

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»**

На правах рукописи



**Фрасын Павел Геннадьевич**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНОЙ СРЕДОЙ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ**

2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва, 2026 г.

Работа выполнена на кафедре «Автоматики и промышленной электроники» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент Рыжкова Елена Александровна, профессор кафедры «Автоматики и промышленной электроники» ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)».

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,  
профессор Староверов Борис  
Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Костромской государственной университет (КГУ), профессор кафедры «Технологии машиностроения, автоматике и микропроцессорной техники»

кандидат технических наук, доцент  
Марьясин Олег Юрьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», доцент кафедры «Кибернетики»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственной технической университет».

Защита состоится «21» мая 2026 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.09 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» (125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9, ауд. 443, конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ им. Д.И. Менделеева и на официальном сайте [https://www.muotr.ru/university/departments/ods/inhouse/inhouse\\_announcements](https://www.muotr.ru/university/departments/ods/inhouse/inhouse_announcements).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 года.

Ученый секретарь диссертационного  
совета РХТУ.2.6.09

Кандидат технических наук, доцент



В.А. Василенко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В интегрированных автоматизированных системах управления (ИАСУ) нижний уровень связан с управлением технологическими процессами и формированием оперативной информации о ходе производства. На данном уровне функционирует автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП), в составе которой диспетчерская подсистема реализуется средствами SCADA-систем. Они обеспечивают мониторинг состояния технологического процесса, визуализацию параметров, регистрацию и архивирование данных, обработку событий и передачу команд на уровень управления оборудованием.

Корректность функционирования SCADA-систем в значительной степени определяется согласованностью средств программной среды диспетчерского уровня АСУТП и характером их взаимодействия. Нарушения в работе программной среды приводят к искажению информационной модели технологического процесса, увеличению времени реагирования на отклонения, снижению эффективности операторского контроля и формированию условий, повышающих вероятность технологических и информационных рисков.

Фактическая конфигурация программной среды определяется текущим составом программных компонентов, их версиями, параметрами настройки и условиями межкомпонентного взаимодействия. Длительное функционирование системы сопряжено с воздействием дестабилизирующих факторов, связанных с аппаратными отказами, эксплуатационными вмешательствами и неявными дефектами программного обеспечения. Под влиянием указанных факторов в процессе эксплуатации возможно отклонение фактических параметров программной среды от нормативного конфигурационного описания при сохранении внешней работоспособности системы.

Эксплуатационное сопровождение программной среды ориентировано преимущественно на обеспечение работоспособности системы и контроль функциональных и эксплуатационных признаков ее функционирования, наблюдаемых в процессе эксплуатации. Указанные процедуры направлены на подтверждение выполнения системой заданных функций и, как правило, не предполагают регулярного детального сопоставления фактической конфигурации программной среды с ее нормативным описанием. Вследствие этого отдельные конфигурационные расхождения, не проявляющиеся на уровне

функциональных признаков, могут сохраняться на ранних этапах эксплуатации и выявляться лишь при дальнейшем развитии нарушения, что сопровождается ростом неопределенности при диагностике и увеличением трудоемкости восстановительных процедур.

Указанные обстоятельства обуславливают актуальность научно-технической задачи по разработке методов формализованной организации и автоматизации сопровождения программной среды обеспечивающих подсистем диспетчерского уровня АСУТП. Предлагаемые решения ориентированы на контроль соответствия фактической конфигурации нормативному описанию в процессе эксплуатации, что позволяет повысить эффективность эксплуатационных процедур и обеспечить снижение трудоемкости контрольно-диагностических операций.

**Степень разработанности темы.** Теоретические основы системного анализа, математических методов, компьютерного моделирования и оптимизации функционирования сложных технических систем разработаны в трудах академиков АН СССР В.М. Глушкова, В.В. Кафарова и В.А. Трапезникова, академиков РАН В.П. Мешалкина и Д.А. Новикова, а также профессоров А.Ф. Егорова и Ф.Ф. Пащенко.

В отечественных и зарубежных исследованиях представлены результаты, связанные с организацией функционирования программных и вычислительных сред сложных технических систем, включая вопросы архитектурной организации, распределения ресурсов, модернизации программных компонентов и согласованности вычислительных сред. В трудах ряда отечественных и зарубежных исследователей, в том числе А.В. Абдалова, К.И. Воловича, А.В. Котенко, В.В. Сивова, А.А. Спицына и других, а также в работах зарубежных авторов, включая R.N. Taylor, N. Medvidovic, E. Dashofy, D. Schmidt и L. Varesi, рассмотрены вопросы построения и сопровождения программных систем.

Наличие теоретических и практических работ отечественных и зарубежных исследователей подтверждает актуальность рассматриваемой тематики и характеризует определенную степень ее научной разработанности. В существующих исследованиях рассматриваются вопросы формализованного описания и сопровождения программных систем, однако они, как правило, ориентированы на общие вычислительные и информационные среды и не учитывают эксплуатационную специфику программной среды диспетчерского уровня АСУТП, связанную с регламентированным характером изменений, необходимостью формализованного выполнения процедур сопровождения и контроля конфигурационных параметров в условиях промышленной эксплуатации. Указанные

особенности определяют необходимость дальнейшего развития данных положений применительно к задачам сопровождения программной среды АСУТП.

**Объектом исследования** является архитектура и организация программной среды диспетчерского уровня АСУТП.

**Предметом исследования** являются процессы формирования, изменения и сопровождения конфигурации программной среды диспетчерского уровня АСУТП в процессе эксплуатации.

**Целью исследования** является разработка методов автоматизированного сопровождения конфигурации программной среды диспетчерского уровня АСУТП, обеспечивающих ее соответствие нормативному описанию в процессе эксплуатации. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Сформулировать и обосновать постановку задачи управления конфигурацией программной среды диспетчерского уровня АСУТП в условиях промышленной эксплуатации.

2. Разработать модель формализованного представления фактической конфигурации программной среды диспетчерского уровня АСУТП, обеспечивающую получение параметрического представления на основе эксплуатационно доступных данных, пригодного для сопоставления с нормативным конфигурационным описанием.

3. Разработать методы автоматизированного управления конфигурацией программной среды АСУТП, обеспечивающие выявление конфигурационных отклонений, формирование корректирующих воздействий и поддержание нормативной конфигурации в процессе эксплуатации в рамках регламентированных процедур сопровождения.

4. Разработать систему автоматизированного сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП, обеспечивающую практическую реализацию разработанных моделей и методов управления конфигурацией и их интеграцию в процессы промышленной эксплуатации.

5. Провести экспериментальную верификацию разработанных методов и системы сопровождения на промышленной программной среде диспетчерского уровня АСУТП водозаборного узла.

6. Выполнить количественную оценку эффективности системы сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП путем сопоставления фактической трудоемкости процедур сопровождения до и после ее внедрения.

**Методы исследования.** Решение поставленных в диссертации задач основано на использовании положений системного анализа и алгоритмических методов. Для формализованного представления конфигурации программной среды и процессов ее изменения использованы элементы теории множеств. Анализ состава программной среды и взаимодействия ее компонентов выполнен с применением методов структурно-функционального и архитектурного анализа.

**Научная новизна работы** характеризуется следующими результатами:

1. Разработана модель формализованного представления конфигурации программной среды диспетчерского уровня АСУТП, которая ориентирована на задачи эксплуатационного сопровождения и обеспечивает сопоставимость фактической и нормативной конфигураций за счет их представления в едином параметрическом виде;

2. Разработаны модели управления конфигурацией программной среды АСУТП, включающие модель формирования регламентных корректирующих воздействий на основе сопоставления фактической и нормативной конфигураций и модель их исполнительного выполнения в условиях эксплуатации;

3. Разработаны методы автоматизированного сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП, основанные на формализованном конфигурационном описании программных компонентов и разработанных моделях управления конфигурацией, обеспечивающие поддержание согласованности их состава и параметров в процессе эксплуатации;

4. Разработан метод архитектурной организации централизованного сопровождения программной среды АСУТП, основанный на вынесении функций сопровождения в специализированный контур, функционально независимый от прикладных программных компонентов.

**Теоретическая значимость** работы заключается в развитии научных основ построения и сопровождения программной среды автоматизированных систем управления технологическими процессами. В работе сформулированы и обоснованы теоретические положения, направленные на формализацию представления конфигурации программной среды и процессов ее приведения и поддержания в процессе эксплуатации, что расширяет теоретическую базу проектирования архитектур и организации сопровождения сложных программных комплексов автоматизированных систем управления.

**Практическая значимость** заключается в возможности применения разработанных методов и программного комплекса при эксплуатации программной среды диспетчерского уровня АСУТП для формализованного контроля ее конфигурационного состояния. Реализация предложенных решений обеспечивает автоматизированное выявление конфигурационных отклонений, формирование проекта корректирующих воздействий и поддержку процедур восстановления нормативной конфигурации в регламентированных условиях эксплуатации. Использование системы позволяет снизить трудоемкость контрольно-диагностических и восстановительных операций, а также уменьшить риск накопления скрытых конфигурационных расхождений.

Практическая значимость работы подтверждается 6 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ, зарегистрированными в Федеральной службе по интеллектуальной собственности Российской Федерации.

**Реализация и внедрение научно-технических результатов работы.** Результаты работы внедрены в деятельность ООО «АК-Системы» и ООО «Самолет-Ресурс».

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Формализованное представление конфигурации программной среды диспетчерского уровня АСУТП, включающее описание состава программных компонентов и их параметров;

2. Императивный и декларативный методы приведения конфигурации программной среды АСУТП к заданному представлению, отличающиеся принципами формирования и применения корректирующих воздействий;

3. Архитектурная организация контура сопровождения программной среды АСУТП, предусматривающая централизованное исполнение процедур сопровождения и различные варианты его размещения в структуре программной среды;

4. Метод автоматизированного сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП, основанный на формализованном конфигурационном описании программных компонентов;

5. Программный комплекс сопровождения программной среды АСУТП, обеспечивающий реализацию формализованных методов контроля, приведения и поддержания конфигурации программных компонентов.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались на XXV Международном научно-практическом форуме «SMARTEX» (Иваново, 2022), 56-й

Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов ВГТУ (Витебск, 2023), Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности» (ИНТЕКС-2023, Москва), XV Международной интернет-конференции «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (InnoTech 2023, Пермь), научно-практической конференции имени профессора Я.В. Мильмана (Москва, 2023, 2024), III Междисциплинарной студенческой научно-практической конференции «Студенческая научно-исследовательская лаборатория: современное состояние и перспективы» (Краснодар, 2024), а также на IV Международной научно-практической конференции «Цифровая трансформация социальных и экономических систем» – DIGITAL2025 (Москва, 2024).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 16 печатных научных работ, в том числе 4 статьи в изданиях, входящих в «Перечень ВАК» и 2 статьи «SCOPUS». Получено 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка терминов, списка литературы из 158 наименований и 8 приложений. Работа содержит 159 страниц основного текста, включая 77 рисунков и 6 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследований, охарактеризована степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи работы, представлена научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** выполнен анализ архитектуры программной среды диспетчерского уровня АСУТП и организации ее эксплуатационного сопровождения.

В составе современных ИАСУ АСУТП реализуются в виде многоуровневой иерархической системы, в которой функции оперативного контроля, визуализации состояния технологического объекта, регистрации событий, архивирования параметров и взаимодействия с оператором сосредоточены на диспетчерском уровне.

Реализация указанных функций осуществляется средствами SCADA-систем, функционирующих в составе программной среды диспетчерского уровня (рисунок 1).

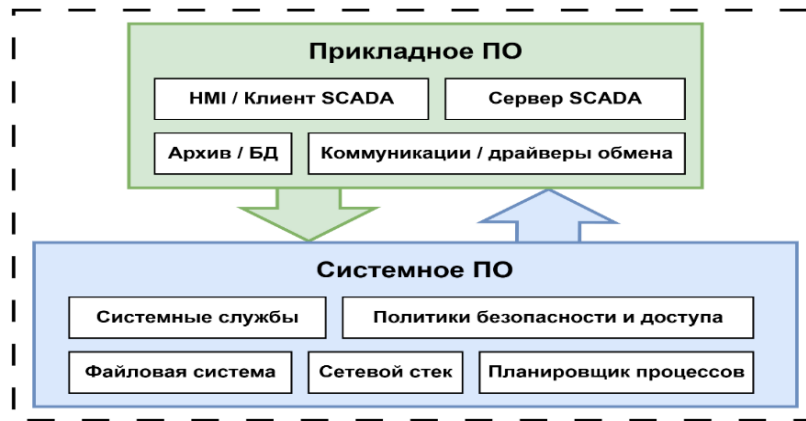


Рисунок 1 – Программная среда диспетчерского уровня АСУТП

Программная среда состоит как из системного, так и прикладного ПО, к которому относятся SCADA-системы. При этом функционирование диспетчерского уровня определяется параметрами и взаимодействием компонентов программной среды в целом.

Формализованным представлением состава и параметров программной среды является ее конфигурация. Она включает системные параметры операционной и вычислительной среды, а также прикладные и проектные параметры диспетчерского проекта SCADA-системы, влияющие на обработку технологических данных.

В проектной документации, формируемой при создании диспетчерской системы, а также в эксплуатационной документации фиксируются требования к составу ПО и его параметрам, соответствие которым подтверждается результатами испытаний. В настоящей работе совокупность указанных требований и параметров принимается в качестве нормативного конфигурационного описания.

После ввода системы в промышленную эксплуатацию выполняются регламентные процедуры сопровождения, ориентированные на контроль, оценку и поддержание ее корректного функционального состояния и работоспособности в соответствии с нормативными требованиями.

В ходе длительной эксплуатации под воздействием дестабилизирующих факторов конфигурационные отклонения могут накапливаться и иметь отложенный характер проявления, не выявляясь по наблюдаемым функциональным и эксплуатационным признакам при сохранении формальной работоспособности системы.

При возникновении функциональных нарушений, причины которых не выявляются по наблюдаемым признакам, возникает необходимость проведения трудоемких процедур углубленного конфигурационного аудита, основанного на детальном сопоставлении фактической и нормативной конфигураций.

Реактивный характер таких процедур свидетельствует о том, что при существующей организации сопровождения конфигурация программной среды не рассматривается как объект самостоятельного формализованного контроля и управления, что приводит к формированию конфигурационного дрейфа.

Выявленные ограничения процедур сопровождения и недостаточная научная проработанность задач формализованного контроля стали основанием для постановки задачи управления конфигурацией программной среды.

Управление конфигурацией направлено на поддержание соответствия ее фактического состава и параметров нормативному описанию. Оно реализуется на основе сопоставления фактической и нормативной конфигураций, идентификации отклонений и формирования проекта корректирующих воздействий, который применяется ответственным персоналом с учетом текущих условий эксплуатации (рисунок 2).

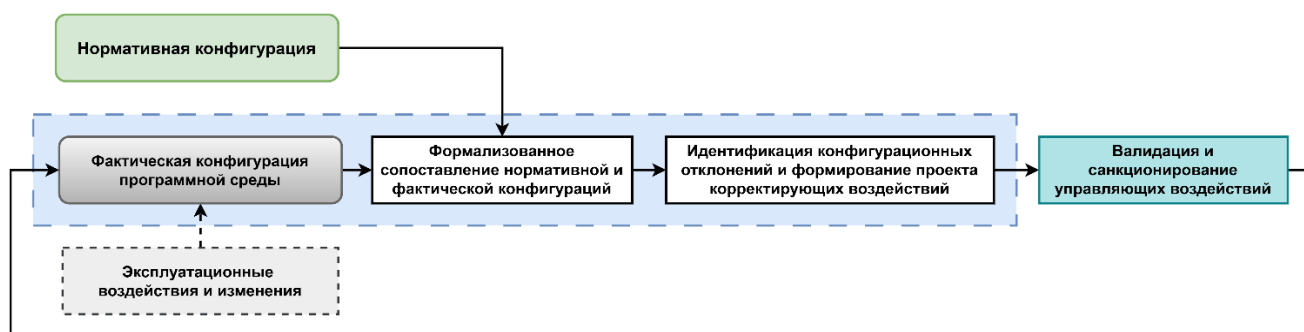


Рисунок 2 – Автоматизированный контур управления конфигурацией

В настоящей работе предложена концепция системы сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП (рисунок 3).

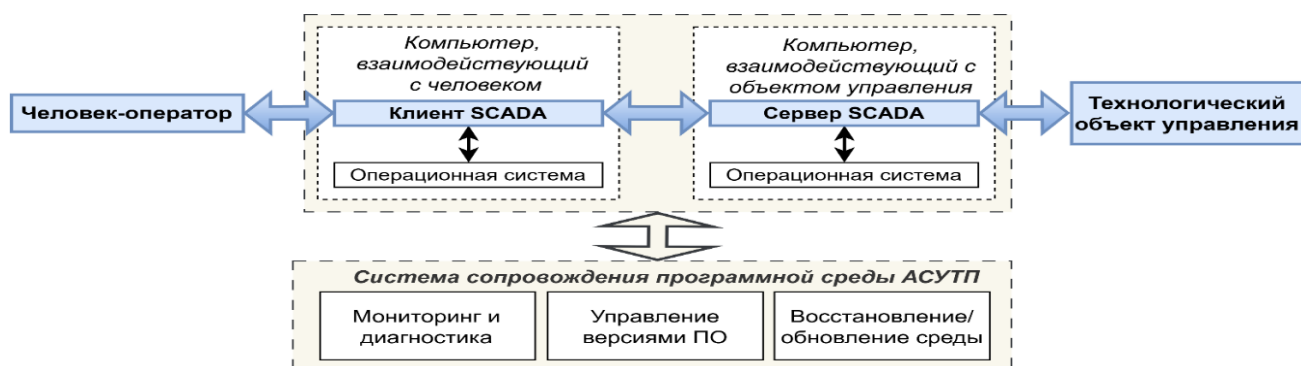


Рисунок 3 – Функциональная структура программной среды АСУТП

Указанная система обеспечивает реализацию автоматизированной части контура управления конфигурацией.

**Во второй главе** разработаны методологические основы организации и автоматизации сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП.

Конфигурационные параметры программной среды в процессе функционирования не представлены в явном виде и не пригодны для непосредственного формального анализа. В связи с этим вводится процедура воспроизведения конфигурационного состояния, обеспечивающая формирование формализованного представления фактической конфигурации программной среды на основе эксплуатационно доступных данных.

Ее результатом является представление фактической конфигурации в момент времени  $t$ , обозначаемое как  $S(t)$  и задаваемое множеством параметров (1), которое используется как модель фактической конфигурации программной среды.

$$S(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t)\}, \quad (1)$$

где  $s_i(t)$  – параметр формализованного представления, формируемый на основе эксплуатационно доступных данных исполняемой программной среды.

Параметры модели  $S(t)$  рассматриваются как структурированные объекты конфигурации, отражающие состав программных компонентов, их иерархию, привязки и ограничения. Допускается представление параметров  $s_i(t)$  как в виде элементарных значений, так и в виде составных описаний с рекурсивной вложенностью. Это позволяет формализовать древовидные и иерархические зависимости программных компонентов и учитывать взаимосвязи между элементами программной среды при сопоставлении и преобразовании конфигурационных параметров.

В общем случае параметр  $s_i(t)$  может быть представлен в виде структурированного объекта (кортежа), задаваемого выражением (2).

$$s_i(t) = \langle id_i, type_i, V_i(t), D_i(t) \rangle, \quad (2)$$

где  $id_i$  – идентификатор объекта конфигурации (сервер, сервис, проект и т.д.);  $type_i$  – тип объекта (SCADA-сервер, сервис, библиотека, вычислительный узел и др.);  $V_i(t)$  – совокупность собственных параметров объекта в момент времени  $t$  (версия, путь, порт, режим функционирования и др.);  $D_i(t)$  – совокупность вложенных структур и зависимых элементов, каждый из которых может быть представлен в аналогичном виде.

Полнота модели  $S(t)$  определяется ее пригодностью для автоматизированного сопоставления с нормативным описанием в заданной области конфигурационного контроля, а достоверность – результатом автоматизированной проверки корректности

воспроизведения конфигурационного состояния и воспроизводимости результата при повторном формировании в сопоставимых условиях.

Управление конфигурацией рассматривается как формализованный процесс приведения и поддержания состояния программной среды в соответствии с нормативным описанием, задающим  $S_{\text{цел}}$ , представленную в той же системе параметров, что  $S(t)$ .

Предложены две модели управления конфигурацией. Императивная модель формализуется в виде упорядоченной последовательности регламентированных операций сопровождения  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , поэтапно преобразующих  $S(t)$  в требуемую  $S_{\text{цел}}$  по рекуррентной схеме (3)-(5).

$$S(t + 1) = A_1(S(t)) \quad (3)$$

$$S(t + 2) = A_2(S(t + 1)) \quad (4)$$

...

$$S_{\text{цел}} = A_n(S(t + n - 1)) \quad (5)$$

Каждое действие  $A_i$  соответствует регламентированной операции сопровождения.

Императивный метод управления конфигурацией, основанный на разработанной модели, показан на рисунке 4.

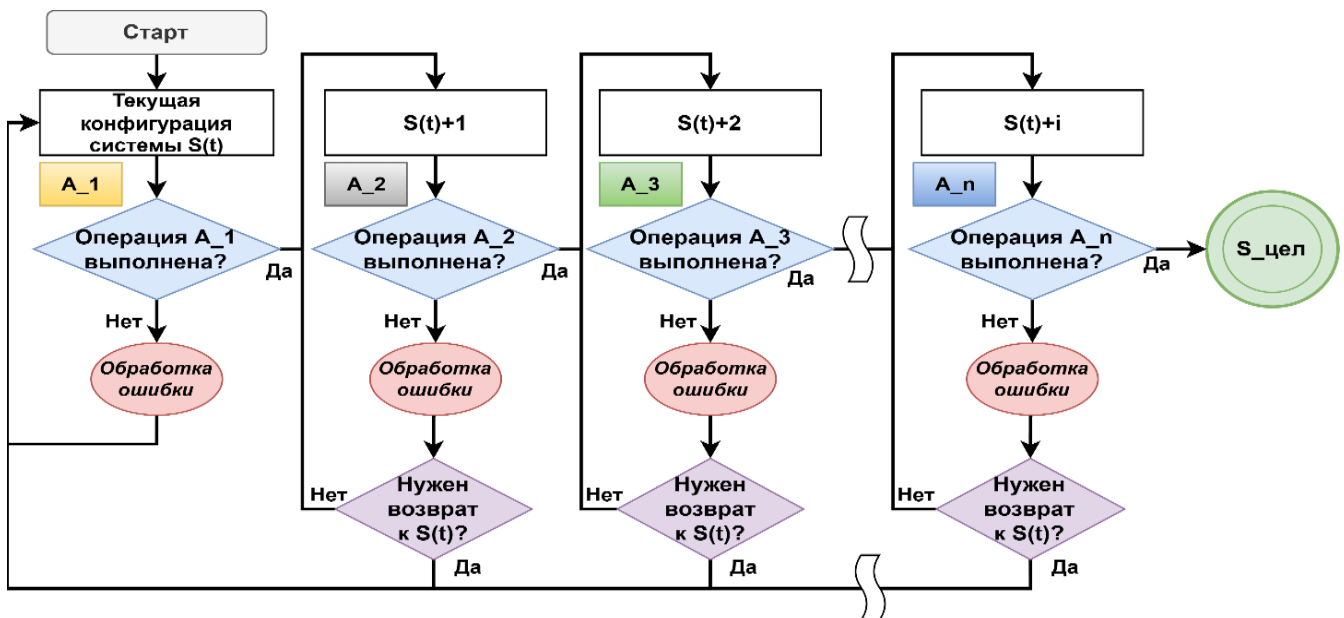


Рисунок 4 – Императивный метод управления конфигурацией программной среды

Декларативная модель управления конфигурацией основана на сопоставлении  $S(t)$  с нормативным описанием  $S_{\text{цел}}$ . Оно представляется в виде множества нормативных параметров (6).

$$S_{\text{цел}} = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}, \quad (6)$$

где параметрами  $r_i$  являются заданные характеристики программной среды.

Для формализации процесса выявления конфигурационных расхождений вводится вектор отклонений (7).

$$e(t) = \delta(S_{\text{цел}}, S(t)) \quad (7)$$

где  $\delta$  - оператор покомпонентного сопоставления параметров конфигурации.

На основании выявленных отклонений  $e(t)$  определяется проект корректирующих воздействий  $\Delta S$  с использованием функции их формирования (8).

$$\Delta S = F(S(t), e(t)), \quad (8)$$

где  $F$  - функция формирования корректирующих воздействий, задающая правила определения состава и параметров операций сопровождения.

Реализация сформированного  $\Delta S$  осуществляется посредством ранее описанного императивного метода сопровождения и представляется в виде набора операций (9).

$$\Delta S = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\} \quad (9)$$

Переход к требуемой конфигурации выражается как результат применения  $\Delta S$  (10).

$$S_{\text{цел}} = \Delta S(S(t)) \quad (10)$$

На основе разработанной декларативной модели сформирован метод управления конфигурацией, представленный в виде алгоритма на рисунке 5.

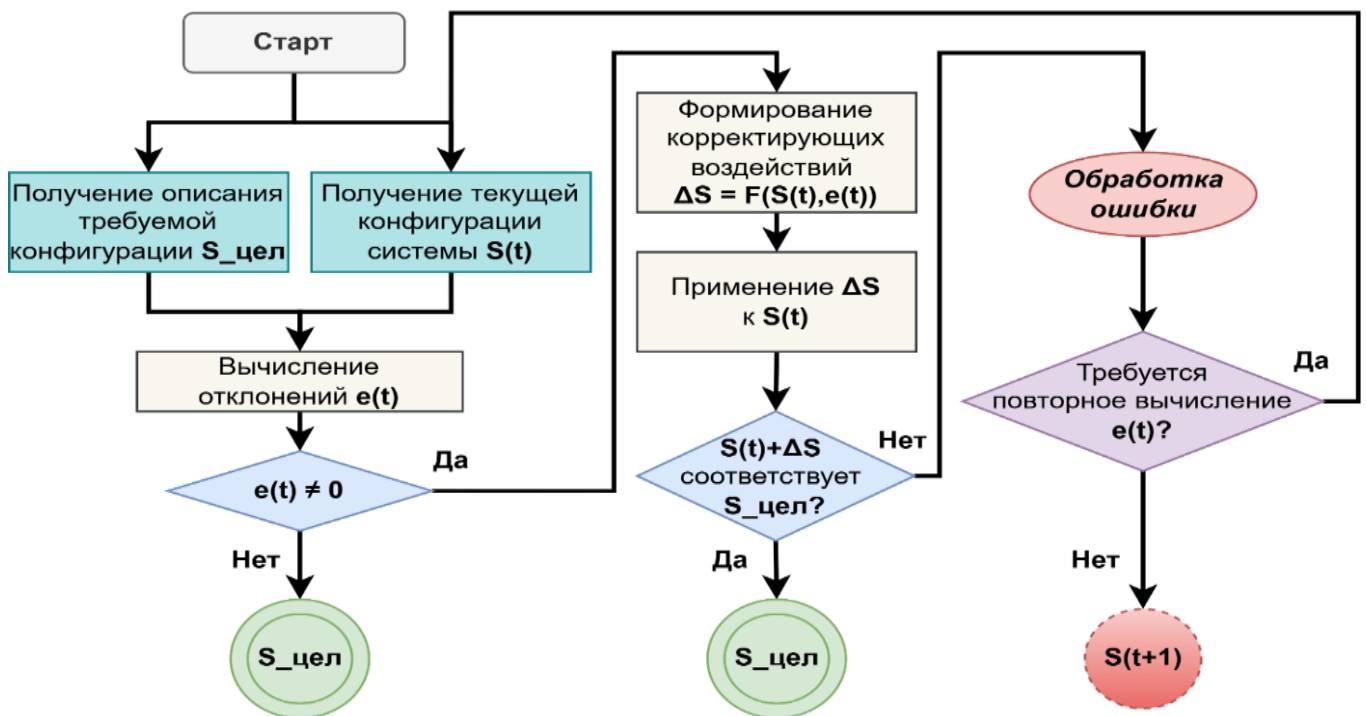


Рисунок 5 – Декларативный метод управления конфигурацией программной среды

В результате сформирован метод централизованного сопровождения программной среды, представленный на рисунке 6.

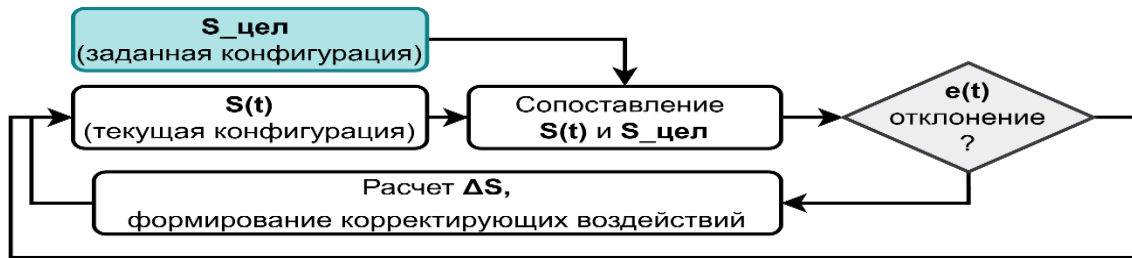


Рисунок 6 – Метод централизованного управления процедурами сопровождения

Предложенный метод реализует замкнутый контур управления конфигурацией на основе сопоставления  $S(t)$  с  $S_{цел}$  и автоматизированного формирования проекта корректирующих воздействий в процессе эксплуатации.

В третьей главе представлена практическая реализация системы сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП и сформирована экспериментальная программно-техническая база для верификации разработанных методов.

В качестве объекта внедрения использован промышленный водозаборный узел (ВЗУ) с непрерывным режимом функционирования, включающий группы артезианских скважин (СКВ), станции водоподготовки, резервуары чистой воды (РЧВ) и насосную станцию. Структурная схема технологического объекта приведена на рисунке 7. Диспетчерское управление технологическим процессом реализовано средствами SCADA-системы.

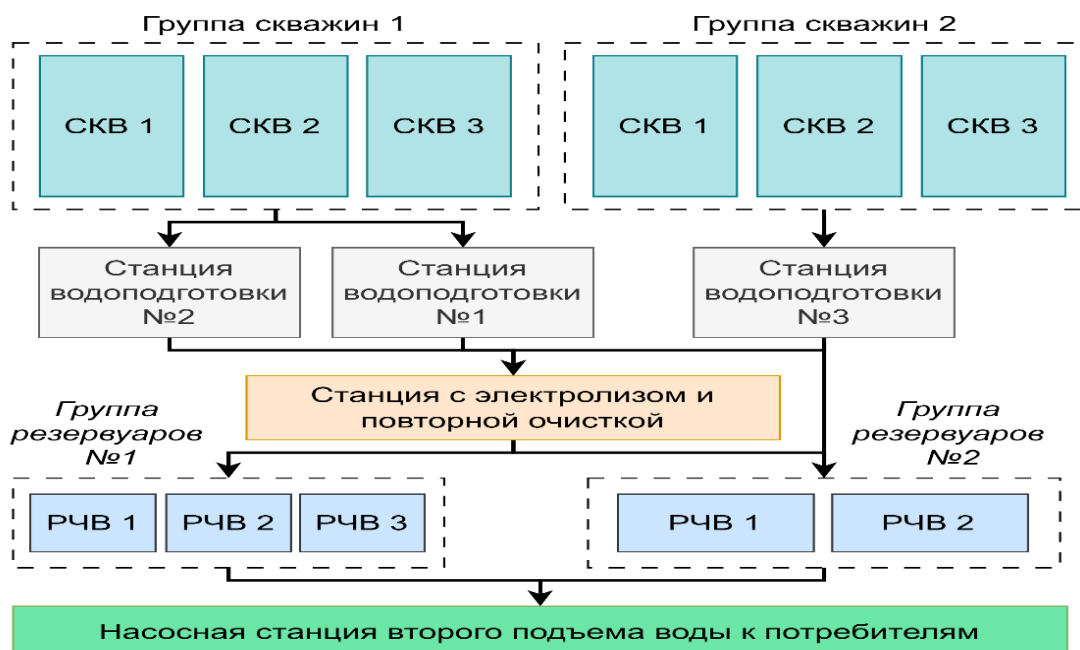


Рисунок 7 – Структурная схема технологического объекта

Прикладная часть системы диспетчеризации реализована в виде компонентной архитектуры (рисунок 8). В ее состав входят функционально обособленные программные модули, обеспечивающие сбор, обработку, хранение и визуализацию технологических данных.

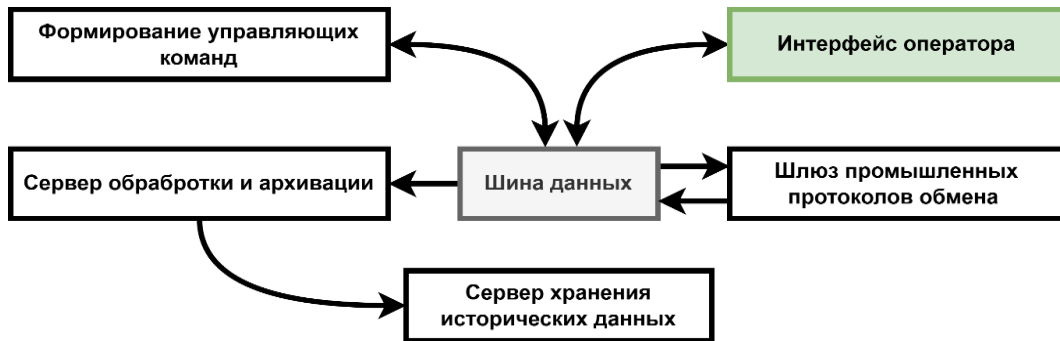


Рисунок 8 – Структурная схема компонентной архитектуры программной среды

В рамках реализованной системы выполнена автоматизация процедур управления конфигурацией программной среды диспетчерского уровня АСУТП.

Нормативное конфигурационное описание  $S_{\text{цел}}$  формируется в параметризованном машинно-интерпретируемом виде и используется для автоматизированного сопоставления  $S(t)$ , получаемой в процессе эксплуатации.

В области конфигурационного контроля учитываются параметры состава и размещения программных компонентов, их взаимодействия, а также системные и прикладные параметры.

Применение сформированного проекта корректирующих воздействий осуществляется в автоматизированном режиме с возможностью организационного подтверждения выполнения операций эксплуатационным персоналом.

Система сопровождения реализована в виде разработанного в рамках работы программного комплекса, формализующего логику процедур приведения программной среды в соответствие с нормативной конфигурацией (рисунок 9).

All 4		Active	Inactive				New schedule	
Description	Interval	Target	Last Pipeline	Next Run	Owner			
[Томилино] Проверка конфигурационного состава	56 23 * * * Europe/Moscow	🔗 main	✅ Passed	Inactive				

Рисунок 9 – Панель с перечнем операций сопровождения

Организация и управление процессами сопровождения в комплексе реализованы в компоненте CIDEploy на базе платформы Gitlab CI.

**В четвертой главе** выполнена экспериментальная верификация и анализ эффективности системы сопровождения программной среды АСУТП.

В ходе экспериментальной проверки в первую очередь подтверждено отсутствие избыточной активности системы. При фиксированном нормативном описании  $S_{\text{цел}}$  и отсутствии конфигурационных отклонений в  $S(t)$  система сопровождения функционирует без ложных срабатываний.

Для оценки соответствия  $S(t)$  и  $S_{\text{цел}}$  используется их интегральное представление в виде хеш-суммы, вычисляемой по алгоритму SHA-256. Их совпадение свидетельствует о тождественности конфигураций  $S(t) = S_{\text{цел}}$ , при котором корректирующие воздействия не формируются (рисунок 11).

```
TASK [install_play_break_content : DEBUG install_play_break_content_controller_content_hash 1] ***
Tuesday 22 July 2025 09:15:18 +0000 (0:00:00.182) 0:00:53.278 *****
ok: [prod_host_1] => (item=('src': 'current', 'value': 'c1a3bdb4a374c4a91b0038ac6ce30b567cbc4aa7e84d78bc02b37a45bef96d39'))
  "msg": "current= c1a3bdb4a374c4a91b0038ac6ce30b567cbc4aa7e84d78bc02b37a45bef96d39"
}
ok: [prod_host_1] => (item=('src': 'remote', 'value': 'c1a3bdb4a374c4a91b0038ac6ce30b567cbc4aa7e84d78bc02b37a45bef96d39'))
  "msg": "remote= c1a3bdb4a374c4a91b0038ac6ce30b567cbc4aa7e84d78bc02b37a45bef96d39"
}
TASK [install_play_break_content : end play if nothing to generate] *****
```

Рисунок 11 – Сопоставление хеш-представлений конфигураций

Затем проведена проверка диагностических свойств системы сопровождения. Она показала, что интегральное сопоставление  $S_{\text{цел}}$  и  $S(t)$  по их хеш-представлениям позволяет автоматически зафиксировать факт конфигурационного расхождения, то есть, когда  $S(t) \neq S_{\text{цел}}$  (рисунок 12).

```
TASK [install_play_break_content : DEBUG install_play_break_content_controller_content_hash 1] ***
Tuesday 22 July 2025 09:15:18 +0000 (0:00:00.182) 0:00:53.278 *****
ok: [prod_host_1] => (item=('src': 'current', 'value': 'dd3ed28a0f9316904e1beebf06f2a12324e69088812cee4a7168a8e0da78ddeb'))
  "msg": "current= dd3ed28a0f9316904e1beebf06f2a12324e69088812cee4a7168a8e0da78ddeb"
}
ok: [prod_host_1] => (item=('src': 'remote', 'value': 'c1a3bdb4a374c4a91b0038ac6ce30b567cbc4aa7e84d78bc02b37a45bef96d39'))
  "msg": "remote= c1a3bdb4a374c4a91b0038ac6ce30b567cbc4aa7e84d78bc02b37a45bef96d39"
}
TASK [install_play_break_content : configuration drift detected, correction required] *****
```

Рисунок 12 – Различие хеш-представлений между  $S(t)$  и  $S_{\text{цел}}$

При обнаружении расхождения автоматически запускается процедура поэлементного сопоставления параметров  $S(t)$  и  $S_{\text{цел}}$  в соответствии с (6)-(10). Результатом сопоставления

является ненулевой вектор отклонений  $e(t)$ , который локализует расхождения и определяет их характер.

На основе  $e(t)$  система сопровождения выполняет автоматическое вычисление корректирующих воздействий  $\Delta S$  согласно (9)-(10), необходимых для устранения расхождения. В результате формируется проект с управляющими воздействиями на программную среду. Его применение подтверждается эксплуатационным персоналом исходя из текущих условий эксплуатации.

После выполнения проекта с корректирующим воздействием повторное интегральное сопоставление конфигураций подтверждает тождественность  $S(t) = S_{\text{цел}}$ .

Количественная оценка эффективности системы сопровождения выполнена на основе данных фактической промышленной эксплуатации системы диспетчеризации ВЗУ за период 2022-2025 гг. В качестве интегрального показателя использована месячная трудоемкость сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП, выраженная в человеко-часах, динамика которой приведена на рисунке 13.

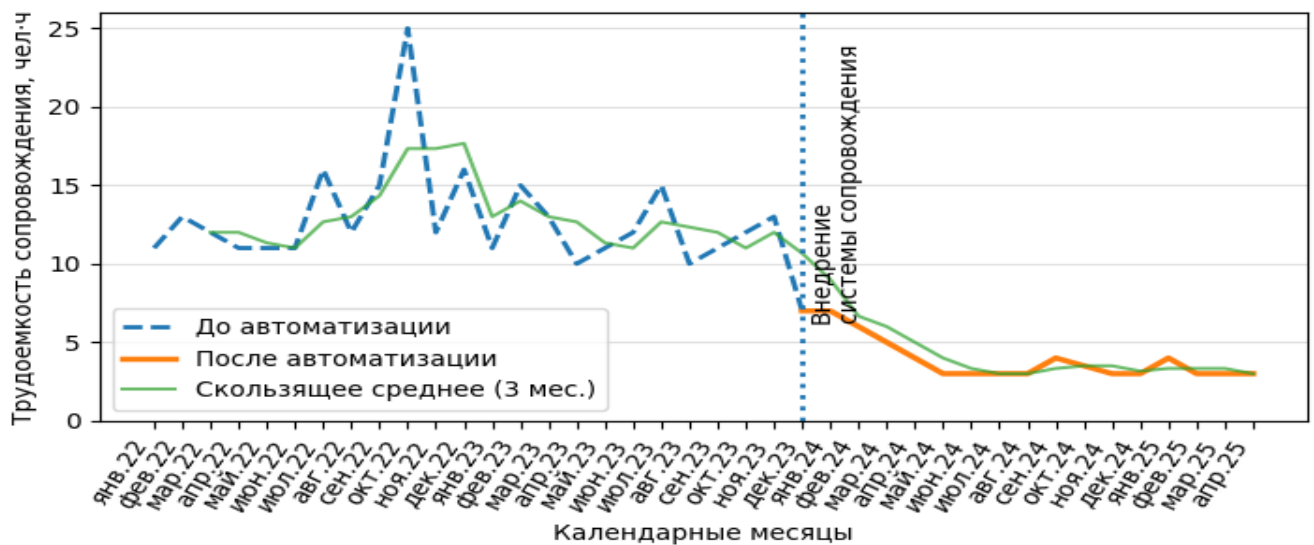


Рисунок 13 – Динамика трудоемкости сопровождения программной среды 2022-2025 год

Внедрение системы сопровождения в декабре 2023 года обеспечило снижение среднемесячной трудоемкости сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП с уровня 13,75-11,67 до 3-4 чел./ч в месяц с последующей стабилизацией на уровне около 3,25 чел./ч.

Для наглядной интерпретации полученных результатов трудоемкость дополнительно представлена в стоимостном выражении с использованием нормированной расчетной стоимости одного человеко-часа, принятой равной 2000 руб.

Обобщенные значения показателей трудоемкости сопровождения и соответствующие им стоимостные оценки за рассматриваемые периоды эксплуатации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сводные показатели трудоемкости сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП

Период эксплуатации	Среднее $T_m$ , чел. /ч/месяц	Среднемесячные затраты, тыс. руб.	Совокупные затраты за период, тыс. руб.
2022 год	13,75	27,5	330
2023 год	11,67	23,3	280
2024 год	3,96	7,9	95
январь – апрель 2025	3,25	6,5	26

Показано, что среднемесячные затраты на сопровождение программной среды снизились с 27,5 тыс. руб. в 2022 году до 6,5 тыс. руб. за первые 4 месяца 2025 года, что подтверждает устойчивость достигнутого эффекта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

1. Обоснованы эксплуатационные и архитектурные предпосылки необходимости автоматизированного сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП.
2. Разработана модель формализованного представления конфигурации программной среды диспетчерского уровня АСУТП, обеспечивающая параметрическое описание состава программных компонентов, их характеристик и сопоставимость фактической и нормативной конфигураций.
3. Предложена архитектурная организация автоматизированного сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП, основанная на выделении специализированной системы сопровождения, независимой от реализации прикладных программных компонентов.
4. Разработаны императивный и декларативный методы управления конфигурацией программной среды АСУТП, формализующие способы приведения ее к требуемым параметрам на основе регламентированных операций и автоматизированного сопоставления фактических и нормативных значений.

5. Предложен метод автоматизированного сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП, обеспечивающий автоматизированное выявление отклонений и формирование проекта корректирующих воздействий, применение которого осуществляется уполномоченным эксплуатационным персоналом в регламентированные временные интервалы.

6. Разработан программный комплекс системы сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП, реализующий предложенные архитектурные решения и методы.

7. Проведена экспериментальная верификация системы сопровождения на программной среде диспетчерского уровня действующего технологического объекта водозаборного узла, подтвердившая возможность автоматизированного выявления конфигурационных отклонений и формирования проекта корректирующих воздействий, обеспечивающих приведение фактической конфигурации к нормативному описанию в процессе эксплуатации, а также восстановление программной среды до нормативных параметров и снижение трудоемкости эксплуатационных операций.

Таким образом, в диссертационной работе решена научно-техническая задача разработки методов автоматизированного сопровождения конфигурации программной среды диспетчерского уровня АСУТП, заключающаяся в формализованной организации процедур сопровождения, обеспечении соответствия конфигурации программных компонентов нормативному описанию и восстановлении программной среды в условиях промышленной эксплуатации.

**Рекомендации и перспективы дальнейших исследований** связаны с развитием предложенных методов автоматизированного сопровождения программной среды диспетчерского уровня АСУТП в направлении интеллектуализации процедур анализа и управления конфигурацией на основе формализованных конфигурационных данных.

Существенный интерес представляет разработка методов прогнозной оценки изменений конфигурации программной среды и вероятности возникновения конфигурационных расхождений с использованием накопленных данных о составе и параметрах программных компонентов, а также истории эксплуатационных воздействий.

Дополнительного внимания требует развитие методов формального анализа эффективности процедур сопровождения и адаптивных стратегий выбора корректирующих

воздействий, ориентированных на оценку последствий конфигурационных изменений и степени достижения нормативного описания  $S_{цел}$  в различных условиях эксплуатации.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ

*Публикации в научных рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах данных научного цитирования:*

1. Фрасын П.Г. Автоматизация процесса развертывания программных технических средств систем мониторинга состояния оборудования текстильного отделочного производства и его диспетчеризации / П.Г. Фрасын, С.Л. Власов, Е.А. Рыжкова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2024. – № 5 (413). – С. 191-197. (Scopus).
2. Иванов М.С. Технические решения оптимального управления сложными многомерными динамическими объектами технологического оборудования / М.С. Иванов, П.Г. Фрасын, Ю.С. Комбаров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2024. – № 4 (412). – С. 185-189. (Scopus).

*Публикации в научных рецензируемых изданиях,  
рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:*

1. Никитин Н.В., Фрасын П.Г., Масанов Д.В. Анализ методов интеграции моделей машинного обучения в SCADA-системы // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10143](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10143)
2. Фрасын П.Г. Математическая модель управления конфигурацией программных средств в автоматизированных системах управления технологическими процессами // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2025/9924](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2025/9924)
3. Фрасын П.Г., Никитин Н.В. Методологические основания выбора средств автоматизации сопровождения программной среды верхнего уровня автоматизированных систем управления технологическими объектами // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2025/10190](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2025/10190)
4. Фрасын П.Г., Никитин Н.В., Масанов Д.В., Рыжкова Е.А. Методологические основы работы с протоколом Modbus TCP с примером на высокоуровневом языке

программирования Python // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8785](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8785)

*Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ*

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025614299 Российская Федерация. ГеоРепорт : заявл. 12.02.2025 : опубл. 20.02.2025 / П.Г. Фрасын, Н.В. Никитин, Е.А. Рыжкова, С.Л. Власов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина».
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025614303 Российская Федерация. ОператорХаб : заявл. 12.02.2025 : опубл. 20.02.2025 / П.Г. Фрасын, Н.В. Никитин, Е.А. Рыжкова, С.Л. Власов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина».
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025614578 Российская Федерация. Modus Reader : заявл. 12.02.2025 : опубл. 24.02.2025 / П.Г. Фрасын, Н.В. Никитин, Е.А. Рыжкова, С.Л. Власов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина».
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025614580 Российская Федерация. ТопикЭкспортер : заявл. 12.02.2025 : опубл. 24.02.2025 / П.Г. Фрасын, Н.В. Никитин, Е.А. Рыжкова, С.Л. Власов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина».
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024615327 Российская Федерация. Rсаріra: № 2023683619 : заявл. 09.11.2023 : опубл. 05.03.2024 / П.Г. Фрасын, Н.В. Никитин, Е.А. Рыжкова, Д.В. Масанов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина».
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022663490 Российская Федерация. Система централизованного сбора данных в сложном

технологическом процессе : № 2022662651 : заявл. 06.07.2022 : опубл. 15.07.2022 / П.Г. Фрасын, Д.В. Масанов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина».

*Публичные доклады на международных и всероссийских научных мероприятиях:*

1. Фрасын П.Г. Мониторинг и диспетчеризация водозаборного узла на базе современных цифровых технологий / П.Г. Фрасын // Цифровая трансформация социальных и экономических систем – DIGITAL2025: Материалы IV международной научно-практической конференции, Москва, 31 января 2025 года. – Москва: Московский университет им. С.Ю. Витте, 2025. – С. 618-626.
2. Никитин Н.В. Исследование эффективности работы систем обезжелезивания воды: анализ данных и выявление закономерностей / Н.В. Никитин, П.Г. Фрасын, Д.В. Масанов // Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина: Сборник статей. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2025. – С. 164-172.
3. Фрасын П.Г. Проксирование запросов к Rcon-консоли через http / П.Г. Фрасын, Н.В. Никитин, Е.А. Рыжкова // Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина: Сборник статей. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2025. – С. 29-32.
4. Фрасын П.Г. Автоконфигурирование систем опроса технических средств в области промышленной автоматизации / П.Г. Фрасын, Н.В. Никитин // Второй Международный молодежный конкурс научных проектов «Стираем границы»: сборник материалов, Москва, 20 – 22 февраля 2024 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2024. – С. 254-257.
5. Фрасын П.Г. Методология развертки CI/CD систем на примере Gitlab / П.Г. Фрасын, Е.А. Рыжкова // Материалы докладов всероссийской научно-практической конференции им. Я.В. Мильмана: Материалы докладов, Москва, 19 декабря 2023 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2024. – С. 126-133.

6. Фрасын П.Г. Концепция клиент-серверной архитектуры при разработке современной системы диспетчеризации и мониторинга параметров технологического процесса / П.Г. Фрасын, Ю.С. Комбаров // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2024. – Т. 1. – С. 290-296.
7. Фрасын П.Г. Анализ данных в реальном времени и обнаружение аномалий для промышленной автоматизации / П.Г. Фрасын // Студенческая научно-исследовательская лаборатория: современное состояние и перспективы: сборник научных статей III Международной студенческой междисциплинарной научно-практической конференции, Краснодар, 17 – 18 декабря 2024 года. – Краснодар: Академия маркетинга и социально-информационных технологий – ИМСИТ, 2024. – С. 907-911.
8. Постолаки Е.С. Анализ применения различных типов электродвигателей в многодвигательных системах / Е.С. Постолаки, Д.В. Масанов, П.Г. Фрасын // Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина: Сборник научных трудов. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2024. – С. 116-120.
9. Фрасын П.Г. Применение MQTT сервера в качестве агрегатора данных между компонентами системы мониторинга и диспетчеризации / П.Г. Фрасын, С.Л. Власов, Н.В. Никитин [и др.] // Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина: Сборник научных трудов. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2024. – С. 80-84.
10. Фрасын П.Г. Исследование и применение недокументированных возможностей устройств умного дома / П.Г. Фрасын, С.Л. Власов, Е.А. Рыжкова // Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина: Сборник статей. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2023. – С. 59-62.