

Система мониторинга и управления технологическими процессами мазутного хозяйства тепловой электростанции

А.С. Климов, Е.М. Денисьев, И.Н. Селютин, В.В. Новиков

Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация: В статье представлена краткая характеристика тепловой электростанции Березовской ГРЭС, подробно описан объект проектирования, и проведен анализ существующих систем автоматизации. По результатам анализа сделан вывод о том, что необходимо техническое перевооружение ОПО, подразумевающее под собой модернизацию применяемых на опасном производственном объекте технических устройств. Для проектируемой системы управления технологическим процессом выбрано необходимое оборудование. Создано архитектурное решение системы, обеспечивающее эффективное функционирование и высокий уровень надежности. Проведен расчет показателей надежности, подтвердивший соответствие нормативным требованиям и подтверждающий достаточную продолжительность безотказной работы.

Ключевые слова: удаленный контроль и управление, мазутное хозяйство, программирование ПЛК, импортозамещение, АРМ-оператора.

Березовская ГРЭС - тепловая электростанция, расположенная на территории Красноярского края в 10 км к северо-западу от г. Шарыпово и 250 км юго-западнее г. Красноярска и является градообразующим предприятием г. Шарыпово. Березовская ГРЭС является филиалом ПАО «Юнипро» - компании, занимающейся продажей электрической и тепловой энергии. В состав ПАО «Юнипро» входит пять тепловых электрических станций общей мощностью 11300,243 МВт. Березовская ГРЭС - единственная электростанция в России с энергоблоками мощностью 2420 МВт, где в качестве топлива используется уголь (бурый уголь марки Б2), все остальные тепловые электростанции с блоками такой мощности работают на газе [1,2]. Электростанция расположена на борту угольного разреза, связь с которым осуществляется конвейером протяженностью 14 километров. Уголь доставляется двумя внешними конвейерами производительностью 4400 т/ч, один из которых резервный.

Мазутное хозяйство Березовской ГРЭС предназначено для обеспечения:

- приема мазута из ж/д цистерн;
- хранения мазута, подготовки и транспортировки мазута с параметрами давления $P = 40 \text{ кгс/см}^2$, температура 130°C для энергоблоков один, два и три Березовской ГРЭС при растопках и подхвате в аварийных ситуациях;
- подготовки и транспортировки мазута как основного топлива на ПОК-1, отопительную котельную.

Высокоэффективная, экономичная и надежная эксплуатация тепловой электростанции обеспечивается оснащением ее автоматизированной системой управления технологическими процессами АСУ ТП, охватывающей как энергоблоки, так и основное, и вспомогательное оборудование в целом.

На мазутном хозяйстве имеются:

- система паровой продувки оборудования и мазутопроводов;
- система дренажей оборудования и мазутопроводов;
- система паропроводов и конденсатопроводов;
- система приточно-вытяжной вентиляции;
- система охлаждающей воды.

Система паровой продувки оборудования и мазутопроводов представляет собой коллектор, на котором по ходу пара давлением 11 кгс/см^2 установлены два запорных вентиля и обратный клапан, а между вентилями вентиль "Ревизия", служащий для визуального наблюдения за правильностью собранной схемы паровой продувки перед ее включением. Подвод пара на продувку ФГО и насосов первого подъема, мазутных подогревателей, ФТО, всасывающих мазутопроводов, насосов первого подъема выполнен через один запорный вентиль, а подвод пара на продувку магистральных мазутопроводов - через два запорных вентиля на пуско-отопительную котельную (ПОК), главный корпус (рис. 1).

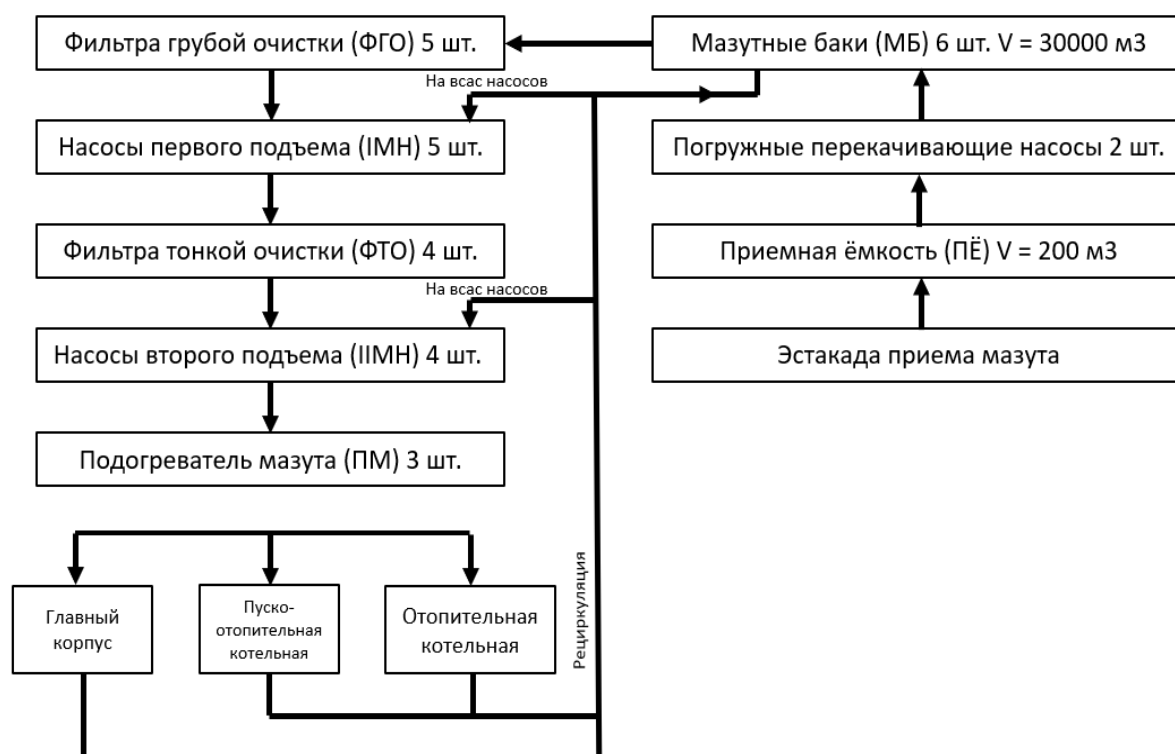


Рис. 1. – Принципиальная схема приемки, перекачки, подготовки и подачи на сжигание мазута

Система газового анализа построена на базе стационарной системы за контролем загазованности на базе прибора «БПС-21М М», которая обеспечивает непрерывный контроль в течение 24 часов в сутки. Контроль нижнего концентрационного предела взрываемости (НКПВ) осуществляется с помощью датчиков взрывоопасных газов и паров.

При превышении уровня измеряемого компонента НКПВ более предупредительной уставки в зоне чувствительности одного из датчиков подается сигнал на соответствующий прибор «БПС-21М-М», срабатывают технологическая сигнализация в соответствующем помещении и при необходимости включается аварийная вытяжная вентиляция.

При превышении уровня измеряемого компонента более аварийной уставки машинистом обслуживающим мазутонасосную производится остановка технологического оборудования.

На текущий момент мазутное хозяйство Березовской ГРЭС не соответствует Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов» пункты ФНП: 2.2.17, 2.8.15, 3.4.3, 3.5.8. Соответственно эксплуатация не безопасна для обслуживающего персонала, что в свою очередь влияет на надёжность и безопасность работы всей станции и требует замены или модернизации оборудования с использованием современных систем промышленной автоматизации технологических процессов [3,4].

Актуальность работы обосновывается необходимостью разработки автоматизированной системы управления технологическими процессами мазутного хозяйства тепловой электростанции. Внедрение АСУ ТП позволит вести автоматизированный контроль, а также использовать технологические защиты в случае аварийных ситуаций. Данное решение потребует применения соответствующих методик оценки, расчета и контроля различных параметров [5,6]. Надежность работы оборудования зависит от различных конструктивно-производственных и эксплуатационных факторов

Техническое перевооружение ОПО (опасный производственный объект) подразумевает под собой модернизацию применяемых на опасном производственном объекте технических устройств.

Приемные емкости ПСЭ (приемная сливная эстакада) складов мазута должны быть оборудованы средствами измерения температуры и уровня, сигнализаторами предельных значений уровня, вентиляционными патрубками, средствами подогрева слитого мазута, перекачивающими насосами и ручной кран-балкой.

Приемные емкости должны иметь защиту от перелива. Проектом предусматривается:

- установка радарного уровнемера Vegapuls 62 [7], для контроля текущего уровня мазута в приемной емкости;

- установка сигнализатора уровня СУ 200МАИ [8] для контроля верхнего и нижнего аварийных уровней в приёмной емкости (дискретные входы);

- установка датчика температуры ТС1187 [9] для контроля температуры в 3-х точках резервуара;

- установка шкафа управления (ШУ) со степенью защиты IP54 [10] в щитовой мазутонасосной;

- блокировка работы резервного МН (включение/отключение) в зависимости от срабатывания радарного уровнемера;

- блокировка работы необходимых задвижек в зависимости от срабатывания уровнемеров аварийных уровней;

- установка АРМ в ГрЩУ-1.

Запорные устройства, должны быть установленные непосредственно у резервуара, так же должны дублироваться установкой запорных устройств на технологических трубопроводах вне обвалования.

Решением по системе предусматривается:

1. Установка 24 задвижек с взрывозащищенным электроприводом АУМА, управление которых осуществляется:

- автоматически по сигналу, передаваемому по интерфейсу RS-485 от контроллера к пускателям бесконтактным реверсивным ПБР-3 (Modbus);

- в режиме местного управления.

2. Установка шкафа управления задвижек (ШУЗ).

В помещениях МХ следует устанавливать средства автоматического контроля загазованности по НКППП с подачей сигнала (светового и звукового) у входа в помещение насосной и операторскую при достижении концентрации горючих газов и паров нефтепродуктов 20% объемных от НКППП. Проектом предусматривается (рис. 2):

1. установка датчиков и приборов контроля загазованности с выводом

показаний на ГрЩУ-1 ПОК-1;

2. устройство системы измерения загазованности.

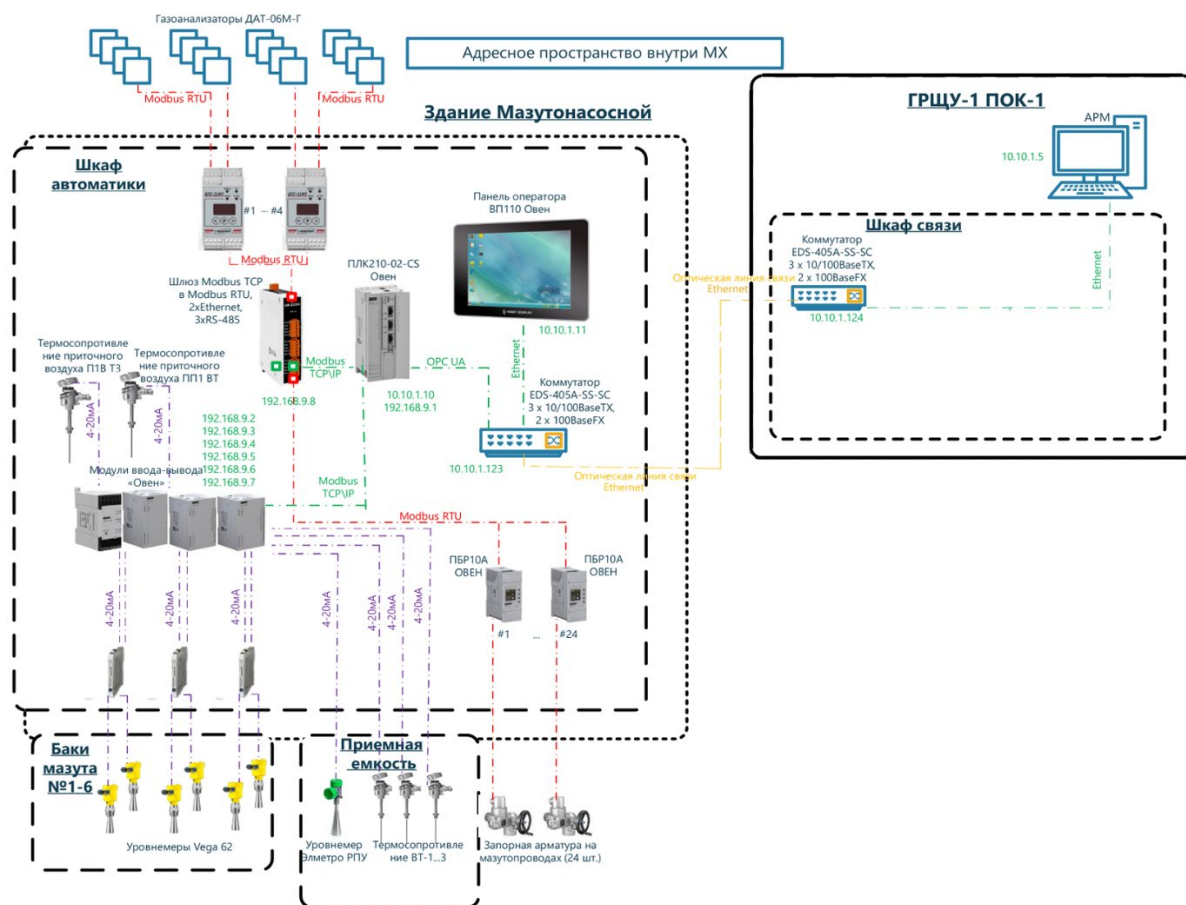


Рис. 2. - Структурная схема, планируемая к применению, на основании проектных решений

Система обеспечивает:

- непрерывный контроль загазованности помещений;
- регистрацию и архивацию данных случаев загазованности приборами, архивация и регистрация выполняется на базе АРМ расположенного в ГрЩУ-1;
- сигнализацию по повышению 20% НКПРП (светового и звукового) у входа в помещение насосной и операторской (ГрЩУ-1 и щит мазутонасосной);
- включение аварийной вентиляции при достижении горючих газов и

паров нефтепродуктов 50% объемных от НКППП;

- при достижении горючих газов и паров нефтепродуктов 50% объемных от НКППП автоматическое отключение насосных агрегатов для перекачки нефтепродуктов;

- автоматическое отключение мазутных насосов при достижении горючих газов и паров нефтепродуктов 50% объемных от НКППП.

Для централизованного управления всеми КИП и ЗРА предполагается использование перечня оборудования (таблица 1).

Таблица №1

Перечень оборудования

№ п/п	Тип оборудования	Наименование
A00	ПЛК210-01-CS	Центральный контроллер
A01	GW-2235i	Шлюз Modbus TCP в Modbus RTU/ASCII
A02	ET-87P8-MTCP	Корзина расширения для модулей 8 слотов + Ethernet + Modbus TCP
A101	I-87017DW	Модуль ввода аналоговых сигналов
A102	I-87015PW	Модуль подключения термосопротивлений
A201	I-87040PW	Модуль ввода дискретных сигналов
A202	I-87040PW	Модуль ввода дискретных сигналов
A203	I-87040PW	Модуль ввода дискретных сигналов
A204	I-87040PW	Модуль ввода дискретных сигналов
A301	I-87041PW	Модуль вывода дискретных сигналов
A302	I-87041PW	Модуль вывода дискретных сигналов
ОП	ВПП110	Панель оператора
КИ1	EDS-405A-SS-SC	Коммутатор 3x10/100 BaseTX, 2 100 BaseFX
КИ2	EDS-405A-SS-SC	Коммутатор 3x10/100 BaseTX, 2 100 BaseFX
АРМ		АРМ оператор

С помощью подсетей можно изолировать различные участки сети друг от друга, что помогает предотвратить несанкционированный доступ между разными сегментами сети.

Рабочее место оперативного персонала оборудовано АРМ в соответствии гигиенического сертификата, а также сертификаты,

гарантирующие соблюдение стандартов по электрической, механической и пожарной безопасности (ГОСТ Р 50377-92), уровню создаваемых радиопомех (ГОСТ Р 51318.22-99), уровню электростатических полей (ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ), работоспособности в условиях электромагнитных помех (ГОСТ Р 50628-2000) и уровню создаваемого шума (ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ) и вибрации (ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ).

В таблице 2 представлено сравнение нескольких популярных сред разработки SCADA.

Таблица №2

Сравнение популярных SCADA

Характеристика	Simple-Scada 2	Trace Mode	КРУГ-2000
Стоимость	бесплатно	Условно- бесплатно	Условно- бесплатно
Кроссплатформенность	Да	Да	Да
Поддержка современных протоколов	Полная	Частично	Полная
Место на диске	1 Гб	2 Гб	2 Гб
ОЗУ	1 Гб	2 Гб	2 Гб
Процессор	от 1 ГГц	от 1,6 ГГц	от 1,8 ГГц
Системные требования	Крайне низкие	Средние	Средние
Необходимость установки сторонних баз данных/ОПС-серверов	Нет	Да	Да
Дружественность интерфейса	Да	Нет	Нет
Сложность освоения	Не сложно	Средняя	Сложно
Система SoftLogic	Нет	Да	Да
Поддержка Web-технологий	Да	Да	Нет

Simple-Scada 2 имеет лучшие характеристики, поскольку требуется компьютер с минимальными системными требованиями.

Преимущества среды Simple-Scada 2 по сравнению с конкурентами [11]:

- не требовательна к ресурсам и малый вес программы;
- понятный и современный интерфейс;
- простота разработки проектов, легко разобраться в функциональных возможностях программы;
- наличие бесплатной ДЕМО версии, которая ограничена только точками входа (количеством тегов) на 64 точки;
- поддержка всех самых современных протоколов передачи и обмена данными в промышленности, в том числе через Web-интерфейс, позволяя управлять системой с любого устройства, даже с телефона или планшета.

Simple-Scada 2 отличается и тем, что имеет достаточно удобный инструментарий работы с базой данных и с собственным OPC-сервером.

Из недостатков можно отметить только отсутствие системы SoftLogic – программной среды, позволяющей одновременно разрабатывать проект АСУ ТП в виде экранных форм оператора и управляющих программ для выбранного контроллера автоматизации. Поэтому при выборе данной SCADA необходимо отдельно выбирать и устанавливать среду разработки управляющей программы для контроллера автоматизации.

Удобство заключается и в программной оболочке управления SCADA сервером (рис. 3). Программа имеет интуитивно понятный интерфейс и настройки.

Для того чтобы обеспечить более высокую эффективность и скорость работы системы АСУТП Simple-Scada 2 предлагает использование клиент-серверной архитектуры (рис. 4).

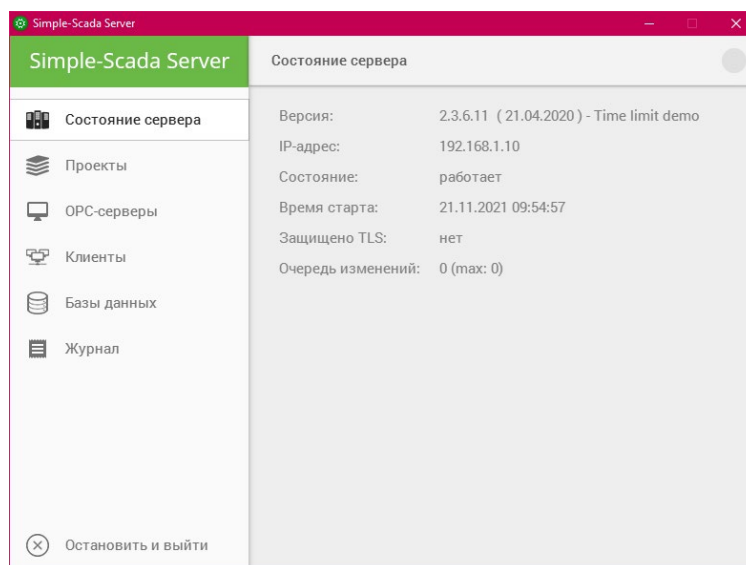


Рис. 3. - Запуск программы Simple-Scada Server

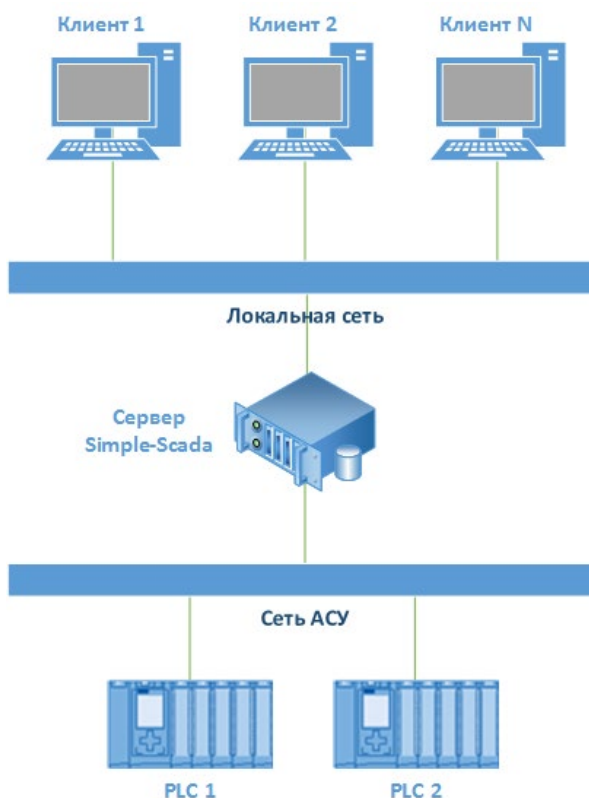


Рис. 4. - Клиент-серверная архитектура Simple-Scada 2

Для выполнения расчета показателей надежности системы на основе представленных параметров воспользуемся формулами теории надежности. Поскольку нам известна целевая наработка на отказ (MTTF) и указаны

остальные характеристики системы, мы можем вычислить некоторые ключевые показатели.

Исходные данные: целевая наработка на отказ: $MTTF = 30000$ часов; рабочий диапазон температур: от плюс 0°C до плюс 30°C ; процессор: Intel Core i5-12400H; оперативная память: 8 ГБ DDR4; накопитель: 1 ТБ; блок питания: мощность ≥ 500 Вт; максимальное количество подключаемых внешних устройств: 256 штук; максимальная удаленность внешних устройств: 200 метров.

Рассмотрим шаги расчета.

1. Определение интенсивности отказов (λ):

Известно, что наработка на отказ связана с интенсивностью отказов следующим соотношением:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}. \quad (1)$$

Отсюда интенсивность отказов системы:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{30000 \text{ часов}} \approx 0,0000333 \text{ отказов/ч.}$$

Это означает, что система в среднем будет давать один отказ примерно каждые 30 тысяч часов работы.

2. Расчет вероятности безотказной работы ($R(t)$):

Вероятность безотказной работы системы за определенный временной интервал t определяется по формуле:

$$R(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Например, пусть нас интересует вероятность безотказной работы за 1000 часов:

$$R(1000) = e^{-0,0000333 \times 1000} \approx e^{-0,0333} \approx 0,967.$$

Таким образом, вероятность безотказной работы системы в течение первых 1000 часов составит примерно 96,7 %.

3. Оценка коэффициента готовности (K_g):

Предположим условно, что время восстановления после отказа составляет $T_r = 10$ часов.

Время эффективной работы за весь жизненный цикл системы:

$$T_{\text{работы}} = MTTF - T_r = 30000 - 10 = 29990 \text{ часов.} \quad (3)$$

Тогда коэффициент готовности системы:

$$K_g = \frac{T_{\text{работы}}}{T_{\text{работы}} + T_r} = \frac{29990}{29990 + 10} \approx 0,9997.$$

Это означает, что система готова к эксплуатации в 99,97 % времени.

Результат расчета показывает, что:

- интенсивность отказов: $\lambda \approx 0,0000333$ отказов/ч;
- вероятность безотказной работы за 1000 часов: $R(1000) \approx 96,7 \%$;
- коэффициент готовности: $K_g \approx 99,97 \%$.

Рассчитанная система обладает хорошими показателями надежности. Показатель наработки на отказ в 30 тысяч часов соответствует высоким стандартам, а вероятность безотказной работы в первые 1000 часов превышает 96%. Коэффициент готовности близок к идеальному, что подтверждает высокую надежность системы в эксплуатации. Однако, учитывая повышенные требования к качеству работы, желательно периодически проверять работоспособность компонентов и своевременно осуществлять профилактические мероприятия для поддержания заявленных характеристик.

Выполнение данной работы позволило успешно реализовать проектирование автоматизированной системы управления технологическими процессами мазутного хозяйства филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро». Разработанная система направлена на обеспечение надежного контроля и эффективной эксплуатации процессов приема, хранения и подготовки мазута.

Литература

1. О филиале Березовская ГРЭС: ПАО «Юнипро». URL: unipro.energy/about/structure/affiliate/berezovskaya/details/ (дата обращения: 02.09.2025).
2. Климов А.С., Селютин И.Н., Новиков В.В. Информационное сопровождение удаленного контроля и управления основными функциями электролизной установки // Инженерный вестник Дона, 2025, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2025/9778.
3. Trofimov V. Designing an intelligent control system for a basic oxygen furnace based on computer vision // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2021. Vol. 60. №. 6. Pp. 995-1004.
4. Vassilyev S.N., Novikov D.A., Bakhtadze N.N. Intelligent control of industrial processes // in Proceedings of the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, St. Petersburg. 2013. Pp. 49-57.
5. Бартеньев В.П. Технологическая модернизация промышленного комплекса // Инженерный вестник Дона, 2007, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2007/49.
6. Тараненко М.Е. Импортозамещение контроллерного оборудования систем управления кислородно-конвертерным производством стали на Новолипецком металлургическом комбинате с использованием отечественного оборудования // Инженерный вестник Дона, 2024, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/9026.
7. Руководство по эксплуатации. Радарный уровнемер Vegapuls 62 URL: pkimpex.ru/files/vegapuls-62-2-rpe.pdf?ysclid=mhfqxefmh0653085603 (дата обращения: 10.10.2025).

8. Руководство по эксплуатации. Сигнализатор уровня СУ 200МАИ URL: kontakt-1.ru/assets/files/rukovodstva/obnovlenia/su200mai_v11.pdf (дата обращения: 10.10.2025).

9. Руководство по эксплуатации. Датчик температуры TC1187 URL: univeststar.ru/upload/iblock/b9f/b9fe5ac2b68591ea471f6498b25ae6f4.pdf (дата обращения: 10.10.2025).

10. Шкафы автоматического ввода резерва ШУ8253-12А2 16А IP54 URL: electromarket.su/shu8253-12a2-16a-ip54 (дата обращения: 10.10.2025).

11. Ларькин А.Е. Обзор современных SCADA-систем // Вестник международных научных конференций, 2015, №5. С. 139-142.

References

1. O filiale Berezovskaja GRJeS: PAO «Junipro» [About Berezovskaya GRES branch: PJSC "Unipro"]. URL: unipro.energy/about/structure/affiliate/berezovskaya/details/ (date assessed 02.09.2025).

2. Klimov A.S., Selyutin I.N., Novikov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2025, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2025/9778.

3. Trofimov V. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2021. Vol. 60. №. 6. PP. 995-1004.

4. Vassilyev S.N., Novikov D.A., Bakhtadze N.N. In Proceedings of the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, St. Petersburg. 2013. PP. 49-57.

5. Barten'ev V.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2007, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2007/49.

6. Taranenko M.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/9026.



7. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Radarnii urovner Vegapuls 62 [User Manual. Vegapuls 62 Radar Level Gauge] URL: pkimpex.ru/files/vegapuls-62-2-rpe.pdf?ysclid=mhfqxefmh0653085603 (date assessed: 10.10.2025).

8. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Signalizator urovnya SU 200MAI [User Manual. SU 200MAI Level Sensor]. URL: kontakt-1.ru/assets/files/rukovodstva/obnovlenia/su200mai_v11.pdf (date assessed: 10.10.2025).

9. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Datchik temperaturi TS1187 [Instruction Manual. TS1187 Temperature Sensor]. URL: univestar.ru/upload/iblock/b9f/b9fe5ac2b68591ea471f6498b25ae6f4.pdf (date assessed: 10.10.2025).

10. Shkafi avtomaticheskogo vvoda rezerva ShU8253-12A2 16A IP54 [Automatic input reserve cabinets SHU8253-12A2 16A IP54]. URL: electromarket.su/shu8253-12a2-16a-ip54 (date assessed: 10.10.2025).

11. Lar'kin A.E. Vestnik mezhdunarodnikov nauchnikov konferentsii, 2015, №5. pp. 139-142.

Дата поступления: 1.10.2025

Дата публикации: 26.11.2025