

УДК 621.311

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛК НА СОВРЕМЕННЫХ АСУ ТП
USING PLC IN MODERN APCS**

Е.В. Барбарич, А.Н. Медведева

Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

irina.yevseyenko@yandex.by

E. Barbarich, A. Medvedeva

Scientific supervisor – I. Yevseyenko, Assistant

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в статье рассматривается роль программируемых логических контроллеров (ПЛК) в современных автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП). Проведен анализ архитектуры, функциональных возможностей и ключевых преимуществ ПЛК по сравнению с альтернативными решениями. Рассмотрены современные тенденции, включая интеграцию с промышленным интернетом вещей, применение цифровых двойников и вопросы кибербезопасности. На основе проведенного анализа выделены перспективные направления развития ПЛК в контексте Industry 4.0.

Abstract: the article examines the role of programmable logic controllers (PLCs) in modern automated process control systems (APCS). The analysis of the architecture, functionality and key advantages of PLCs compared to alternative solutions is carried out. Modern trends are considered, including integration with the Industrial Internet of Things, the use of digital twins and cybersecurity issues. Based on the analysis, promising areas for the development of PLCs in the context of Industry 4.0 are identified.

Ключевые слова: ПЛК, АСУ ТП, автоматизация, SCADA, Industry 4.0, IIoT, кибербезопасность.

Keywords: PLC, APCS, automation, SCADA, Industry 4.0, IIoT, cybersecurity.

Введение

Современные промышленные предприятия требуют высокоэффективных и надежных систем автоматизации. АСУ ТП на основе ПЛК обеспечивают управление технологическими процессами в реальном времени, минимизируя влияние человеческого фактора и повышая производительность [1].

Актуальность исследования обусловлена растущими требованиями к гибкости, масштабируемости и безопасности автоматизированных систем [2]. Цель работы – провести анализ применения ПЛК в современных АСУ ТП, оценить их преимущества, недостатки и перспективы развития.

Основная часть

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) – это сердце современной автоматизации в сфере теплоэнергетики. Их ключевое преимущество – невероятная гибкость и адаптивность. В отличие от жестко

запрограммированных устройств, ПЛК легко перенастраиваются под новые задачи благодаря наличию программируемых логических модулей. Это позволяет использовать один и тот же контроллер для управления различными технологическими процессами, изменяя лишь программное обеспечение. Благодаря ПЛК, перенастройка линии сводится к изменению программы, а не к замене всего оборудования. Это существенно снижает затраты на модернизацию и оптимизацию производства. Программирование осуществляется с помощью специализированных языков программирования, что позволяет инженерам создавать сложные алгоритмы управления, учитывающие множество различных параметров и условий работы.

Высокая надежность является еще одним достоинством, отличающим ПЛК от других типов контроллеров. Они специально проектируются для работы в суровых промышленных условиях, демонстрируя устойчивость к вибрациям, перепадам температур, электромагнитным помехам и другим неблагоприятным факторам. Это гарантирует бесперебойную работу системы управления даже в экстремальных ситуациях, что критически важно для обеспечения безопасности и эффективности производства. Встроенные механизмы самодиагностики и резервирования позволяют ПЛК обнаруживать и устранять неисправности, минимизируя время простоя оборудования.

Кроме того, ПЛК – это не изолированные устройства. Они являются центральным звеном, интегрирующим множество других компонентов АСУ ТП. ПЛК взаимодействуют с разнообразными датчиками, которые собирают информацию о параметрах процесса (температура, давление, уровень жидкости и т. д.). Полученные данные обрабатываются ПЛК, на основе которых он управляет исполнительными механизмами – двигателями, клапанами, насосами и прочим оборудованием. При этом ПЛК обменивается информацией с промышленными компьютерами и системами визуализации данных, предоставляя оператору наглядное представление о состоянии процесса и позволяя ему осуществлять мониторинг и управление в реальном времени. Эта тесная интеграция обеспечивает эффективную координацию работы всех элементов системы, повышая её общую производительность и надежность. В итоге, использование ПЛК способствует оптимизации производственных процессов, снижению затрат и повышению качества выпускаемой продукции.

Современный ПЛК включает в себя:

- Центральный процессор (CPU) – выполняет логические и арифметические операции.
- Модули ввода-вывода (I/O) – обеспечивают взаимодействие с датчиками и исполнительными механизмами.
- Память – хранит программу управления и данные.
- Интерфейсы связи – поддерживают промышленные протоколы (Modbus, Profibus, Ethernet/IP).

Основные стандарты программирования (IEC 61131-3):

- LD (Ladder Diagram) – релейная логика.
- FBD (Function Block Diagram) – блочное программирование.
- ST (Structured Text) – текстовый язык высокого уровня.

- SFC (Sequential Function Chart) – управление последовательностями.
Сравнительный анализ ПЛК показан в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ ПЛК и альтернативных решений [1]

Критерий	ПЛК	Промышленные ПК	Микроконтроллеры
Надежность	Высокая	Средняя	Низкая (для сложных задач)
Гибкость	Средняя (ограничена ПО)	Высокая	Высокая
Время отклика	Реальное время	Зависит от ОС	Реальное время
Стоимость	Средняя/высокая	Высокая	Низкая

ПЛК остаются оптимальным решением для задач, требующих высокой надежности и детерминированного времени отклика.

Современные ПЛК интегрируются с новейшими технологиями, такими как Интернет вещей промышленного уровня (IIoT) и облачные платформы. Обмен данными осуществляется с использованием протоколов MQTT и OPC UA, обеспечивающих надежную и эффективную передачу информации. Подключение к облачным платформам, таким как AWS IoT и Azure IoT, позволяет удаленно контролировать и управлять ПЛК, получать данные о состоянии оборудования и анализировать большие объемы информации для оптимизации технологических процессов. Это открывает огромные возможности для предиктивной аналитики и предотвращения потенциальных проблем [3].

Использование цифровых двойников – еще одна перспективная область применения ПЛК. Цифровой двойник – это виртуальная модель реального оборудования, которая позволяет моделировать различные сценарии работы, оптимизировать настройки ПЛК до его физического внедрения и прогнозировать потенциальные отказы. Это позволяет значительно сократить время пуско-наладки и повысить эффективность работы системы.

Вопрос кибербезопасности становится все более актуальным. Промышленные сети подвержены различным атакам, например, через уязвимости в протоколе Modbus. Для защиты ПЛК и АСУ ТП в целом необходимо применять комплекс мер: шифрование данных с помощью протоколов TLS/SSL, сегментация сети для ограничения распространения вредоносных программ, регулярное обновление программного обеспечения и внедрение систем обнаружения вторжений [2, 4].

Рассмотрим пример конкретной модели ПЛК – Siemens SIMATIC S7-1500 [2], являющейся эталоном производительности в своей области. Эта модель отличается высокой вычислительной мощностью, имея процессоры до 4 ядер и до 1.5 МБ оперативной памяти. Время цикла выполнения бинарных операций составляет менее 1 наносекунды, а коммуникация по сети PROFINET характеризуется временем реакции до 250 микросекунд. Это обеспечивает

высокую скорость обработки данных и точность управления технологическим процессом. Встроенные функции безопасности, такие как защищенная загрузка программного обеспечения и механизмы аутентификации, позволяют предотвратить несанкционированный доступ и гарантируют надежную работу системы в условиях повышенных требований к безопасности.

SIMATIC S7-1500 используется в самых разнообразных отраслях промышленности: от автомобилестроения и энергетики до пищевой промышленности и фармацевтики, доказывая свою универсальность и эффективность. Более того, модульная архитектура SIMATIC S7-1500 позволяет легко масштабировать систему, добавляя новые модули по мере необходимости, что делает её идеальным решением для проектов любого масштаба и сложности.

Варианты применения ПЛК:

1. Автомобильный завод BMW (Лейпциг):

- 250 контроллеров S7-1500 в единой сети.
- Управление 1200 роботами KUKA.
- Использование TIA Portal для единого программирования.

2. Нефтеперерабатывающий завод (Россия):

- Контроль температуры в реакторах (точность $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$).
- Интеграция с системой аварийной остановки (SIL3).

Система автоматизации Allen-Bradley ControlLogix, являющаяся стандартом на североамериканском рынке промышленной автоматизации, представляет собой мощную и гибкую платформу, основанную на модульной архитектуре. Ее ключевое преимущество заключается в масштабируемости: возможность подключения до 256 модулей ввода-вывода позволяет адаптировать систему к задачам различной сложности, от небольших производственных линий до крупных промышленных комплексов. Функционал ControlLogix значительно расширяется благодаря встроенной поддержке Motion Control, позволяющей управлять до 32 осей одновременно. Это открывает широкие возможности для применения в системах с ЧПУ, робототехнике и других областях, требующих точного позиционирования и синхронизации движений.

Широкий спектр коммуникационных протоколов, включая EtherNet/IP, DeviceNet и ControlNet, обеспечивает бесшовную интеграцию ControlLogix с другими устройствами в рамках промышленной сети. Эта совместимость упрощает создание комплексных систем автоматизации и позволяет эффективно обмениваться данными между различными компонентами.

Наглядным примером успешного внедрения является система контроля чистых помещений на фармацевтическом производстве Pfizer. В этом проекте ControlLogix успешно управляет 175 аналоговыми датчиками давления и влажности, обеспечивая частоту опроса в 50 миллисекунд. Интеграция с программным обеспечением FactoryTalk View SE позволяет операторам осуществлять мониторинг и управление процессом в режиме реального времени, получая наглядную информацию о состоянии системы [5].

Однако ControlLogix не единственное решение на рынке, и выбор конкретной системы ПЛК зависит от специфических требований проекта.

Для работы во взрывоопасных зонах класса 1 (Zone 1) применяются специализированные решения, такие как Siemens ET 200SP HA (во взрывозащищенном исполнении) или Rockwell CompactLogix 5370 L3X, адаптированные к условиям повышенной опасности. Для высокоскоростных приложений, где требуется управление с микросекундной точностью, эффективными решениями выступают ПЛК Beckhoff CX2040 (с шагом управления 100 мкс) и B&R X20, отличающиеся синхронной коммуникацией по протоколу POWERLINK.

Выбор оптимальной системы ПЛК – это комплексный процесс, требующий тщательного анализа нескольких ключевых параметров. Критерий времени отклика является одним из наиболее важных. Для задач, требующих скорости реакции менее 1 миллисекунды, подходят высокопроизводительные ПЛК, такие как Beckhoff CX2000 и B&R X20. Для менее критичных приложений с временем отклика 1–10 миллисекунд подойдут Siemens S7-1500 и Allen-Bradley ControlLogix. Если же требования к скорости реакции не столь высоки, то можно рассмотреть применение промышленных ПК. Температурный диапазон работы также является важным фактором. Большинство ПЛК работают в стандартном диапазоне от 0 до +55°C. Однако для эксплуатации в экстремальных условиях требуются ПЛК с расширенным температурным диапазоном, например, Phoenix Contact ILC или Wago 750, способные функционировать от -25 до +70°C.

Наконец, при выборе ПЛК необходимо учитывать требования к функциональной безопасности, определяемые уровнями SIL (Safety Integrity Level) и PLe (Performance Level). Для достижения уровня SIL3, гарантирующего высокую степень безопасности, применяется, например, Siemens S7-1500F. Для соответствия уровню PLe, отвечающему требованиям высокой надежности, можно использовать Allen-Bradley GuardLogix. Таким образом, оптимальный выбор ПЛК определяется комплексным анализом всех перечисленных факторов, что позволит создать надежную и эффективную систему автоматизации, полностью соответствующую поставленным задачам [4].

К новейшим разработкам относятся процессоры для программируемых логических контроллеров Siemens SIMATIC S7-1600 (анонсирован на 2025): процессор предусматривает AI-ускоритель для предиктивной аналитики и поддержка 5G URLLC (Ultra-Reliable Low Latency).

Открытыми платформами рассматриваются Raspberry Pi CM4 + Codesys. К достоинствам относятся относительно невысокая цена (менее 500\$), производительность до 1.5 DMIPS/MHz и поддержка OPC UA Pub/Sub.

Заключение

ПЛК остаются ключевым компонентом АСУ ТП благодаря надежности, детерминированности и простоте интеграции. Перспективные направления развития включают:

- углубленную интеграцию с IoT;
- применение искусственного интеллекта для адаптивного управления;

- повышение уровня стандартизации и кибербезопасности.

Приведенный технический анализ подтверждает, что современные ПЛК достигли уровня, когда выбор конкретной модели должен основываться на глубоком анализе:

- требований к детерминизму (jitter $< 1 \mu\text{s}$ в системах motion control);
- необходимости горизонтальной интеграции (например, через OPC UA FX);
- будущего расширения (поддержка модулей AI/ML).

Однако также требуются дополнительные исследования в области: квантово-устойчивой криптографии для ПЛК, оптимизации энергопотребления в edge-развертываниях и стандартизации API для промышленного метавселенной. Дальнейшие исследования могут быть направлены на анализ квантовых вычислений в ПЛК и развитие открытых стандартов программирования.

Литература

1. Миронов, А. В. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. – Горячая линия. – Москва : Телеком, 2020.
2. Siemens AG. SIMATIC S7-1500 Advanced Controller: technical specification: [Siemens AG]. – 2020. – URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата обращения: 05.04.2025).
3. Lee, J., Davari, H., Singh, J., Pandhare, V. Industrial AI and Cyber-Physical Systems for Smart Manufacturing / J. Lee [et al.] // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2023. – Vol. 28, № 4. – P. 2052–2062. – DOI: 10.1109/TMECH.2023.3242115. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10045783> (дата обращения: 05.04.2025).
4. Rockwell Automation. ControlLogix 5580 Controller Performance and Capacity: white paper [Rockwell Automation]. – 2023. URL: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/enet-td001_-en-p.pdf (дата обращения: 05.04.2025).
5. ZVEI. Guidelines for PLC Selection in IIoT Environments: internal technical report / ZVEI. – 2023. – URL: <https://www.zvei.org/en/subjects/industrial-automation/> (дата обращения: 10.04.2025).