

АРХИТЕКТУРА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТАМИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ARCHITECTURE OF A MULTI-AGENT INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR REPAIRS
OF HEATING EQUIPMENT

Макаровский М.А., аспирант, ФГБОУ ВО "Вологодский государственный университет", Вологда, Россия
Makarovsky M.A., Postgraduate student, Vologda State University, Vologda, Russia

Швецов А.Н., доктор технических наук, профессор, профессор, ФГБОУ ВО "Вологодский государственный университет", Вологда, Россия
Shvetcov A.N., DrSc in Technical Sciences, Professor, Professor, Vologda State University, Vologda, Russia

Аннотация. В статье проведен анализ различных видов ремонтов оборудования АСУТП. Предложена трехуровневая интеллектуальная система, предназначенная для прогнозирования сроков обслуживания автоматизированного оборудования. Рассмотрены принципы функционирования городской газовой котельной, а также структура и взаимодействие уровней предложенной системы. В рамках исследования разработана мнемосхема для диспетчерского контроля ключевого оборудования котельной с использованием программного обеспечения MasterSCADA 4D. Для решения задач прогнозирования профилактики и ремонта применен мультиагентный подход.

Ключевые слова: архитектура, ремонт, АСУТП, SCADA-система, мультиагентный подход.

Abstract. The article analyzes various types of repairs for process control system (PCS) equipment. A three-level intelligent system is proposed, designed to predict maintenance schedules for automated equipment. The principles of operation of an urban gas boiler house are examined, along with the structure and interaction of the proposed system's levels. As part of the study, a mimic diagram was developed for dispatcher monitoring of key boiler house equipment using MasterSCADA 4D software. A multi-agent approach was applied to solve predictive maintenance and repair tasks.

Keywords: architecture, repair, automated control system, SCADA system, multi-agent approach.

Использование оборудования в системах промышленной автоматизации сопровождается влиянием множества факторов, приводящих к изменению его технического состояния и, в конечном итоге, к выходу из строя. Важной особенностью этих факторов является их случайный (стохастический) характер. Наиболее значимое воздействие на скорость износа оборудования оказывают: геометрические параметры, механические свойства

материалов и технологические нагрузки. Помимо них, следует учитывать соблюдение режимов технологического процесса, качество обслуживания и ремонта, уровень вибрации, температурные условия и другие факторы. Случайная природа этих воздействий обуславливает непредсказуемое изменение состояния устройств, их компонентов и механизмов, а также времени безотказной работы [1].

При проведении исследований в области ремонта оборудования промышленной автоматизации, необходимо выделить его основные стратегии: аварийно-восстановительный ремонт, планово-предупредительный ремонт, ремонт по техническому состоянию [2].

Аварийно-восстановительный ремонт представляет собой распространенный подход к обслуживанию промышленного оборудования, основанный на устранении последствий уже произошедших отказов. Хотя эта стратегия отличается простотой реализации и позволяет эксплуатировать технику до полного исчерпания ресурса, она обладает значительными недостатками. Основной проблемой являются неизбежные длительные простои оборудования, влекущие за собой существенные финансовые потери и высокие затраты на восстановительные работы. Как правило, такой метод применяется для второстепенного оборудования, выход которого из строя не парализует основные производственные процессы и не вызывает остановки всего технологического цикла.

Стратегия планово-предупредительного ремонта представляет собой системный подход к обслуживанию оборудования, основанный на регулярном выполнении профилактических работ согласно установленному графику. Периодичность обслуживания определяется индивидуально для каждого вида техники с учетом ее характеристик, условий эксплуатации и данных о предыдущих ремонтах. Такой метод позволяет своевременно выявлять и устранять потенциальные неисправности, предотвращая их развитие и минимизируя вероятность непредвиденных простоев. Однако он не гарантирует полного исключения отказов, что требует сохранения резервного фонда для аварийных ситуаций. В рамках стратегии предусмотрены три вида ремонтных работ (текущий, средний и капитальный), а также обязательный учет необходимых трудовых и материальных ресурсов для проведения профилактических мероприятий.

Стратегия ремонта по техническому состоянию представляет собой интеллектуальный подход к обслуживанию оборудования, при котором решение о проведении ремонтных работ принимается на основе данных диагностического мониторинга. Суть метода заключается в постоянном контроле ключевых рабочих параметров (вибрации, температуры, давления и других характеристик) с помощью современных датчиков и систем анализа. При достижении критических значений показателей выполняется плановый ремонт. Это позволяет снизить вероятность аварийных ситуаций, увеличить надежность работы и продлить срок службы оборудования.

Внедрение стратегии обслуживания по техническому состоянию позволяет достичь значительной экономической эффективности благодаря переходу на предиктивную модель управления.

Для повышения надёжности и оптимизации ремонтных процессов предлагается внедрение трехуровневой интеллектуальной системы. Ключевыми функциями системы станут: автономная работа оборудования, оснащение персонала дистанционным управлением

и мониторингом технологических процессов, а также прогнозирование времени до отказа теплотехнического оборудования путём анализа статистических данных.

Уровень мультиагентной системы

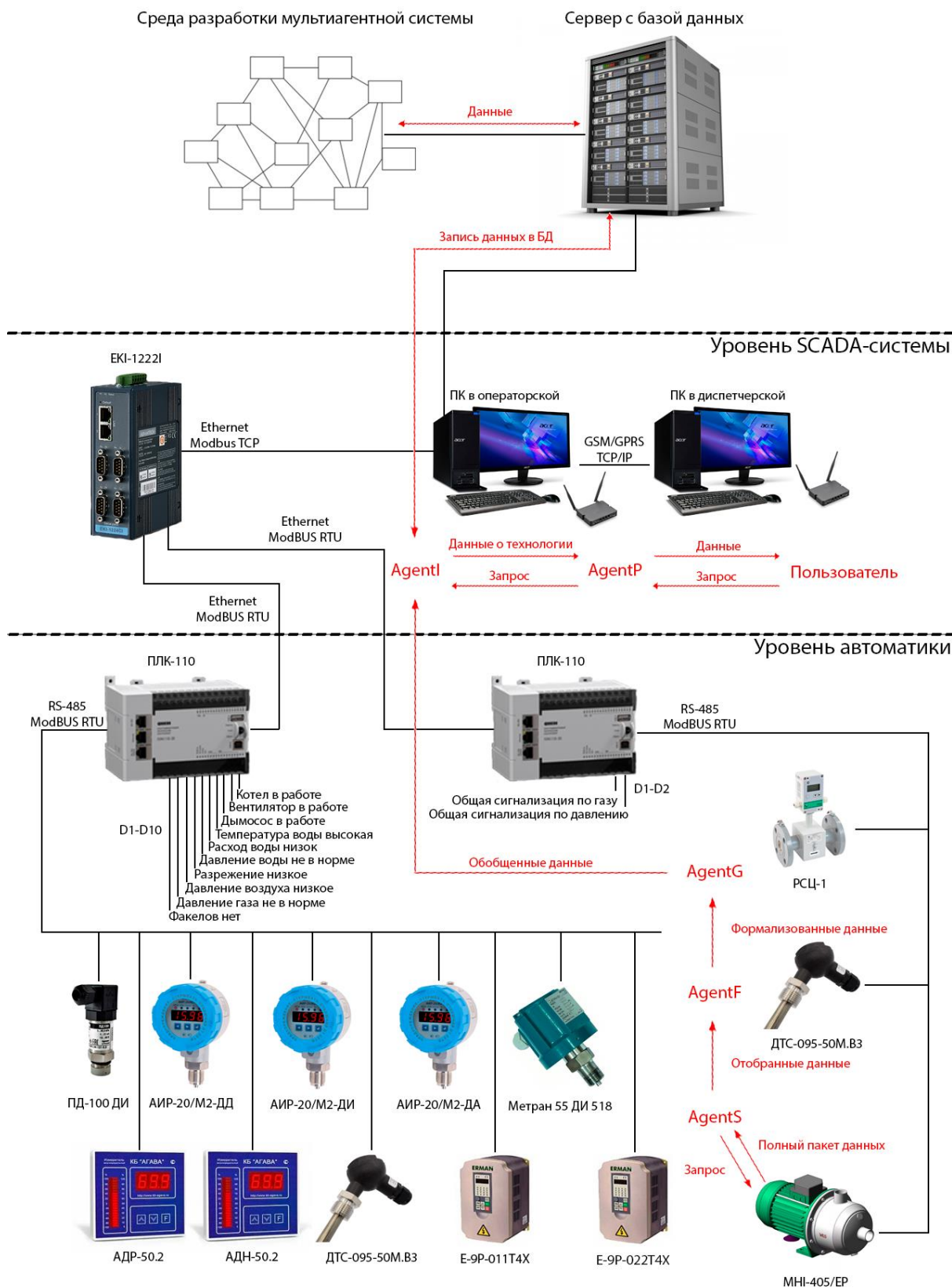


Рисунок 1 – Трёхуровневая архитектура интеллектуальной системы

Архитектура трёхуровневой интеллектуальной системы изображена на рисунке 1.

Нижний уровень системы реализован на базе стандартных средств автоматики. Без системы управления невозможно обеспечить безопасное и экономически целесообразное протекание технологических процессов. На данном уровне решаются задачи автоматического регулирования ключевых параметров: поддерживаются расчетные значения давления и температуры воды во всех контурах и на всех стадиях производства, контролируются расход воды и её уровень в резервуарах, а также другие критически важные технологические показатели [3].

К оборудованию нижнего уровня относятся: первичные контрольно-измерительные приборы, датчики-преобразователи, преобразователи частоты, электрические насосы, программируемые логические контроллеры и интерфейсы обмена данными.

Средний уровень архитектуры системы реализован на основе SCADA-решения, которое обеспечивает оперативный мониторинг и диспетчерское управление технологическими процессами в режиме реального времени параллельно с автоматическим регулированием. К ключевым функциональным возможностям данного уровня относятся: организация надежного обмена данными между оборудованием, наглядная визуализация технологических параметров, сбор и архивирование производственных данных, а также оперативное оповещение персонала об аварийных ситуациях.

К оборудованию среднего уровня относятся: персональные компьютеры, коммутаторы, модемы и роутеры.

Процесс генерации тепловой энергии в газовых котельных установках осуществляется по следующей технологической схеме. Вода из городского водопровода поступает в накопительные баки котельной, после чего направляется в водоподогреватель, где нагревается за счет теплообмена с сетевой водой и используется для технологических нужд. Одновременно в деаэрационных фильтрах происходит удаление растворенных газов из подпиточной воды, что предотвращает коррозионное разрушение металлических элементов системы. Деаэратор также выполняет функцию аккумуляирования химически подготовленной воды, которая затем обогащается солевым раствором. Подпиточная станция компенсирует потери воды в системе, подавая дополнительный объем очищенной воды в сетевые магистрали. Циркуляционные насосы обеспечивают движение теплоносителя через водогрейные котлы и распределительную сеть. Параллельно природный газ поступает из городской газораспределительной сети в газорегуляторный пункт котельной, где его давление снижается до рабочих параметров перед подачей к горелочным устройствам. В топочной камере котла происходит смешение газа с воздухом, нагнетаемым вентиляторами, и последующее сгорание топливовоздушной смеси. Выделяющееся при этом тепло передается теплоносителю, который под давлением циркулирует по отопительным контурам, отдавая тепловую энергию потребителям. Охлажденный теплоноситель возвращается по обратным трубопроводам в котел для повторного нагрева, замыкая таким образом технологический цикл. Продукты сгорания, представляющие опасность для здоровья персонала, удаляются из системы дымососами через дымовую трубу [4].

Отображение параметров работы котельной осуществляется при помощи человеко-машинного интерфейса. Мнемосхема позволяет отслеживать состояние всего оборудования,

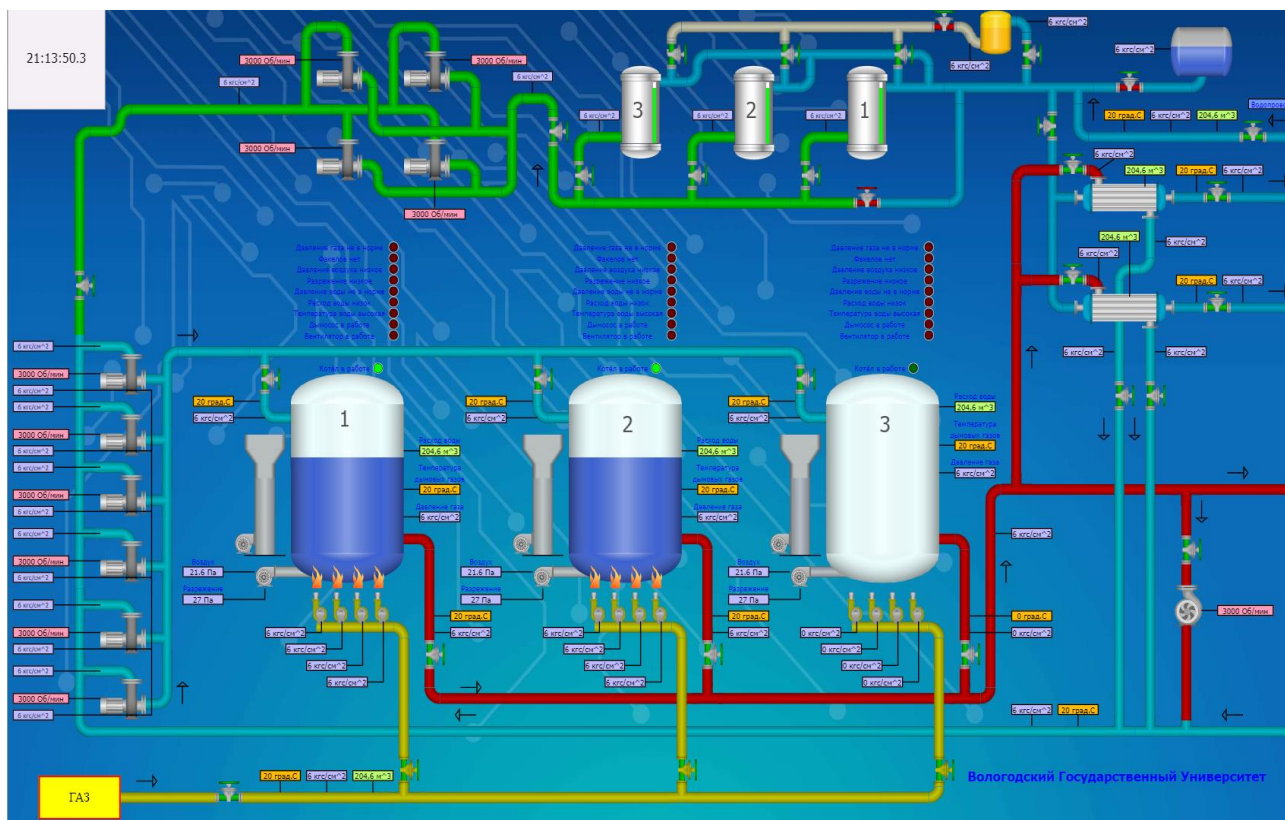


Рисунок 2 – Мнемосхема

давление, температуру теплоносителя на всех контурах, скорость вращения насосов, вентиляторов и дымососов [5].

В программном обеспечении MasterSCADA 4D разработана характерная для оборудования котельных мнемосхема, изображенная на рисунке 2.

Верхний уровень представляет мультиагентная система (МАС), основанная на многоагентном подходе, который является одним из перспективных направлений исследования сложных систем, позволяющий эффективно получать информацию о состоянии оборудования АСУТП [6].

Классический искусственный интеллект, используемый в экспертных системах, предполагает единого агента, обладающего всеми необходимыми ресурсами, функциональными возможностями и полным знанием предметной области для решения задачи. Однако некоторые задачи сложно или неэффективно решать в рамках одного агента, что привело к развитию распределенного ИИ и мультиагентных систем.

В МАС каждый агент обладает лишь ограниченными знаниями и решает только часть общей задачи, поэтому для решения сложных проблем необходимо их взаимодействие. Это обеспечивается специальной платформой, которая координирует асинхронную работу агентов, позволяя им обмениваться данными и согласованно достигать цели [7].

Предложенная архитектура мультиагентной системы на рисунке 3 реализует комплексный процесс сбора данных и их аналитической обработки с целью извлечения полезных знаний.

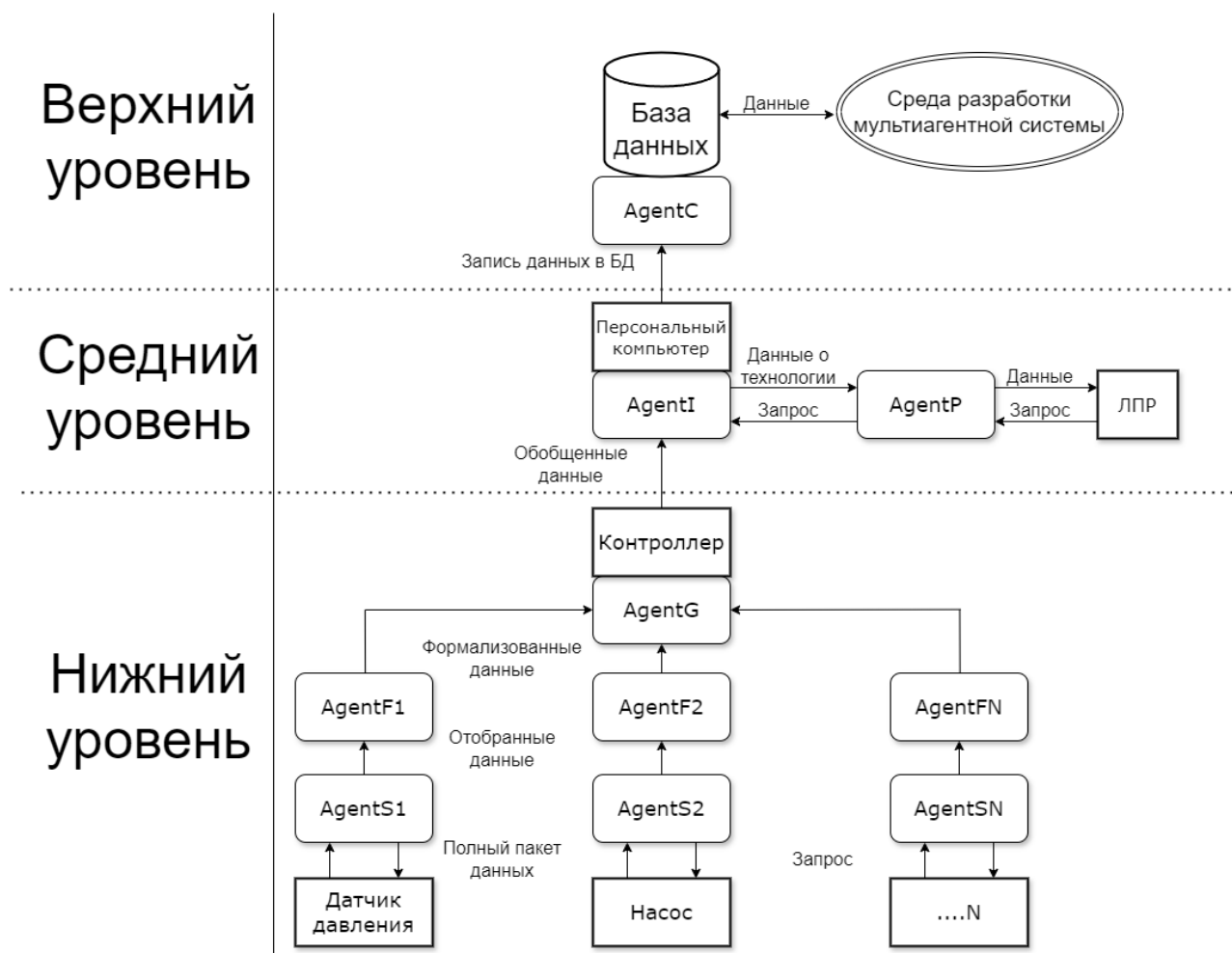


Рисунок 3 – Агентно-функциональная схема

Разработанная МАС включает несколько ключевых компонентов:

- организационные единицы, содержащие агентов и управляемые ими объекты;
- набор решаемых задач;
- среду функционирования системы;
- сеть взаимосвязей между агентами;
- совокупность возможных действий агентов [8].

Разработанная мультиагентная система имеет многоуровневую архитектуру, где каждый уровень представлен специализированными агентами с четко определенными функциями:

- AgentS (сенсорные агенты) - взаимодействуют с конкретными датчиками, осуществляют первичный сбор и фильтрацию данных по заданным критериям;
- AgentF (агенты форматирования) - приводят разнородные данные к единому стандартизированному виду;
- AgentG (агенты агрегации) - выполняют обобщение и консолидацию информации;
- AgentI (интерфейсные агенты) - организуют взаимодействие с пользовательскими данными и интерфейсами;
- AgentP (протокольные агенты) - определяют общие методы работы и стандарты данных для всей системы;

– AgentC (аналитические агенты) – проводят комплексный анализ собранной информации.

Каждый агентный тип представлен множеством экземпляров ($Agent_i$, где $i=1...n$), что обеспечивает масштабируемость и отказоустойчивость системы. Такая архитектура позволяет эффективно распределять вычислительную нагрузку и специализировать обработку данных на каждом этапе.

Для повышения эффективности управления технологическим процессом в мультиагентную систему интегрируются интеллектуальные алгоритмы и методы, реализованные непосредственно в программном коде агентов.

Основной целью представленного исследования была разработка трёхуровневой архитектуры интеллектуальной системы для прогнозирования профилактических и ремонтных работ котельного оборудования, которая позволит существенно сократить время и ресурсы, направленные на восстановление привычного рабочего режима после аварийной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаровский, М.А. Разработка SCADA-системы для котельного оборудования / М.А. Макаровский // XV Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых. – Вологда, 2021. – С. 149-152.
2. Боровков, В.М. Теплотехническое оборудование : учеб. пособие / В.М. Боровков, А.А. Калютник, В.В. Сергеев. – Москва, 2015. – 192 с.
3. Бакаев, В.Н. Моделирование систем : учеб. пособие / В.Н. Бакаев. – Вологда, 2013. – 159 с.
4. Швецов, А.Н. Применение SCADA-системы для управления теплотехническим оборудованием / А.Н. Швецов, М.А. Макаровский // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – Вологда, 2023. – №2 (20). – С. 39-43.
5. Интеллектуальные системы автоматизации технологии: официальный сайт. – Москва, 2024. – URL: <https://www.insat.ru> (дата обращения: 03.03.2024).
6. Дианов, С.В. Синтез агент-ориентированных моделей для поддержки принятия решений по управлению промышленным предприятием / С.В. Дианов, А.Н. Швецов // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте. – Вологда, 2022. – С. 208-212.
7. Ситуационные интеллектуальные системы поддержки принятия решений / А.Н. Швецов, А.А. Суконщиков, Д.В. Кочкин, И.А. Андрианов // Университетская книга. – Курск, 2018. – 251 с.
8. Кузнецов, А. В. Краткий обзор многоагентных моделей / А.В. Кузнецов // Управление большими системами. – Воронеж, 2018. – Т. 71. – С. 6-44.

REFERENCES

1. Makarovsky, M.A. Development of a SCADA system for boiler equipment / M.A. Makarovsky // XV Annual scientific session of graduate students and young scientists. Vologda, 2021. – С. 149-152.

2. Borovkov, V.M. Heat engineering equipment : textbook. manual / V.M. Borovkov, A.A. Kalyutik, V.V. Sergeev. – Moscow, 2015. – 192 p.
3. Bakaev, V.N. Modeling of systems : textbook. the manual / V.N. Bakaev. – Vologda, 2013. – 159 p.
4. Shvetsov, A.N. The use of SCADA systems for control of thermal engineering equipment / A.N. Shvetsov, M.A. Makarovskiy // Bulletin of the Vologda State University. Series: Technical Sciences. Vologda, 2023. – No. 2 (20). – P. 39-43.
5. Intelligent automation technology systems: official website. – Moscow, 2024. – URL: <https://www.insat.ru> (date of application: 03.03.2024).
6. Dianov, S.V. Synthesis of agent-oriented models for decision support in industrial enterprise management / S.V. Dianov, A.N. Shvetsov // Automation and energy saving in mechanical engineering, power engineering and transport. – Vologda, 2022. – P. 208-212.
7. Situational intelligent decision support systems / A.N. Shvetsov, A.A. Sukonshchikov, D.V. Kochkin, I.A. Andrianov // University Book. – Kursk, 2018. – 251 p.
8. Kuznetsov, A.V. A brief overview of multi-agent models / A.V. Kuznetsov // Management of large systems. – Voronezh, 2018. – Vol. 71. – P. 6-44.