СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВЫМ ПЫЛЕУГОЛЬНЫМ КОТЛОМ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ ПЛК БАЗИС-100

А.В. Ведлер (МУП «Яровской ТЭК»),
И.Н. Андриянов, Е.В. Скоморохов, А.Ю. Шинкаренко (АО «Экоресурс»)

Описаны предпосылки создания, архитектура и функции системы автоматического управления паровым пылеугольным котлом, базирующейся на трех ПЛК БАЗИС-100. Приведены итоги эксплуатации системы в течение года.

Ключевые слова: системы автоматического управления, паровой пылеугольный котел, ПЛК.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация технологических процессов на объектах теплоэнергетики — одно из ключевых направлений повышения надежности, безопасности и экономической эффективности работы предприятий. В современных условиях особую значимость приобретает применение отечественных программно-аппаратных комплексов, в том числе программируемых логических контроллеров (ПЛК), адаптированных к специфике российских промышленных объектов.

Актуальность использования отечественных контроллеров обусловлена рядом факторов.

1. *Импортонезависимость и устойчивость поставок*. В условиях ограничений на поставку зарубежного оборудования и ПО отечественные ПЛК позволяют исключить риски срыва сроков реализации проектов и обеспечить бесперебойное обслуживание действующих систем. Наличие развитой сервисной сети и локальных складов запчастей сокращает время устранения возможных неисправностей.

2. *Соответствие российским стандартам*, а также отраслевым и нормативным требованиям. Отечественные контроллеры изначально проектируются с учетом специфики эксплуатации на российских предприятиях: от жестких климатических условий и особенностей электроснабжения до требований российских стандартов и технических регламентов. Это упрощает прохождение процедур сертификации, экспертизы промышленной безопасности и согласования проектной документации.

3. *Использование бесплатного ПО и открытых технологий*. Применение такого программно-технологического стека, включая конфигураторы, OPC серверы и протоколы обмена, снижает риски несовместимости компонентов, упрощает конфигурирование и отладку.

4. *Техническая поддержка и развитие функционала под задачи заказчика*. Производители отечественных ПЛК, как правило, обеспечивают оперативную техническую поддержку и готовы адаптировать аппаратные и программные решения под специфические требования конкретного предприятия, например по алгоритмам управления, доработке функциональности и пр.

5. *Обеспечение технологической независимости критической инфраструктуры*. Энергетические объекты относятся к критически важной инфраструктуре, где недопустимы скрытые зависимости от зарубежных поставщиков, включая риски удаленного отключения или изменения функциональности оборудования. Применение отечественных контроллеров минимизирует такие угрозы и способствует выполнению требований по информационной безопасности.

Кроме этого, можно добавить унификацию и масштабируемость

решений: использование типовых отечественных платформ позволяет стандартизировать подходы к автоматизации на разных объектах предприятия, сократить затраты на обучение персонала, упростить проектирование и тиражирование решений.

Модернизация автоматизированных систем управления котловыми агрегатами с использованием локальных контроллеров БАЗИС-14 рассмотрена в [1, 2]. В данной статье на примере внедрения системы управления котлом №8 на МУП «Яровской теплоэлектрокомплекс» на основе модульного контроллера БАЗИС-100[1] авторы покажут, что отечественные ПЛК способны решать не только простые, но и сложные задачи автоматизации в тяжелых промышленных условиях: обеспечивать точное регулирование множества параметров, реализовывать многоуровневую противоаварийную защиту и поддерживать резервирование критически важных узлов. Опыт эксплуатации системы на базе данного ПЛК подтверждает, что решения соответствуют современным требованиям к надежности и функциональности, а их применение — важный шаг к устойчивому и безопасному развитию энергетической инфраструктуры.

ПРЕДПРИЯТИЕ, ПРОЕКТ И ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Муниципальное унитарное предприятие «Яровской теплоэлектрокомплекс» (МУП «Яровской ТЭК») расположено в городе Яровое Алтайского края. Предприятие осуществляет производственную деятельность в сфере теплоэлектроэнергетики, водоснабжения и водоотведения, обеспечивая теплом и электроэнергией потребителей города.

Цель проекта — техническое перевооружение опасного производственного объекта площадки главного корпуса ТЭЦ (замена котлоагрегата №8).

Описание объекта автоматизации

Первоначальный котлоагрегат №8 марки БКЗ-75-39Ф производства Белгородского котельного завода был введен в эксплуатацию в 1987 г. и считался самым «молодым» котлом на станции. В 2015 г. он был законсервирован и выведен из эксплуатации. При этом на ТЭЦ обсуждалась возможность его возвращения в работу для повышения стабильности станции, но в итоге было принято решение о его замене, и в 2022 г. был произведен демонтаж старого котла.

В конце 2021 г. для реализации программы повышения надежности ТЭЦ (г. Яровое) было принято решение установить новый котлоагрегат №8. В конце 2022 г. был заключен договор с ООО «Сибэнергомаш-БКЗ» на изготовление нового пылеугольного котла типа Е-75-3,9-440КТ, и к концу 2024 г. котел впервые вышел на номинальные параметры. Проектирование системы автоматизации было выполнено компанией, специализирующейся на проектировании систем автоматизированного управления для объектов энергетики, а пусконаладочные работы (ПНР) — компанией, имеющей опыт ввода в эксплуатацию АСУТП на объектах теплоэнергетики.

В декабре 2025 г. комиссия приняла новый котлоагрегат №8 и подписала все документы о вводе его в эксплуатацию. Пусконаладочные работы показали, что котел работает исправно, и замечаний нет.

Новый котел — единственный в России мощностью 75 тонн пара в час с системой угольной пыли высокой концентрации (с давлением 3,9 МПа и температурой перегрева 440 °С).

Требования по автоматизации

Автоматизация такого агрегата — сложная инженерная задача, требующая надежного управления большим числом технологических параметров и обеспечения противоаварийной защиты. Однако внедрение автоматизированных систем управления и мониторинга позволяет значительно повысить КПД котельных агрегатов за счет оптимизации процессов горения и своевременного реагирования на изменения параметров работы котла [3].

Для контроллеров, используемых на котлоагрегатах, выдвигается множество требований.

1. Стойкость к запыленности и загрязнению: внешние части контроллеров должны иметь защиту IP54, внутренние платы — лакировку поверхностей. Также часто применяются герметичные шкафы с фильтрами или избыточным давлением.

2. Термостойкость и устойчивость к перепадам температур: вблизи котла возможны высокие температуры и резкие изменения режима; контроллер и модули ввода вывода должны стабильно работать в температурном диапазоне -10...60 °С.

3. Электромагнитная совместимость: в котельных много силовых устройств (частотные приводы, пускатели и пр.), создающих помехи; контроллер должен выдерживать помехи различного рода, не теряя работоспособность.

4. Учет функциональных особенностей пылесистемы:

- регулирование частоты вращения двигателей мельниц и питателей пыли с жесткими ограничениями по перегрузкам и аварийным остановкам;
- распределение нагрузки между мельницами и горелками, учет износа оборудования и отклонения по расходу пылевоздушной смеси;
- контроль температуры аэросмеси и первичного воздуха посредством ПИД-регуляторов для обеспечения устойчивого горения;
- немедленная блокировка регулирования при срабатывании технологических защит (перегрев, падение давления, превышение концентрации пыли);
- детерминированное время срабатывания защит и блокировок;
- специальные последовательности пусков и остановов мельниц, вентиляции, розжига горелок и пр., чтобы исключить опасные режимы;
- расширенная самодиагностика с непрерывным контролем исправности датчиков, линий связи, модулей ввода вывода.

[1] https://ecoresurs.ru/catalog/po-tipam/bazis-100/

5. Использование стандартных протоколов и технологий (MODBUS, OPC).

6. Обеспечение информационной безопасности: разграничение прав доступа, аудит действий оператора и пр., а также синхронизация времени (например, по NTP) для корректной регистрации событий и анализа аварий.

7. Учет аппаратных и системных особенностей:

• резервирование процессоров, модулей ввода вывода, источников питания и каналов связи;

• изменяемость (масштабируемость) системы и программной конфигурации без останова работы;

• поддержка стандартных сигналов (дискретных, температурных, токовых, импульсных, напряжений) входами/выходами.

8. Соответствие требованиям Технических регламентов (ТР ТС 004/2011, ТР ТС 012/2011 и ТР ТС 020/2011).

9. Крайне желательные дополнительные возможности:

• наличие русскоязычной документации, доступность сервисного обслуживания;

• беспроблемная интеграция с доступными на рынке техническими средствами (различные датчики, исполнительные механизмы МЭО/МЭМ и пр.);

• наличие готовых программных блоков с ПИД-регуляторами, специальными алгоритмами для противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ) (блокировки, разрешение пуска, определение первопричины срабатывания и пр.).

Первичные устройства и исполнительные механизмы

Всего в системе задействовано:

• аналоговых датчиков (токовых и термосопротивлений) — 239 ед.;

• дискретных датчиков — 64 ед.;

• исполнительных механизмов типа МЭМ — 85 ед.;

• электрозадвижек и электроклапанов — 35 ед.;

• исполнительных механизмов типа МЭО — 22 ед.;

• частотных преобразователей — 5 ед.

Архитектура системы управления

Распределенная система управления технологическими процессами (РСУ ТП) котла №8 построена на базе ПЛК БАЗИС-100 производства АО «Экоресурс» (г. Воронеж), так как он в полной мере удовлетворяет указанным требованиям.

ПЛК БАЗИС-100 — это программно-аппаратный комплекс (ПАК), в общем случае предназначенный для построения систем ПАЗ, регистрации, регулирования, сигнализации и логического управления на различных производственных объектах[2]. Он присутствует на рынке автоматизации уже более 15 лет. За это время контроллер постоянно развивался: получал новые функциональные возможности и улучшал технические характеристики.

В системе применены три таких контроллера с дублированием процессорных модулей, что обеспечивает дублирование интерфейсов, горячее резервирование и повышает отказоустойчивость системы в целом.

Контроллеры распределены на три подсистемы:

• LSAU1 — первая локальная подсистема управления;

• LSAU2 — вторая локальная подсистема управления;

• SPP — подсистема ПАЗ и сопутствующих функций.

Верхний уровень управления. Для операторов реализовано два автоматизированных рабочих места (АРМ) со SCADA-системами[3]. Архитектура верхнего уровня построена по клиент-серверной схеме:

• сервер осуществляет обмен данными и управляющими командами с ПЛК БАЗИС-100 через OPC DA сервер БАЗИС (разработка АО «Экоресурс») по интерфейсу Ethernet;

• клиент служит для мониторинга состояния котла, управления задвижками, регуляторами и другими исполнительными механизмами.

Каждый АРМ укомплектован промышленным ПК и двумя мониторами, что позволяет оператору одновременно отслеживать множественные технологические параметры и схемы.

Резервный канал мониторинга. Помимо основной SCADA-системы для мониторинга состояния котла на удаленном рабочем месте (вне операторной котла №8) установлена резервная SCADA-система, которая получает параметры от ПЛК БАЗИС-100 по протоколу MODBUS TCP через OPC по сети Ethernet. Таким образом, информация о состоянии котла доступна в реальном времени не только оператору котла, но и удаленно.

Панель локального управления. Дополнительная панель управления (ПУ) для расширения возможностей мониторинга и управления контроллером установлена в составе подсистемы LSAU1. ПУ (рис. 1а) обеспечивает визуализацию параметров и оперативное управление непосредственно у шкафа контроллера (рис. 1б и 1в), что удобно в работе и критически важно при пусконаладочных и сервисных работах.

Функции управления и ПАЗ. Система реализует следующие функции:

• автоматическое регулирование — 28 регуляторов, управляющих технологическими процессами котла (поддержание уровня в барабане, температуры перегретого пара, расхода топлива и воздуха и пр.);

• защита на останов котла — девять параметров ПАЗ, формирующих сигнал на останов котла при выходе критических параметров за установленные пределы;

• защита на останов питателя сырого угля (ПСУ) — шесть параметров ПАЗ, останавливающих подачу сырого угля в мельницу при возникновении аварийных ситуаций в системе пылеприготовления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

На момент подготовки статьи система находится в эксплуатации около года. За прошедший период серьезных сбоев в работе не

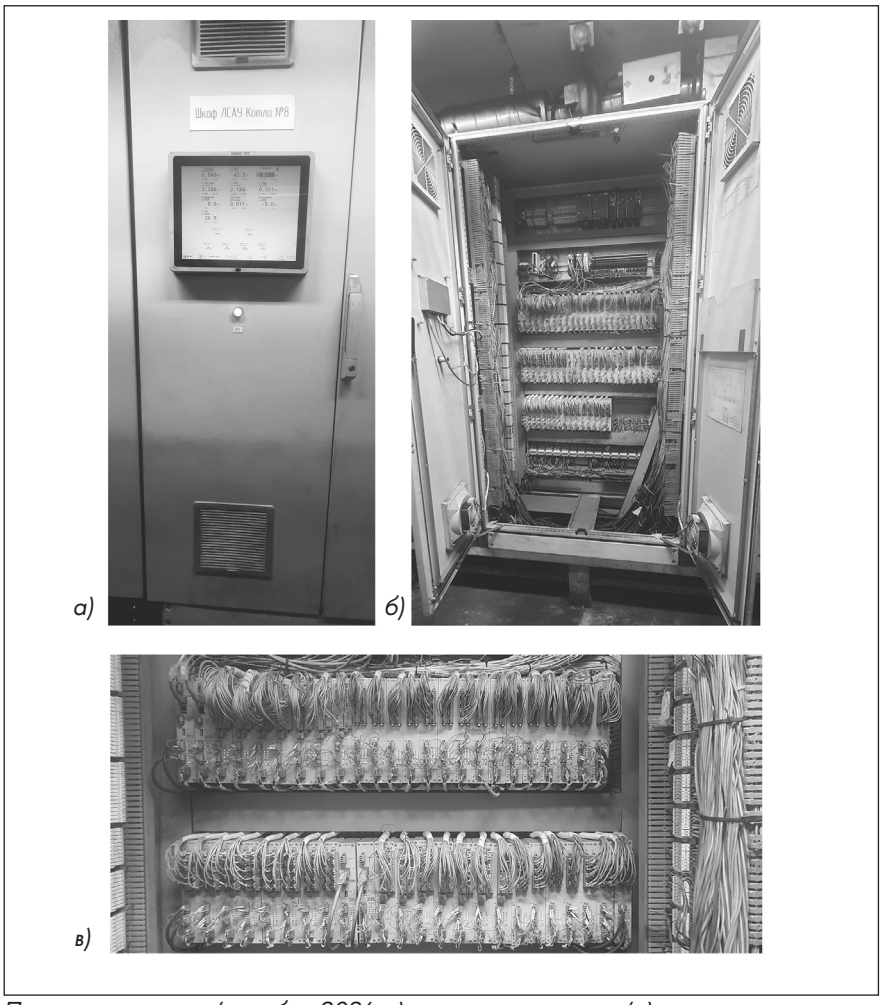
[2] https://reestr.digital.gov.ru/reestr-pak/3051037 .

[3] Контроллер работает с любыми SCADA-системами, поддерживающими протокол MODBUS или технологию OPC.

зафиксировано. Система управления котлом №8 обеспечивает устойчивое автоматическое регулирование всех технологических параметров, надежную работу ПАЗ и оперативный мониторинг состояния агрегата: из операторной, с удаленного рабочего места и с передней панели по месту.

Однако в ходе эксплуатации был выявлен проблемный узел. Первоначально управление частотными преобразователями пылепитателей (ППЛ) и питателя сырого угля (ПСУ) реализовывалось по протоколу MODBUS TCP с использованием Ethernet-интерфейса. При этом в работе периодически возникали сбои, проявлявшиеся в кратковременной потере управления частотными преобразователями. Причины проблемы на момент написания статьи достоверно не установлены.

В качестве решения управление частотными преобразователями было переведено с цифрового протокола на аналоговый (по напряжению). После внесенных изменений работа системы стала стабильной и надежной. Полученный опыт демонстрирует, что при управлении критичными механизмами в условиях промышленных помех аналоговые сигналы могут оказаться более устойчивыми, чем цифровые, особенно при наличии промежуточных шлюзов и конвертеров протоколов в цепи обмена данными.



Панель управления (сентябрь 2026 г.): панель управления (а) и модули контроллера БАЗИС-100 в шкафу (б, в) во время обслуживания системы

ВЫВОДЫ

1. Внедрение РСУ ТП парового пылеугольного котла №8 на основе ПЛК БАЗИС-100 на МУП «Яровской ТЭК» подтвердило работоспособность и надежность данных устройств для управления сложными энергетическими агрегатами.

2. Применение трех контроллеров с разделением функций по подсистемам, дублированием процессоров и резервированием каналов связи обеспечило требуемый уровень отказоустойчивости.

3. Комбинированная архитектура верхнего уровня с использованием SCADA-систем позволила организовать как локальное, так и удаленное рабочее место оператора.

4. Годовой опыт эксплуатации без серьезных сбоев свидетельствует о корректности принятых проектных решений и качестве выполненных пусконаладочных работ.

Список литературы

1. *Ведлер А. В., Шимолин М. В.* Модернизация АСУ котловых агрегатов на ТЭЦ МУП «ЯТЭК» // Промышленные АСУ и контроллеры. 2021. №5.
2. *Шимолин М. В., Ведлер А. В.* Применение контроллеров серии БАЗИС в системах управления ТЭЦ // Автоматизация и IT в энергетике. 2021. №8.
3. *Жирнов С. Е.* Современные методы повышения КПД котельных агрегатов // Вестник науки. 2024, №7.

Ведлер Андрей Викторович *— начальник цеха ТАИ ТЭЦ МУП «Яровской ТЭК» (г. Яровое),*
Андриянов Игорь Николаевич *— канд. техн. наук, начальник отдела документирования и тестирования,*
Скоморохов Егор Витальевич *— руководитель проектов,*
Шинкаренко Артем Юрьевич *— инженер, АО «Экоресурс» (г. Воронеж).*