

УДК 519.876.2, 004.89

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ВИДЕОКАДРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

Стариченков Алексей Леонидович,

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Колмогорова Светлана Сергеевна,

кандидат технических наук, доцент,

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

ss.kolmogorova@mail.ru

Ранцев Артем,

студент 2-го курса обучения,

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация

В статье рассматривается разработка видеокadra системы управления установкой преобразования водяного пара в дополнительную энергию. Установка является ключевым элементом энергетической системы судна, обеспечивающим преобразование тепловой энергии в механическую и электрическую, что требует высокой надежности и эффективности управления. Цель исследования – создание интуитивно понятного и функционального видеокadra, обеспечивающего визуализацию состояния насосов и технологических параметров, а также интеграцию с программируемыми логическими контроллерами. В работе проведен анализ функциональных требований к системе управления конденсатными насосами, выбрано программное обеспечение AVEVA Plant SCADA для реализации видеокadra и среда EcoStruxure Control Expert для программирования контроллеров. Разработанный видеокادر включает мнемосхемы, отображающие состояние главных конденсатных насосов, технологические трубопроводы и систему предупредительной сигнализации, а также текстовые табло с цветовой индикацией параметров. Особое внимание уделено отображению различных режимов работы насосов и сигнализации аварийных состояний. Для обеспечения надежной передачи данных между контроллером и системой визуализации использован промышленный протокол Modbus TCP. В ходе тестирования подтверждена корректность работы алгоритмов управления, включая автоматический запуск резервных насосов при снижении давления или уровне конденсата, а также своевременное отображение предупредительных и аварийных сигналов. Разработанный интерфейс способствует повышению эффективности операторского контроля и снижению риска ошибок.

Представленное решение обладает высокой практической значимостью для автоматизации управления паротурбинными установками на атомных ледоколах и может быть адаптировано для других энергетических систем. Перспективы дальнейших исследований включают расширение функционала видеокадра и интеграцию с системами удаленного мониторинга.

Ключевые слова: алгоритмы управления, видеокадр, SCADA-система

DESIGN OF AN INFORMATION VIDEO FRAME FOR A STEAM TURBINE CONTROL SYSTEM

Starichenkov Alexey Leonidovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor

St. Petersburg State Electrotechnical University 'LETI' named after V.I. Ulyanov (Lenin)

allstar72@mail.ru

Kolmogorova Svetlana Sergeevna,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov

St. Petersburg State Electrotechnical University 'LETI' named after V.I. Ulyanov (Lenin)

ss.kolmogorova@mail.ru

Rantsev Artem,

2nd year student,

St. Petersburg State Electrotechnical University 'LETI' named after V.I. Ulyanov (Lenin)

ABSTRACT

The work considers the development of a video frame for the control system of a water vapour conversion plant into additional energy. The plant is a key element of the ship's energy system, providing the conversion of thermal energy into mechanical and electrical energy, which requires high reliability and control efficiency. The aim of the study is to create an intuitive and functional video frame that provides visualisation of the status of pumps and technological parameters, as well as integration with programmable logic controllers. The work analyses the functional requirements for the condensate pump control system, selects AVEVA Plant SCADA software for implementing the video frame and the EcoStruxure Control Expert environment for programming controllers. The developed video frame includes mnemonic diagrams displaying the status of the main condensate pumps, process pipelines and the warning alarm system, as well as text panels with colour indication of parameters. Particular attention is paid to displaying various pump operating modes and emergency alarms. The Modbus TCP industrial protocol is used to ensure reliable data transmission between the controller and the visualisation system. During testing, the correct operation of the control algorithms was confirmed, including the automatic start of backup pumps when the pressure or condensate level drops, as well as the timely display of warning and alarm signals. The developed interface contributes to improving the efficiency of operator control and reducing the risk of errors. The presented solution is of high practical importance for the automation of steam turbine control on nuclear icebreakers and can

be adapted for other energy systems. Prospects for further research include expanding the functionality of the video frame and integration with remote monitoring systems.

Keywords: control algorithms, video frame, SCADA system

Введение

Современные комплексные устройства представляют собой сложные технические системы, обеспечивающие круглогодичную навигацию в арктических регионах. Паротурбинная установка (ПТУ) является ключевым компонентом энергетической системы атомного ледокола, обеспечивающим преобразование тепловой энергии ядерного реактора в механическую и электрическую энергию. Эффективность и безопасность функционирования ПТУ напрямую влияют на эксплуатационные характеристики всего судна, что делает вопросы автоматизации и визуализации процессов управления особенно актуальными.

В настоящее время для обеспечения надежной работы судового энергетического оборудования широко применяются автоматизированные системы управления. Особую важность приобретает автоматизация технологических процессов, снижение человеческого фактора и повышение оперативности реагирования системы на изменения условий эксплуатации. Одним из критически важных элементов ПТУ является конденсатно-питательная система (КПС), частью которой являются конденсатные насосы, обеспечивающие отвод конденсата из турбин и поддержание требуемых параметров рабочего цикла.

Современные системы управления энергетическими установками требуют эффективных интерфейсов человеко-машинного взаимодействия [1, 2], обеспечивающих оператору возможность контроля состояния оборудования и управления технологическими процессами. Видеокадры системы управления представляют собой графические интерфейсы, отражающие работу различных систем и позволяющие оператору получать информацию о состоянии технических средств, контролировать значения технологических параметров и управлять работой оборудования.

Разработка видеокадра системы управления конденсатными насосами ПТУ требует комплексного подхода, включающего анализ технологического процесса, выбор соответствующих программных средств и создание интуитивно понятного интерфейса оператора. Современные SCADA-системы [3 – 6] предоставляют широкие возможности для создания эффективных видеокадров, обеспечивающих визуализацию технологических процессов в реальном времени.

Цель исследования

Целью исследования является разработка видеокадра системы управления конденсатными насосами паротурбинной установки атомного ледокола с использованием современных средств программной визуализации. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ функциональных требований к видеокадру системы управления конденсатными насосами ПТУ.
2. Выбрать соответствующее программное обеспечение для разработки видеокадра.
3. Разработать мнемосхемы для визуализации состояния конденсатных насосов и связанного оборудования.
4. Создать систему отображения предупредительной сигнализации и аварийных состояний.
5. Реализовать интеграцию видеокадра с программируемым логическим контроллером.
6. Провести тестирование работоспособности разработанного видеокадра.

Материалы и методы исследования

Программное обеспечение

Для разработки видеокadra была выбрана SCADA-система AVEVA Plant SCADA [3] (ранее известная как Citect SCADA). Данное программное решение обеспечивает гибкие возможности для диспетчерского управления и сбора данных в различных технологических процессах. AVEVA Plant SCADA широко применяется в промышленности, энергетике и на морских объектах для создания графических интерфейсов, отражающих работу различных систем.

Основными преимуществами выбранной SCADA-системы являются:

Гибкость настройки видеокadров и элементов управления.

Поддержка архивирования, журналирования событий и тревог.

Развитая система разграничения прав доступа и безопасности.

Возможность интеграции с программируемыми логическими контроллерами по стандартным промышленным протоколам.

Архитектура системы

Разработанный видеокadр интегрируется с программируемыми логическими контроллерами, программируемыми в среде EcoStruxure Control Expert [4] компании Schneider Electric. Обмен данными между SCADA-системой и контроллером осуществляется по промышленному протоколу Modbus TCP, что обеспечивает надежную передачу данных между контроллером и системой визуализации.

Методология разработки

Разработка видеокadра выполнялась в соответствии с принципами создания человеко-машинных интерфейсов для критически важных систем. При проектировании интерфейса учитывались требования к эргономике, информативности и надежности отображения информации.

Процесс разработки включал следующие этапы:

Анализ технологической схемы системы управления конденсатными насосами.

Определение перечня контролируемых параметров и управляющих воздействий.

Проектирование мнемосхем и элементов визуализации.

Создание системы предупредительной сигнализации.

Реализация видеокadра в среде AVEVA Plant SCADA.

Настройка связи с контроллером и присвоение адресов переменным.

Тестирование функциональности видеокadра.

Структура видеокadра

Видеокadр разработан с использованием различных типов мнемознаков, включающих рисованные элементы для отображения технологических связей, светящиеся мнемознаки для визуализации состояния оборудования и текстовые табло для отображения значений контролируемых параметров.

Результаты и их обсуждение

Структура и компоненты видеокadра

Разработанный видеокadр (Рис. 1) системы управления конденсатными насосами включает визуализацию двух главных конденсатных насосов (ГКН-1 и ГКН-2), технологических трубопроводов, системы предупредительной сигнализации и текстовых табло отображения параметров.

Основными элементами видеокadра являются:

Технологические элементы:

Мнемосхемы паропроводов для отображения технологического процесса.

Мнемосхемы трубопроводов конденсата.

Светящиеся мнемознаки главных конденсатных насосов с различными состояниями.

Система индикации состояний насосов – мнемознаки насосов отображают следующие состояния:

Насос остановлен, местное управление, отсутствует силовое электропитание.

Насос остановлен, дистанционное управление, подано силовое электропитание.

Насос запущен, автоматическое управление, подано силовое электропитание.

Насос остановлен, не готов к автоматическому пуску, отсутствует силовое электропитание.

Система предупредительной сигнализации – видеокадр включает индикаторы различных типов предупредительной сигнализации:

Индикаторы сигнализации уровня конденсата в главном конденсаторе.

Индикаторы давления в напорной магистрали.

Индикаторы давления на укупорки и охлаждение торцевых уплотнений.

Индикаторы блокировки пуска, пуска резерва и положения ключа управления.

Индикатор аварийной защиты без приема пара.

Текстовые табло параметров – система включает светящиеся текстовые табло для отображения текущих значений контролируемых параметров с цветовой индикацией достижения уставочных значений.

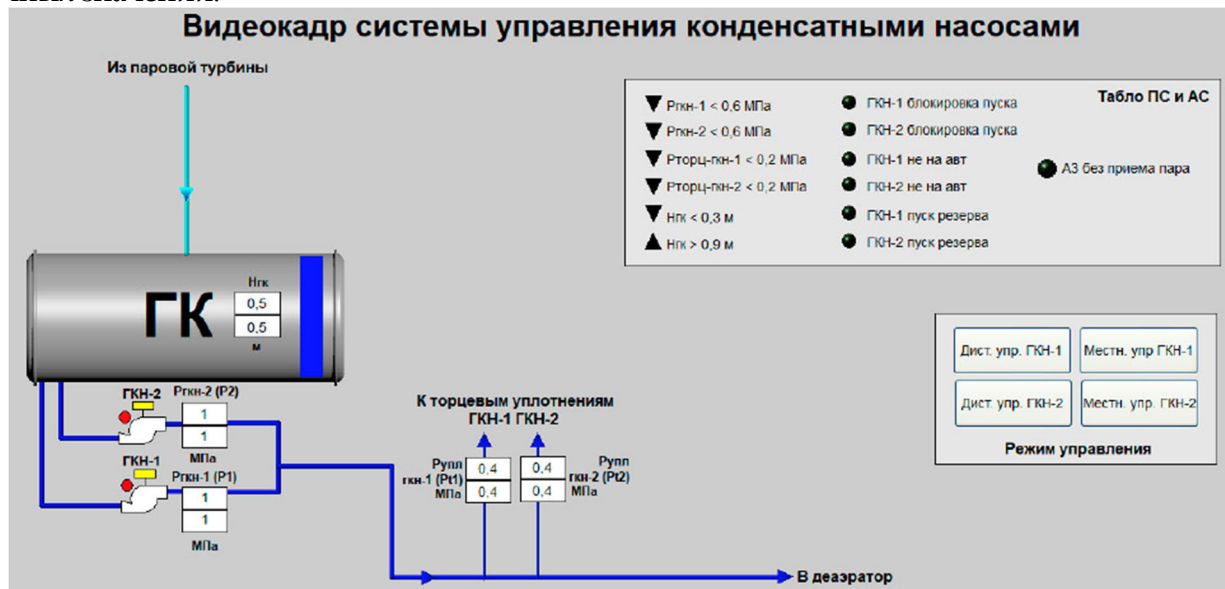


Рис. 1. Разработанный видеокадр системы управления конденсатными насосами

На рис. 2 показан видеокадр системы управления конденсатными насосами с запущенным насосом ГКН-1. На схеме видны рабочие параметры насосов, уровень конденсата в конденсаторе и активные режимы управления перед тестированием алгоритмов.

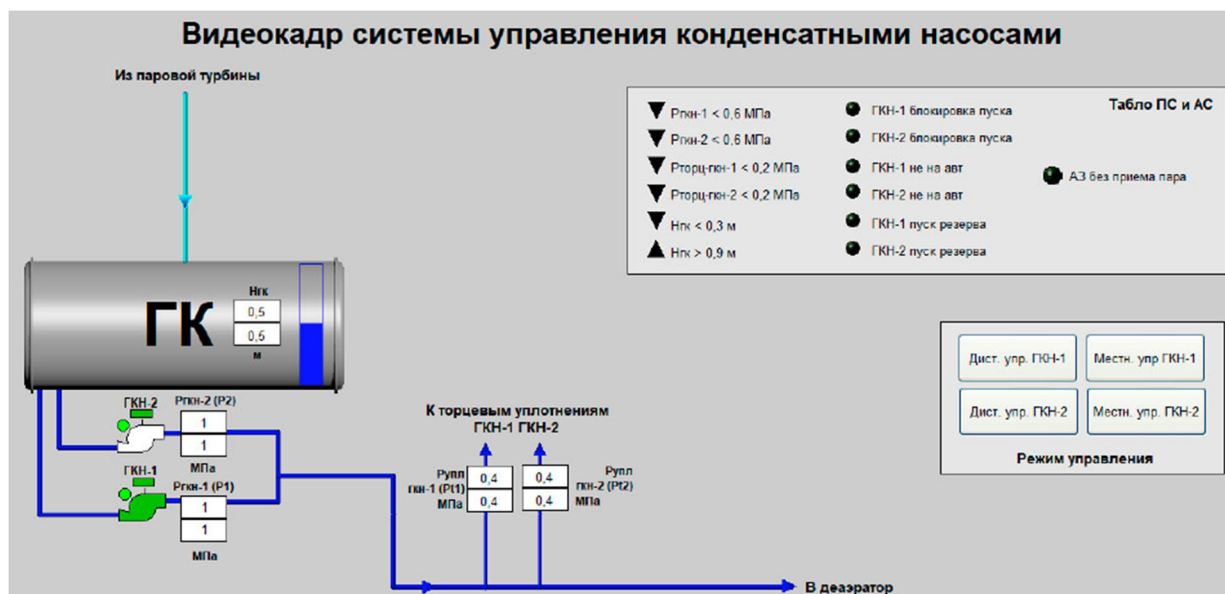


Рис. 2. Видеокадр с запущенным ГКН-1 перед тестированием работоспособности алгоритмов

На видеокадре (Рис. 3) показан результат проверки работоспособности алгоритма, проводимой при снижении давления в напорной магистрали ГКН-1. Видны графические данные или визуализация, демонстрирующая корректное функционирование алгоритма в заданных условиях. Видеокадр (Рис. 4) демонстрирует результат проверки работоспособности алгоритма,

выполняемого при повышении уровня конденсата в газоконденсатной системе (ГК). На изображении, вероятно, представлены данные или графики, подтверждающие корректное функционирование алгоритма в условиях изменения уровня конденсата

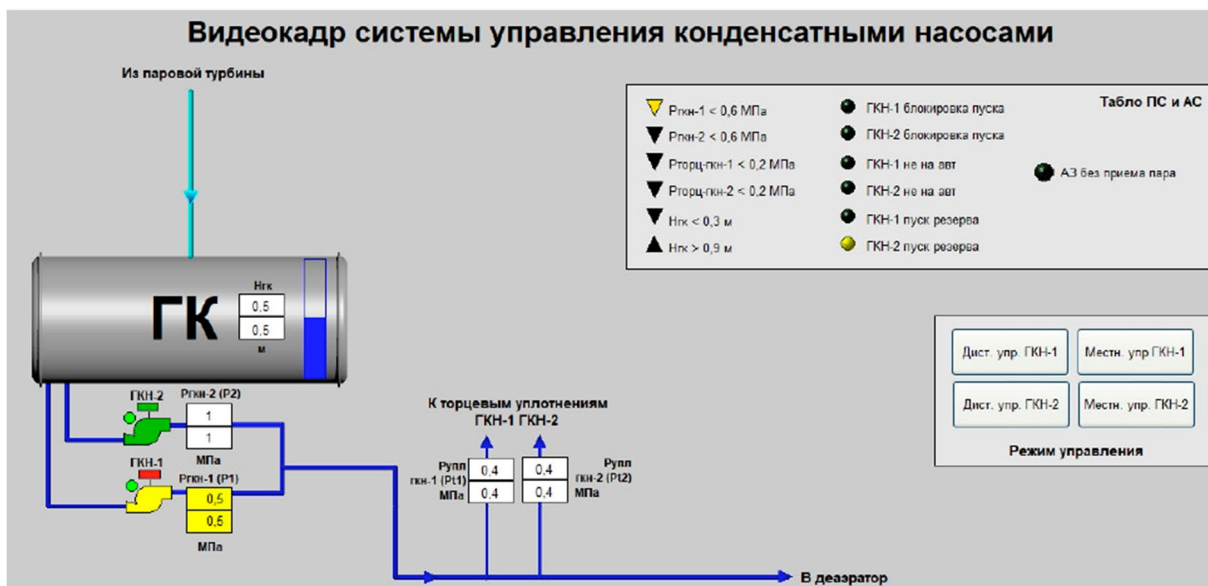


Рис. 3. Видеокادر с результатом проверки работоспособности алгоритма, выполняемому при снижении давления в напорной магистрали ГКН-1

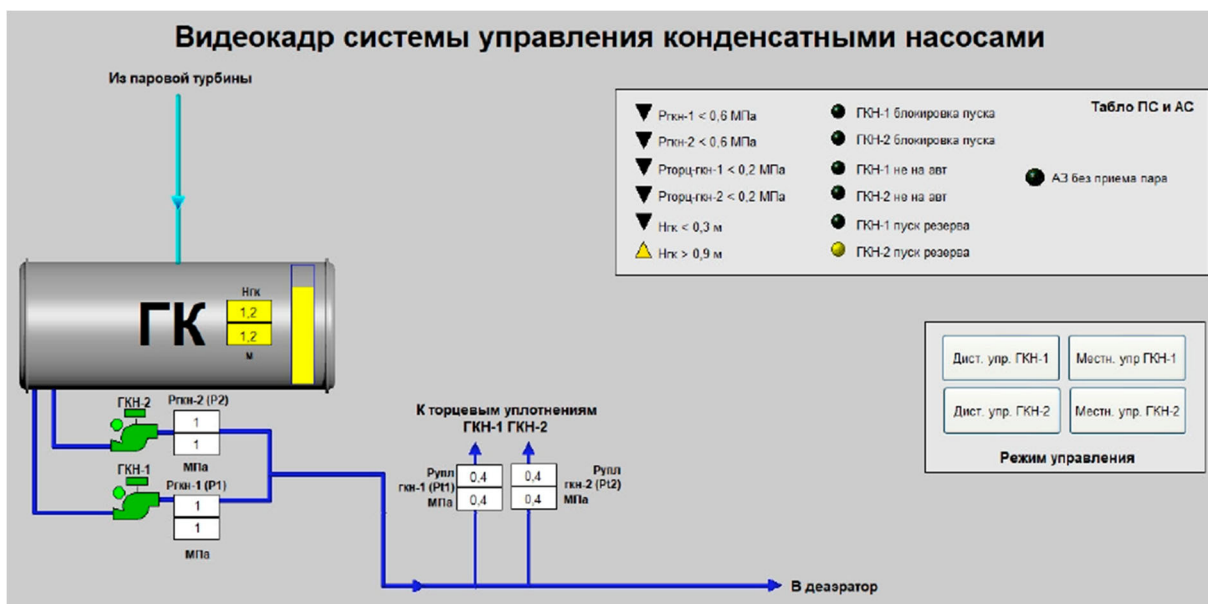


Рис. 4. Видеокادر с результатом проверки работоспособности алгоритма, выполняемому при повышении уровня конденсата в ГК

Интеграция с системой управления

Для обеспечения связи видеокadra с виртуальным программируемым логическим контроллером от Control Expert всем сигналам были присвоены адреса в области памяти «Memory Word». Всего было настроено 48 адресов для различных сигналов управления и мониторинга, включая:

- Сигналы аварийной защиты и управляющие команды.
- Сигналы обратной связи о состоянии питания насосов.
- Уставки по уровню конденсата и давлению.
- Сигналы управления ключами и режимами работы.
- Сигналы предупредительной сигнализации различных типов.
- Результаты тестирования

Проведенное тестирование работоспособности разработанного видеокadra показало корректное функционирование всех основных алгоритмов управления.

Тестирование алгоритма управления по давлению в напорной магистрали – при достижении уставки по низкому давлению в напорной магистрали ГКН-1 мнемознак насоса начинал мигать желтым цветом, изменялся цвет фона соответствующего контролируемого параметра, автоматически запускался резервный насос ГКН-2 и формировались соответствующие сигналы предупредительной сигнализации.

Тестирование алгоритма управления по давлению на укупорки и охлаждение торцевых уплотнений – аналогично предыдущему тесту, при снижении давления на укупорки и охлаждение торцевых уплотнений система корректно отображала аварийное состояние, запускала резервный насос и формировала соответствующую сигнализацию.

Тестирование алгоритма управления по уровню конденсата – при высоком уровне конденсата в главном конденсаторе система автоматически запускала второй насос и формировала соответствующие сигналы предупредительной сигнализации. При низком уровне конденсата срабатывала блокировка пуска насосов с формированием соответствующего сигнала.

Тестирование алгоритма управления при обесточивании – при снятии питания с работающего насоса система корректно запускала резервный насос, а мнемознак обесточенного насоса отражал отключение и сигнал «не готов к автоматическому пуску».

Тестирование системы предупредительной сигнализации – проверка корректности срабатывания предупредительной сигнализации при неправильном положении ключа управления показала правильное функционирование системы.

Анализ эффективности решения

Разработанный видеокادر обеспечивает оператору полную информацию о состоянии системы управления конденсатными насосами. Интуитивно понятный интерфейс позволяет быстро оценить текущее состояние оборудования и принять необходимые управляющие воздействия.

Использование цветовой индикации и анимации элементов интерфейса способствует быстрому обнаружению нештатных ситуаций и повышает общую эффективность системы управления. Система предупредительной сигнализации обеспечивает своевременное информирование оператора о возникновении аварийных ситуаций.

Модульная архитектура видеокadra позволяет легко адаптировать его для других типов энергетических установок или модифицировать в соответствии с изменяющимися требованиями

Выводы и заключение

В результате проведенного исследования был разработан эффективный видеокادر системы управления конденсатными насосами паротурбинной установки атомного ледокола.

Основные результаты:

1. Создание комплексной системы визуализации – разработанный видеокادر обеспечивает полное отображение состояния конденсатных насосов, технологических параметров и системы предупредительной сигнализации.
2. Реализация эффективного человеко-машинного интерфейса – использование различных типов мнемознаков, цветовой индикации и анимации обеспечивает интуитивно понятный и информативный интерфейс для оператора.
3. Обеспечение надежной интеграции с системой управления – настроенная связь с программируемым логическим контроллером по протоколу Modbus TCP гарантирует достоверность отображаемой информации.
4. Подтверждение работоспособности системы – комплексное тестирование показало корректное функционирование всех алгоритмов управления и элементов визуализации.

Практическая значимость разработанного решения заключается в возможности его применения в реальных системах управления энергетическими установками атомных ледоколов.

Видеокадр может быть адаптирован для других типов судовых энергетических систем или использован как основа для создания более сложных интерфейсов управления.

Направления дальнейших исследований могут включать разработку дополнительных функций видеокадра, таких как система архивирования данных, расширенная диагностика оборудования и интеграция с системами удаленного мониторинга. Также перспективным является исследование возможностей применения современных технологий дополненной реальности для повышения эффективности операторского интерфейса.

Разработанный видеокадр представляет собой современное решение для визуализации и управления конденсатными насосами паротурбинной установки, соответствующее требованиям безопасности и эффективности эксплуатации атомных ледоколов.

Список литературы:

1. Автоматизация обработки сигналов датчиков напряженности электрического поля, входящих в информационноизмерительную систему / С. С. Колмогорова, Д. С. Баранов, А. С. Колмогоров, С. В. Бирюков // Омский научный вестник. – 2019. – № 4(166). – С. 66-70. – DOI 10.25206/1813-8225-2019-166-66-70. – EDN IBOAUG.
2. Колмогорова, С. С. Разработка программы сортировки материалов на программируемом логическом контроллере / С. С. Колмогорова, В. С. Павлов, А. С. Крюковский // Приборы. – 2025. – № 1(295). – С. 1-6. – EDN JELIRC.
3. AVEVA Plant SCADA (ранее Citect SCADA) [Электронный ресурс] –URL: <https://neosoft.pro/catalog/production?vendor=wonderware&product=avevaplant-scada-ranee-citect-scada> (дата обращения 2025-05-04)
4. EcoStruxure Control Expert Software [Электронный ресурс] – URL: <https://www.se.com/us/en/product-range/548-ecostruxure-control-expertsoftware/#products> (дата обращения 2025-05-04)
5. Программное обеспечение Control Expert XL, 1 лицензия Schneider Electric, CEXSPUCZXSPMZZ [Электронный ресурс] – URL: <https://tutelektrika.ru/catalog/oborudovanie-dlya-asu-tp/litsenzii-i80po/programmnoe-obespechenie-control-expert-xl-1-litsenziya-schneider-electricsexspuczxspmzz> (дата обращения 2025-05-04)
6. Plant SCADA (Citect), серверная лицензия, увеличение количества точек с 150 до 500 [Электронный ресурс] – URL: <https://se-schneider.ru/plantscada-citect-servernaya-litsenziya-uvelichenie-kol-va-tochek-s-150-do-500> (дата обращения 2025-05-04).

References:

1. Automation of processing signals from electric field strength sensors included in the information-measuring system / S. S. Kolmogorova, D. S. Baranov, A. S. Kolmogorov, S. V. Biryukov // Omsk Scientific Bulletin. - 2019. - No. 4 (166). - P. 66-70. - DOI 10.25206 / 1813-8225-2019-166-66-70. - EDN IBOAUG.
2. Kolmogorova, S. S. Development of a program for sorting materials on a programmable logic controller / S. S. Kolmogorova, V. S. Pavlov, A. S. Kryukovsky // Devices. - 2025. - No. 1 (295). - P. 1-6. - EDN JELIRC.
3. AVEVA Plant SCADA (formerly Citect SCADA) [Electronic resource] – URL: <https://neosoft.pro/catalog/production?vendor=wonderware&product=avevaplant-scada-ranee-citect-scada> (date of access 2025-05-04)

4. EcoStruxure Control Expert Software [Electronic resource] - URL: <https://www.se.com/us/en/product-range/548-ecostruxure-control-expertsoftware/#products> (date of access 2025-05-04)
5. Control Expert XL Software, 1 Schneider Electric license, CEXSPUCZXSPMZZ [Electronic resource] - URL: <https://tutelektrika.ru/catalog/oborudovanie-dlya-asu-tp/litsenzii-i80po/programmnoe-obespechenie-control-expert-xl-1-litsenziya-schneider-electriccexspuczspmzz> (date of access 2025-05-04)
6. Plant SCADA (Citect), server license, increasing the number of points from 150 to 500 [Electronic resource] - URL: <https://se-schneider.ru/plantscada-citect-servernaya-litsenziya-uvelichenie-kol-va-tochek-s-150-do-500> (date of access 2025-05-04).