 100, t \leq 3; \\ 100 - 10(t - 3), 3 < t \leq 7 \\ 60 - 2.8(t - 3), 3 < t \leq 21 \\ \frac{400}{t}, t > 21 \end{cases} \quad C_{\text{МС}}^{\text{очередь}} = \begin{cases} -2, t \leq 7; \\ -2, 7 < t \leq 14 \\ -3, 14 < t \leq 21 \\ -4, 21 < t \leq 28 \\ -5, t > 28 \end{cases} \quad C_{\text{МС}}^{\text{отказ}} = \begin{cases} -50, t \leq 14; \\ -45, 14 < t \leq 28 \\ -40, t > 28 \end{cases} \quad (6)$$

Результаты апробации предложенной модель процесса обслуживания заявок на модернизацию автоматизированной системы управления предприятием, позволяет при заданных количестве источников ресурсов и характеристиках потока заявок от функциональных подсистем получить оценку потребности в ресурсах в заданный момент времени  $t$ . Особенности разработанной модели отражены в публикациях [1, 12, 13].

**В третьей главе** разработан метод формирования параметров процесса модернизации функциональных подсистем с динамически изменяемыми правилами обслуживания заявок, позволяющий определить требуемые источники ресурсов из множества доступных.

Предложенный метод обеспечивает поддержку функционирования блока управления дисциплиной обслуживания (рисунок 2), реализующего функцию  $U^{(R,Q)}$  (выражение 5). В обобщенном виде схема блока управления дисциплиной обслуживания на основе разработанного метода представлен на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что предложенный блок управления дисциплиной обслуживания состоит из: блока выбора заявок и двух контуров обратной связи – управления очередями и управления источниками ресурсов.

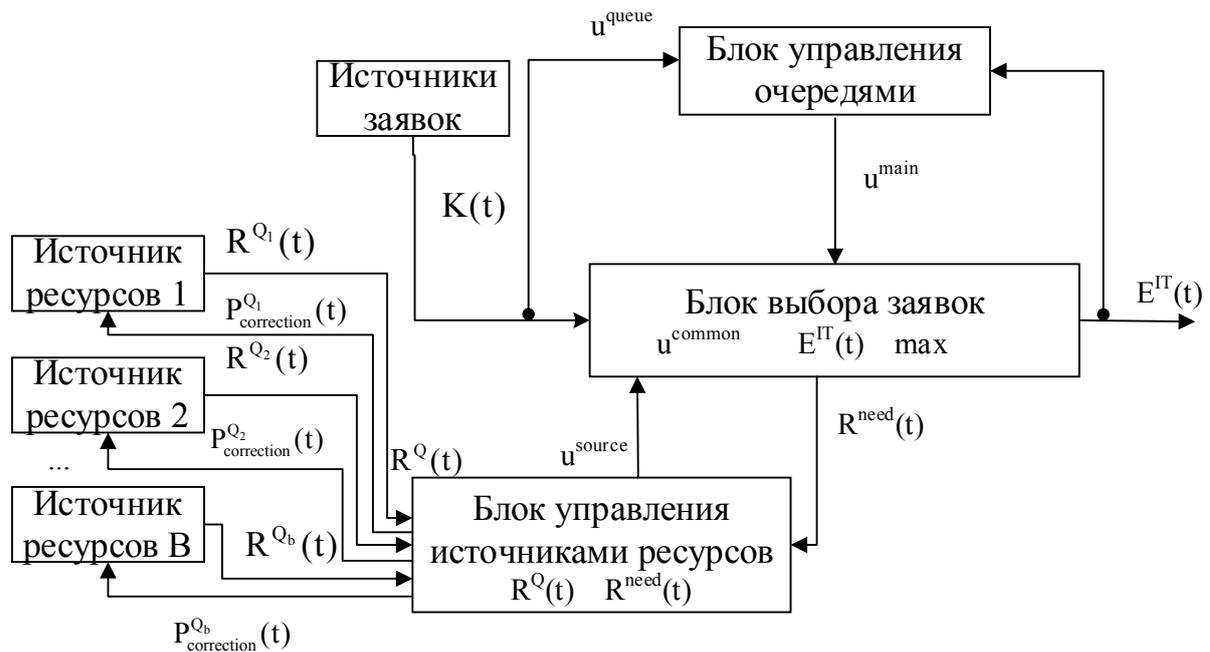


Рисунок 3 – Схема блока управления дисциплиной обслуживания на основе разработанного метода

Для выполнения множества  $K(t)$  – заявок, поступивших в момент времени  $t$  введено множество требуемых ресурсов  $R^{need}(t) = \{R_0^{need}(t), R_1^{need}(t), \dots, R_m^{need}(t)\}$ , для которого выполняется неравенство  $R^{exist}(t) < R^{need}(t)$ . В соответствии с предложенными в разработанной модели процесса обслуживания заявок

альтернативами управления  $\{U', U'', U'''\}$ , вводится три состояния  $S_j$  каждого элемента множества  $K(t)$ : выполнен, отказ в обслуживании, находится в очереди.

Тогда существующее состояние подсистемы управления модернизацией в момент времени  $t$  обозначим как: 
$$\text{State}(t) = \left\{ \sum_{j=1}^N S_j(t), R^{\text{exist}}(t) \right\} \quad (7)$$

Финальное состояние (все заявки выполнены) обозначим как: 
$$\text{State}_{\text{max}}(t) = \left\{ \sum_{j=1}^N S_j(t), R^{\text{need}}(t) \right\} \quad (8)$$

Очевидно, что достижение состояния  $\text{State}_{\text{max}}(t)$  максимизирует целевую функцию  $E^{\text{IT}}(t) \rightarrow \max$  подсистемы управления модернизацией ФП. В рамках разработанного метода предложен вид функции управления дисциплиной обслуживания, обеспечивающей достижение состояния  $\text{State}_{\text{max}}(t)$ :

$$u^{\text{common}} = u^c \left\{ \text{ext}_{u \in U^{(R,Q)}} J_1(\text{State}_{\text{max}}(t), R^{\text{exist}}, R^{\text{need}}, E^{\text{IT}}(t)) \right\} \quad (9)$$

где  $u^c$  – множество управляющих воздействий.

В свою очередь функция (выражение 9) представлена множеством частных функций управления: 
$$u^{\text{common}} = \left\{ u^{\text{main}}, u^{\text{queue}}, u^{\text{source}} \right\} \quad (10)$$

Частные функции управления представлены выражениями 11-13.

$$u^{\text{main}} = u^m \left\{ \text{ext}_{u \in U^{(R,Q)}} J_1(\text{State}_{\text{max}}(t), g_{\text{service}}, g_{\text{cost}}, R^{\text{need}}, R^{\text{exist}}, E^{\text{IT}}(t)) \right\}, \quad (11)$$

где  $g_{\text{service}}$  – функция распределения ресурсов по ФП,  $g_{\text{cost}}$  – функция оценивания  $E^{\text{IT}}(t)$ .

$$u^{\text{queue}} = u^q \left\{ \text{ext}_{u \in U^{(R,Q)}} J_1(\text{State}_{\text{max}}(t), g_{\text{queue}}, E^{\text{IT}}(t)) \right\}, \quad (12)$$

где  $g_{\text{queue}}$  – функция входных воздействий на очередь ФП.

$$u^{\text{source}} = u^s \left\{ \text{ext}_{u \in U^{(R,Q)}} J_1(\text{State}_{\text{max}}(t), g_{\text{source}}, P_{\text{correction}}^Q) \right\}, \quad (13)$$

где  $g_{\text{source}}$  – функция входных воздействий на источники поступления ресурсов, а  $P_{\text{correction}}^Q$  – план коррекции заявок к источникам поступления ресурсов.

Таким образом, метод формирования параметров процесса модернизации функциональных подсистем с динамически изменяемыми правилами

обслуживания заявок, позволяет реализовать управление размером очереди заявок на модернизации на основе трехкритериального подхода к принятию решения об обслуживании заявок на модернизацию, что в свою очередь, позволяет реализовать управление выбором требуемых источников ресурсов из множества доступных. Предложенный метод был реализован в патенте на изобретение [6].

**В четвёртой главе** диссертации представлен разработанный комплекс алгоритмов (КА), обеспечивающий поддержку принятия решения на модернизацию заданных ФП администратором АСУП/АСУП, путем формирования оптимального в момент времени  $t$  плана модернизации, а также представлены результаты экспериментальной проверки пригодности разработанных модели, метода и комплекса алгоритмов с точки зрения достижения цели исследования. В кратком виде предложенный комплекс алгоритмов (КА) имеет следующий вид (рисунок 4):

$$КА = \langle A3 \{A1, A2\} \rangle \quad (14)$$

Такая структура комплекса алгоритмов обусловлена тем, что процессы поступления множества  $K$  заявок на модернизацию, а также динамика формирования подмножества  $R^{exist}(t)$  ресурсов, доступных для модернизации реализуются параллельно. Следовательно, особенностью предлагаемого комплекса алгоритмов является использование методов распараллеливания кода двух предопределенных процедур:

1. A1 – алгоритм управления очередью заявок;
2. A2 – алгоритм управления источниками поступления ресурсов.

Результаты реализации предопределенных процедур являются входными данными предопределенной процедуры A3 - алгоритма распределения ресурсов по заявкам на модернизацию.

Процедура A1 производит оценку очереди необходимой для каждого типа заявки на ФП, в соответствии с количеством ресурсов разных типов, поступающих от источников поступления ресурсов. Входными данными служат: заявки на ФП АСУП  $K_i = \langle it_i, \tau_{паб}, S_i \rangle$ , ресурсы которыми располагает организация  $R^{exist}(t) = \{R_0^{exist}(t), R_1^{exist}(t), \dots, R_m^{exist}(t)\}$ , ресурсы требуемые для модернизации всех ФП АСУП  $R^{need}(t) = \{R_0^{need}(t), R_1^{need}(t), \dots, R_m^{need}(t)\}$  и оценки для очереди  $\tau$  в зависимости от коэффициента обеспеченности ресурсами  $\mu^{res} = R^{need} / R^{exist}$ .

Процедура A2 производит формирование управляющих воздействий на источники поступления ресурсов в соответствии с потоками ресурсов, поступающих от источников. Входными данными служат: ресурсы, поступившие от источников  $R^Q(t) = \{R_0^Q(t), R_1^Q(t), \dots, R_m^Q(t)\}$ , ресурсы, которыми располагает организация  $R^{exist}(t) = \{R_0^{exist}(t), R_1^{exist}(t), \dots, R_m^{exist}(t)\}$ , ресурсы, которые требуются для выполнения всех заявок  $R^{need}(t) = \{R_0^{need}(t), R_1^{need}(t), \dots, R_m^{need}(t)\}$ .

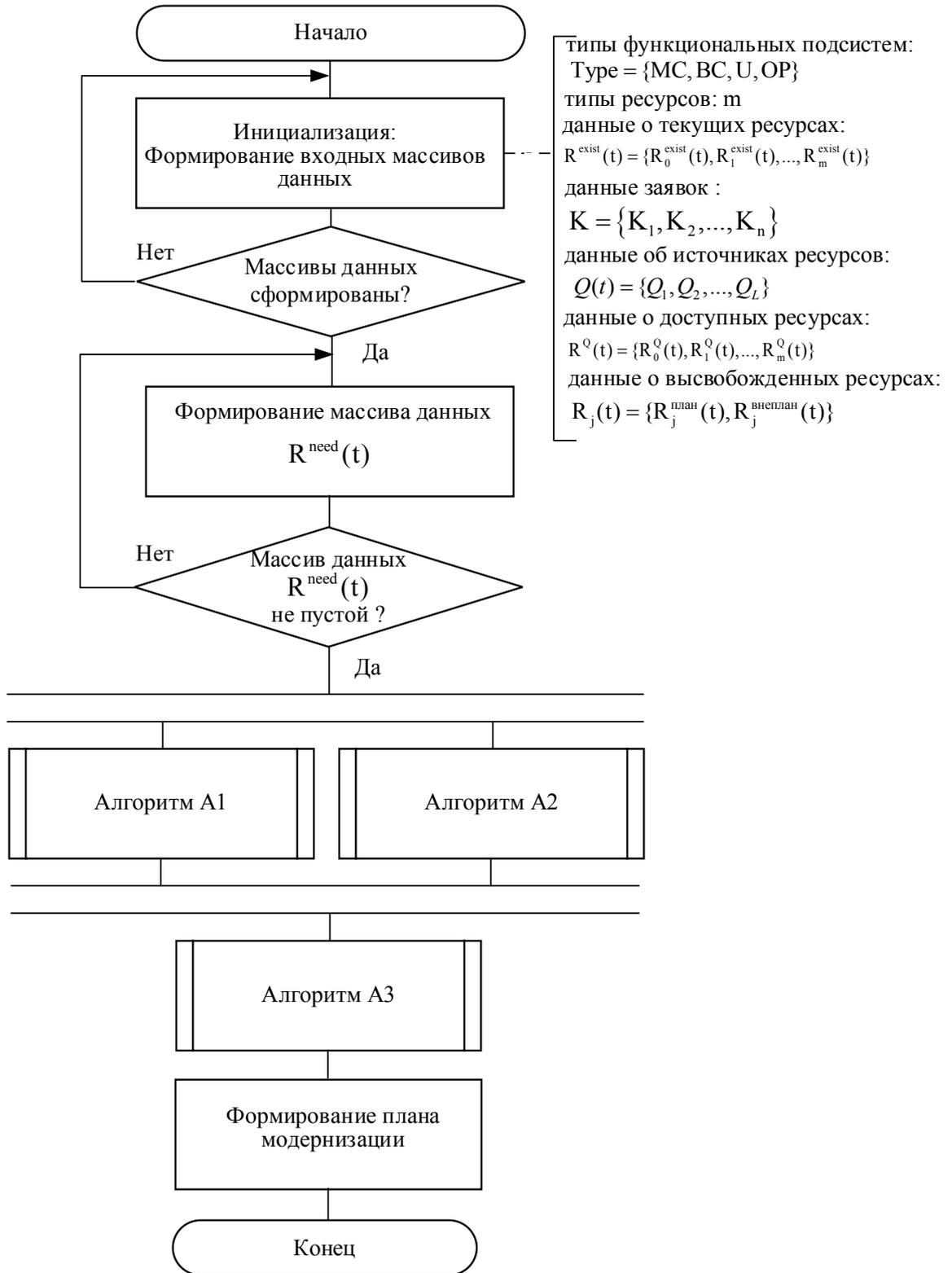


Рисунок 4 – Комплекс алгоритмов, обеспечивающий поддержку принятия решения на модернизацию заданных функциональных подсистем администратором АСУТП/АСУП

Процедура А3 производит оптимальное распределение ресурсов по заявкам на ФП, в соответствии с критериальной функцией. Входными данными для алгоритма служат: заявки на ФП  $K_i = \langle it_i, \tau_{\text{раб}}, S_i \rangle$ , ресурсы модернизации  $R^{\text{exist}}(t) = \{R_0^{\text{exist}}(t), R_1^{\text{exist}}(t), \dots, R_m^{\text{exist}}(t)\}$ , стоимостная функция  $C$  (выражения 1, 6). Результатом выполнения процедуры А3 является матрица распределения ресурсов в момент времени  $t$ , которая является входом процедуры формирования плана модернизации ФП в формате, доступном для использования администратором АСУТП/АСУП.

Таким образом, предложенный комплекс алгоритмов, обеспечивает сокращение времени получения входных данных для формирования плана модернизации ФП в заданный момент времени  $t$  за счет параллельного выполнения процедур управления: очередью заявок на модернизацию и источниками поступления ресурсов, которые являются независимыми процессами. Особенности разработанного комплекса алгоритмов отражены в публикациях [3, 4].

На основе разработанного комплекса алгоритмов предложена модульная структура программного обеспечения процесса управления распределением ресурсов на основе заявок на модернизацию ФП АСУТП/АСУП. Представлены результаты экспериментальной проверки пригодности разработанных модели, метода и комплекса алгоритмов с точки зрения цели исследования: повышения эффективности процесса модернизации функциональных подсистем АСУТП и АСУП предприятий отрасли информационных технологий. В рамках экспериментальной проверки была разработана схема программно-определяемого стенда для экспериментальной проверки пригодности полученных решений (рисунок 5).

На основе результатов, полученных в ходе разработки модели процесса модернизации ФП были получены параметры генераторов нестационарных потоков заявок и ресурсов. Реализована возможность одновременного моделирования работы множества обслуживающих приборов. Средства планирования и обработки результатов экспериментов позволяют проводить серии повторных экспериментов и оценивать основные характеристики: значение критериальной функции, время обслуживания, размер очереди.

На рисунке 6 представлены результаты экспериментальной оценки при нестационарном потоке заявок (моделируется скачкообразное ежеквартальное изменение интенсивности поступления заявок на модернизацию и стационарном потоке ресурсов), а на рисунке 7 представлена экспериментальная оценка эффекта комплекса алгоритмов при нестационарном потоке ресурсов (моделируется изменение интенсивности поступления ресурсов раз в месяц в течение года).

В работе приводится соотношение эффекта предложенного комплекса алгоритмов по отношению к алгоритму на основе приоритетного выбора заявок. Представлены распределения прироста эффектов от доступности ресурсов.

Результаты экспериментов показывают эффективность нового алгоритма по показателю средней полезности обработанных заявок на модернизацию ФП. По результатам экспериментов эффект комплекса алгоритмов более значим при

ресурсообеспеченности менее 0,8 и при длине участков стационарности более двух недель.

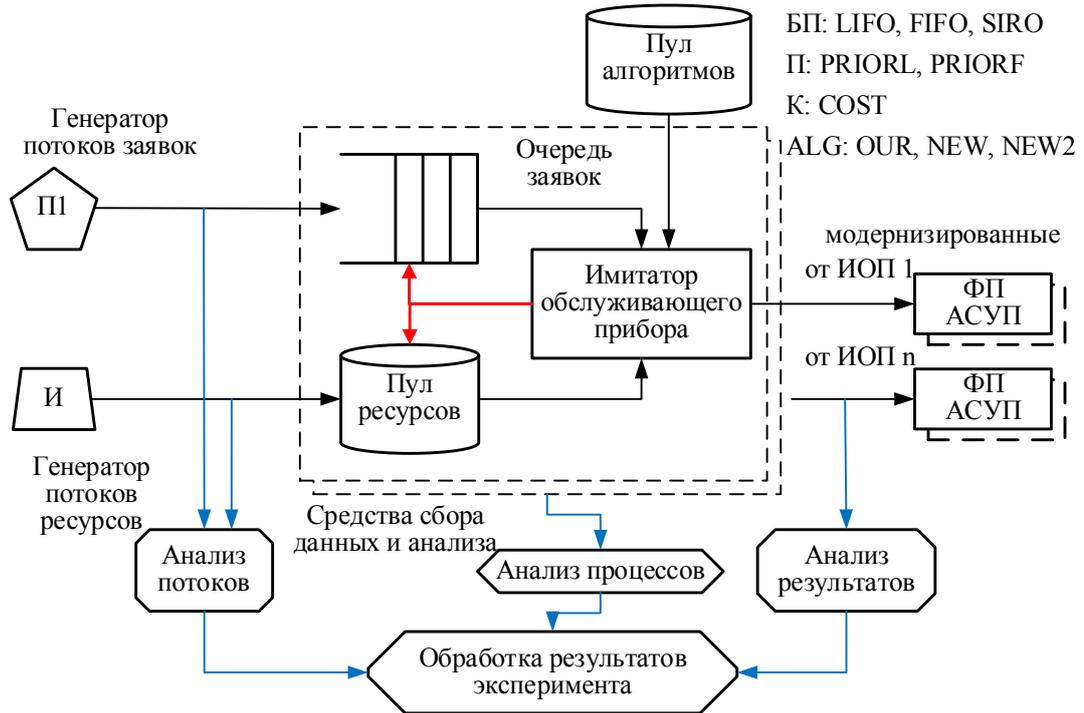


Рисунок 5 – Схема программно-определяемого стенда для экспериментальной проверки пригодности полученных решений

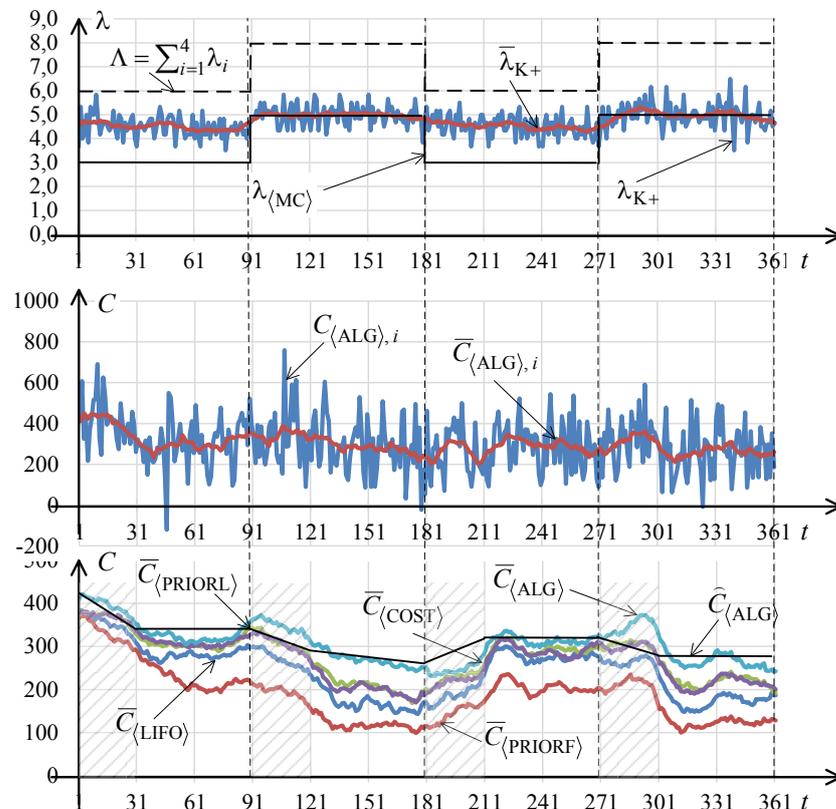


Рисунок 6 – Экспериментальная оценка при нестационарном потоке заявок

Практическое подтверждение результативности разработанного метода и алгоритма выполнено в ходе практического внедрения в ООО «ТехАргос». В рамках руководства процессами технического обеспечения пользователей АСУП ООО «ТехАргос» внедрено разработанное ПО поддержки принятия решений. С его помощью реализованы следующие управления:

- управление 6 источниками ресурсов (от закупок до централизованного обеспечения) реализовано посредством плановых заявок и их корректировок;
- управление пользователями (более 100 пользователей) реализовано через развертывание системы учёта заявок пользователей в 1С:ИТ с внедрением системы весовых функций, предложенных в работе;
- упорядочивание очереди и выбор предложений по реализации заявок на модернизацию ФП АСУП реализовано на основе алгоритма.

Результаты показали повышение результативности обслуживания заявок пользователей на модернизацию ФП АСУП.

**В заключении** изложены основные итоги выполненного исследования.

**Приложение** диссертации содержит документы об использовании результатов работы.

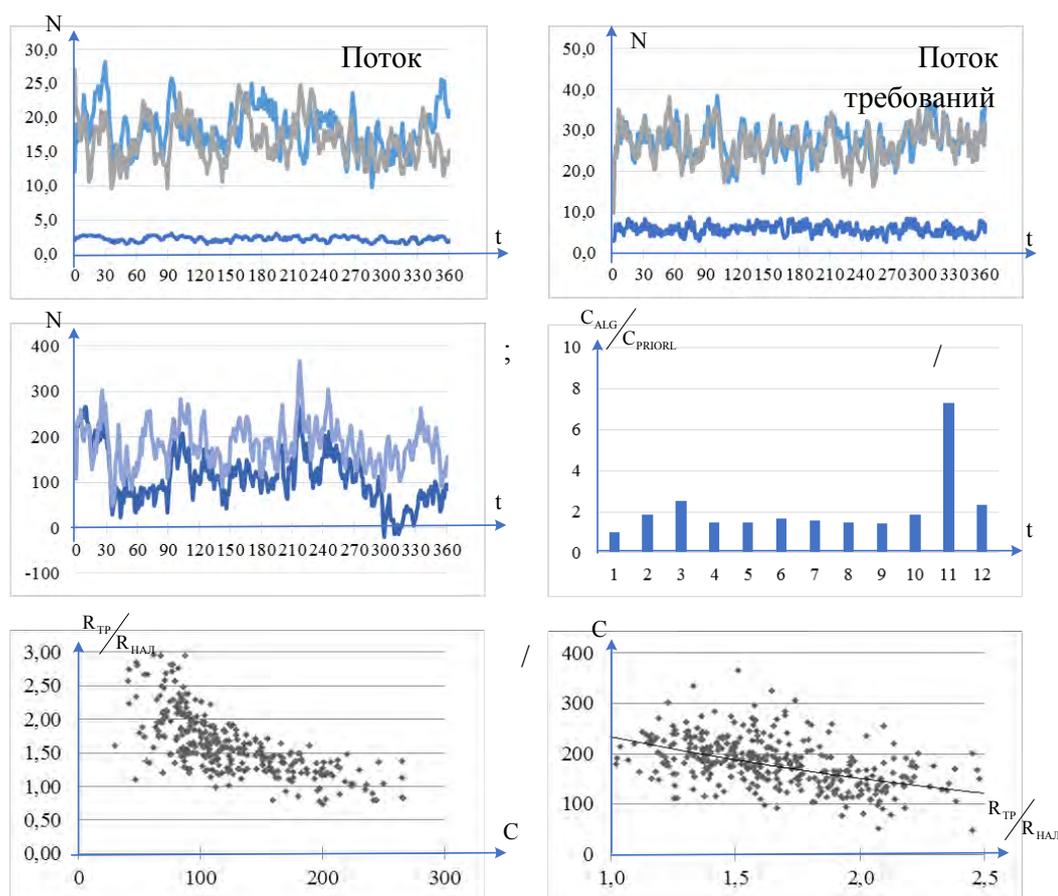


Рисунок 7 – Экспериментальная оценка эффекта комплекса алгоритмов при нестационарном потоке ресурсов

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

1. Проведенное исследование существующих подходов к построению АСУП предприятий отрасли информационных технологий показало, что наличие высокого уровня изменения внешних условий приводит к высокой интенсивности заявок на модернизацию ФП АСУП. Рассмотрены типовые варианты организации подсистемы и процессов модернизации ФП АСУП. Показано, что в отличие от традиционной схемы обеспечения ресурсами, для предприятий характерно множество источников поступления ресурсов в организации.

2. В работе предложена модель процесса обслуживания заявок на модернизацию автоматизированной системы управления предприятием, позволяющая при заданном количестве источников ресурсов и характеристиках потока заявок от функциональных подсистем, получить оценку потребности в ресурсах в момент времени  $t$ . Особенности разработанной модели отражены в публикациях [1, 12, 13].

3. Разработан метод формирования параметров процесса модернизации функциональных подсистем с динамически изменяемыми правилами обслуживания заявок, позволяет реализовать управление размером очереди заявок на модернизации на основе трехкритериального подхода к принятию решения об обслуживании заявок на модернизацию, что в свою очередь, позволяет реализовать управление выбором требуемых источников ресурсов из множества доступных. Предложенный метод был реализован в патенте на изобретение [6].

4. Предложен комплекс алгоритмов, обеспечивающий сокращение времени получения входных данных для формирования плана модернизации ФП в заданный момент времени  $t$  за счет параллельного выполнения процедур управления: очередью заявок на модернизацию и источниками поступления ресурсов, которые являются независимыми процессами. Особенности разработанного комплекса алгоритмов отражены в публикациях [3, 4]. По результатам экспериментов эффект более значим при ресурсообеспеченности менее 0,8 и при длине участков стационарности более двух недель.

5. Разработана архитектура программного комплекса поддержки принятия решений на модернизацию функциональных подсистем автоматизированной системы управления предприятием отрасли информационных технологий и выполнена ее программная реализация, успешно внедренная в ООО «ТехАргос», что позволило автоматизировать процессы ресурсного обеспечения процесса управления заявками на ИТ-ресурсы.

**Рекомендации.** Разработанную программную реализацию управления процессом модернизации ФП АСУП предлагается использовать как компонент в работе подсистемы управления модернизацией ФП АСУП предприятий ИТ-отрасли.

**Перспективными направлениями дальнейших исследований** являются:

– разработка механизмов учета ресурсов, существующих в организации и задания для них параметров, которыми они обладают, что в последствии можно будет использовать для разработанного метода формирования параметров

процесса модернизации функциональных подсистем с динамически изменяемыми правилами обслуживания заявок;

– анализ возможности применения и адаптации разработанных научных положений для применения в различных областях деятельности.

### **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

*В рецензируемых научных изданиях из перечня Министерства образования и науки РФ:*

**1. Абдалов, А.В.** Модель распределения ресурсов нескольких источников при реконфигурации ИТ-инфраструктуры / А.В. Абдалов, В.Г. Гришаков, И.В. Логинов // Информационные системы и технологии, 2019. №2(112) – С. 5-16 (уровень журнала К3, с 01.02.2022 – 2.3.3).

**2. Абдалов, А.В.** Методика оценки ценности развертывания ИТ-сервисов для автоматизации организаций / А.В. Абдалов // Системы управления и информационные технологии, 2021. – С. 24-30 (уровень журнала К2, с 01.02.2022 – 2.3.3).

**3. Абдалов, А.В.** Сравнительный анализ алгоритмов выбора заявок на создание информационных сервисов в реконфигурируемых системах / А.В. Абдалов, В.Г. Гришаков, И.В. Логинов // Информационные системы и технологии, 2021. №2(124) – С. 71-80 (уровень журнала К2, с 01.02.2022 – 2.3.3).

**4. Абдалов, А.В.** Разработка алгоритма оптимального выбора заявок на создание информационных сервисов в реконфигурируемых системах / А.В. Абдалов, В.Г. Гришаков, И.В. Логинов // Информационные системы и технологии, 2021. №3(125) – С. 88-96 (уровень журнала К2, с 01.02.2022 – 2.3.3).

**5. Абдалов, А.В.** Оценка критериев принятия решения при выборе заявок на проектирование инфокоммуникационных сервисов в условиях нестационарного потока ресурсов / А.В. Абдалов, В.Г. Гришаков, И.В. Логинов // Инфокоммуникационные технологии. – Самара: ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики». – 2021. - Т.19. №2 – С. 135-145 (уровень журнала К3, с 01.02.2022 – 2.3.3).

**6. Абдалов, А.В.** Метод адаптивного управления развитием инфокоммуникационных инфраструктур / А.В. Абдалов, В.Г. Гришаков, И.В. Логинов // Экономика. Информатика. – Белгород: НИУ «БелГУ». – 2021. – С. 784-793 (уровень журнала К1, с 20.03.2023 – 2.3.3)

**7. Абдалов, А.В.** Анализ эффективности процесса обслуживания потока заявок на создание ИТ-сервисов с использованием имитационной модели / А.В. Абдалов, В.Г. Гришаков, И.В. Логинов // Программные продукты и системы. – Тверь: Научно исследовательский институт «Центрпрограммсистем». – 2022. № 1. – С. 75-82 (уровень журнала К1, с 01.02.2022 – 2.3.3)

*Публикации в изданиях, индексируемых в Scopus:*

**8. Abdalov A.V.** Resource planning algorithm for reconfigurable information system development in the case of several sources of resource / A.V. Abdalov, V.G. Grishakov, I.V. Loginov // III International Workshop MIP: Computing-2021 – Modeling, Information Processing and Computing. - P. 91-97.

*Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных, патентов на изобретения:*

9. Патент на изобретение №2729228 Российская Федерация. Способ управления распределением ресурсов в распределенных информационно-вычислительных средах / А.В. Абдалов, В.Г. Гришаков, И.В. Логинов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации». – №2019143703; заявл. 25.12.2019; опубл. 25.08.2020. М.: Роспатент, 2020.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019614801. Программа по расчету оптимальных планов распределения информационно-телекоммуникационных ресурсов организации, динамически поступающих из нескольких источников, между проектами реализации ИТ-сервисов / А.В. Абдалов, В.Г. Гришаков, И.В. Логинов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»; заявл. 04.04.2019; опубл. 12.04.2019. М.: ФИПС, 2019.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008611382. Альтернатива МАИ / П.Ю. Хахамов, А.В. Абдалов, А.И. Войцеховский; заявители и правообладатели Хахамов П.Ю., Абдалов А.В., Войцеховский А.И.; заявл. 05.02.2008; опубл. 19.03.2008. М.: ФИПС, 2008.

*В других изданиях:*

12. **Абдалов, А.В.** Оптимальное распределение ресурсов в процессе создания и модернизации ИТ-сервисов корпоративной информационно-коммуникационной системы / А.В. Абдалов // Информационные технологии моделирования и управления, 2016. Т. 101. № 5. С. 388-396.

13. **Abdalov A.V.** A method for planning IT infrastructure reconfiguration when the flow of automation request is uncertain and resources flow is unsteady / A.V. Abdalov // Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis MIP-2021'AS. Proceedings of the XXVI-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA, January 2021). Editor in Chief O.Ja. Kravets. Yelm, 2021. С. 96-100.

14. **Абдалов, А.В.** Модель потокового создания ИТ-сервисов в ИТ-подразделении крупномасштабных организаций / А.В. Абдалов, В.Г. Гришаков, И.В. Логинов // Информационные технологии моделирования и управления, 2021. Т. 123. № 1. С. 52-58.

15. **Абдалов, А.В.** Подход к потоковому моделированию процессов функционирования ИТ-подразделений // Сборник научных трудов Актуальные аспекты фундаментальных и прикладных трудов. Среднерусский институт управления – филиал РАНХиГС. Орёл, 2023. Выпуск № 16. С. 103-106.

16. **Абдалов, А.В.** Подход к потоковому моделированию процессов функционирования ИТ-подразделений // Сборник трудов V Юбилейной Международной научно-практической конференции. Брянск, 2023. С. 20-25.

17. **Абдалов, А.В.** Algorithmic and software support for decision-making in the management of IT departments // Modern informatization problems in simulation and social technologies (MIP-2023'SCT). Proceedings of the XXVIII-th International Open Science Conference Yelm, WA, USA, 2023. P. 4-8.

Подписано в печать 19.09.2024. Формат 60×90/16  
Гарнитура Times New Roman. Усл. п. л. 1,4. Тираж 80 экз. Заказ 192  
Оригинал-макет подготовлен и тиражирован в ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ»  
308015 г. Белгород, ул. Победы, 85. Тел.: 30-14-48