

**ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМОГО  
ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА И РАЗРАБОТКИ  
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИМ**  
FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF A  
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER AND THE  
DEVELOPMENT OF SOFTWARE TO CONTROL IT

**Ксения Анатольевна Федулова** **Ksenia Anatolyevna Fedulova**

Доцент. Кандидат педагогических наук Docent. Candidate of Pedagogical Sciences.

Fedulova@live.ru

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Россия, Екатеринбург Russian State Vocation Pedagogical University, Russia, Yekaterinburg

**Евгений Олегович Боев** **Evgeny Olegovich Boev**

Магистрант Master's student

Bev.evgenij@gmail.com

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Россия, Екатеринбург Russian State Vocation Pedagogical University, Russia, Yekaterinburg

***Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы внедрения программируемых логических контроллеров и необходимость разработки программного обеспечения для эффективного управления их работой, а также вопросы проектирования человеко-машинного интерфейса при модернизации устаревших последовательных релейно-контактных электрических схем и их эффективное использование на промышленных предприятиях.*

***Ключевые слова:** модернизация; программируемый логический контроллер; автоматизированная система управления; человеко-машинный интерфейс; программное обеспечение.*

***Annotation.** The article is discussed the problems of implementing programmable logic controllers and the need to develop software for effective control of their operation, as well as the issues of designing a human-machine interface during the modernization of outdated serial relay-contact electrical circuits and their effective use in industrial enterprises.*

***Keywords:** modernization; programmable logic controller; automated control system; human-machine interface; software.*

В течение последних нескольких десятилетий технический прогресс в промышленной автоматизации существенно изменил профессиональную деятельность специалистов. Промышленная революция внесла значительный вклад в этот процесс на уровне массового производства, безопасности и других социальных аспектов, таких как переход к новому пониманию экономических и производственных процессов, автоматизация рабочего пространства. Даже изменение уклада и возможностей повседневной жизни. На пороге цифровой революции, получившей название «Индустрия 4.0», люди снова ожидают серьезных изменений в промышленной автоматизации, которые уже начались на современных предприятиях и которые бросают новые вызовы в части проектирования и разработки промышленного оборудования и программного обеспечения для него.

Несмотря на то что производственные предприятия стремятся стать некими современными высокотехнологичными центрами промышленного сектора страны, практика показывает [3], что, это весьма сложно реализовать. До сих пор обычным является активное использование устаревшего оборудования как части любой производственной линии. В большинстве отраслей российской промышленности износ основных фондов колеблется в пределах 40 %, а некоторые имеют даже 60 %. Причем изношенность сырьевых и обрабатывающих отраслей с каждым годом растёт всё больше и больше [4].

Несмотря на утверждение, что новые и старые технологии не могут сочетаться, эти две противоположности могут гармонично работать вместе, модифицируя несколько ключевых компонентов. Самый простой способ добиться этого — добавить датчики для сбора данных и программируемые логические контроллеры (ПЛК), а также инвестировать в акселерометры и термопары для измерения вибрации, температуры, тока и потребляемой мощности.

Так, например, модернизация автоматизированной системы управления на основе программируемого логического контроллера позволяет оперативно устранять недочеты, выявленные при эксплуатации оборудования, и приобрести такие преимущества, как:

- увеличение надежности работы схемы управления за счет исключения элементов с ме-

ханическими контактами и уменьшения соединительных проводов;

- предоставление информации о состоянии оборудования в наглядном и понятном персоналу виде;
- снижение времени поиска и устранения неисправностей, возникающих в процессе работы оборудования;
- диагностика состояния оборудования без останова технологического цикла;
- приведение автоматизированной системы управления технологическим процессом в соответствие с современными требованиями к аналогичным системам.

Важно заметить, что при относительно небольших финансовых затратах можно существенно повысить комфортность и эффективность работы персонала.

Российский рынок автоматизации за последнее время претерпел серьезную реструктуризацию, и сектор программируемых логических контроллеров не остался незатронутым. В результате ухода с рынка промышленного оборудования известных зарубежных производителей, которые занимали передовые позиции в производстве автоматических систем, на первое место вышли отечественные компании. Важно отметить, что последние уже сегодня доказывают, что предоставляемые ими решения соответствуют современным требованиям, обеспечивая максимальную эффективность и производительность и выдерживая конкуренцию на рынке.

ПЛК (программируемый логический контроллер) пришел на смену последовательных релейных схем и таймеров для управления линией сборки автомобилей в конце 1960-х годов. Впервые он был разработан компанией «Bedford Associates», которая представила «компьютеризированное» решение, запрошенное крупным американским производителем «General Motors». Цель состояла в том, чтобы исключить затраты на замену оборудования в системе управления станками на основе реле. С тех пор как в 1968 году появился первый ПЛК «Modicon 084» (модульный цифровой контроллер), ПЛК стал неотъемлемой частью современной автоматизации и используется для сбора и обработки данных, управления различными этапами производственных процессов, а также для управ-

ления отдельными устройствами различного назначения [6]. Упрощенное представление архитектуры ПЛК демонстрирует рисунок 1.

В основном ПЛК состоит из нескольких частей — входов и выходов, процессора, памяти и программы — и является основным компонентом систем промышленной автоматизации и управления [2].

Тематическое исследование, проведенное в 2019 году исследователями Ф. Орельяной и Р. Торрес, доказало, что модернизация устаревшего оборудования может успешно создать эффективную интеллектуальную фабрику [10]. В ходе исследования устаревшее оборудование на заводе по производству запасных частей было оснащено различными датчиками, подключенными к ПЛК. Это привело не только к повышению эффективности работы, зависящей от процента цифровизации, но и к снижению энергопотребления на 17 %, снижению прогнозируемых затрат на 3 % и снижению процента человеческих ошибок на заводе на 70 %.

Результаты приведенного выше исследования показывают, что компании могут избежать значительных затрат на постоянное обновление оборудования, сохраняя при этом конкурентное преимущество. Более того, этот процесс модернизации представляет собой непрерыв-

ное совершенствование, которое позволяет сотрудникам лучше ознакомиться с цифровыми технологиями, не погружаясь в работу с новым высокотехнологичным оборудованием.

Автоматизация производства является одним из основных и скорорастущих направлений в современной российской промышленности, именно автоматизация дает возможность значительно увеличить эффективность и производительность труда. Основная задача автоматизации — это сокращение умственных и физических задач, которые ранее выполнялись людьми. Постепенный переход к цифровым технологиям позволяет программно выполнять технологические процессы, вести контроль и повышать безопасность труда.

Использование автоматизированных систем управления технологическими процессами значительно влияет на улучшение качества труда, снижение ошибок, совершаемых человеком, а также позволяет повысить качество выпускаемой продукции. Кроме того, в отличие от других блоков управления, программируемый логический контроллер имеет функцию, которая может проверять состояние оборудования и программ, чтобы увидеть, есть ли какие-либо неисправности или ошибки и может быть оперативно произведен ремонт.



Рис. 1. Упрощенная архитектура программируемого логического контроллера

Проблемы проектирования, тестирования и оптимизации систем автоматического управления технологическими процессами с ПЛК стали чрезвычайно важными и актуальными. Задачи автоматизации включают разработку, анализ, синтез и тестирование технических систем, предназначенных для обеспечения оптимальной производительности технических и производственных процессов без постоянного участия человека [9].

Следовательно, технология автоматизации находится в стадии быстрого развития, которое можно охарактеризовать следующими четырьмя особенностями:

- переходом от аналогового к цифровому и гибриднему оборудованию автоматизации путем интеграции систем и процессов, поддерживаемых компьютером;
- применением методов автоматического управления техническими системами с использованием переменных на основе языка без сложных математических моделей;
- оптимизацией цепочки взаимодействия между человеком и процессом, путем интеграции систем связи, обработки информации и сенсорно-исполнительных механизмов;
- применением сложных и иерархически сконфигурированных структур автоматизации и внедрением адаптивных и интеллектуальных систем.

Отрасли промышленности наконец-то осознали надежность и долгосрочную прибыль, которые могут обеспечить российские автоматизированные системы управления технологическими процессами. Металлургическая промышленность и автомобилестроение — одни из наиболее распространенных отраслей, где использование программируемых логических контроллеров стало наиболее востребованным. Так, в области трубной металлургии программируемые логические контроллеры применяются для управления и диспетчеризации металлопрокатных станов [1], в том числе и станов холодной прокатки труб (ХПТ), управления и контроля горения газовых печей, загрузочными рольгангами, для управления мостовых крановых механизмов, для автоматизации трубопроводных цехов. Отечественные ПЛК широко используются на автоматизированных линиях сварки, на шлифовальных машинах, линиях

порезки рулонов, системах вентиляции и водоснабжения, на стеллажах для испытаний асинхронных электродвигателей, а также двигателей постоянного тока.

Системы автоматического управления промышленных предприятий развиваются не только с использованием программируемых логических контроллеров, но и требуют качественного интуитивно-понятного человеко-машинного интерфейса (НМИ). НМИ — это технология, которая позволяет людям взаимодействовать с машинами и управлять ими удаленно, вводить исходные и получать выходные данные от машины [8]. НМИ может использоваться в различных отраслях промышленности, таких как металлургия, здравоохранение, автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность и т. д. [5]. При этом интерфейс оператора может представлять собой простой экран с текстовым дисплеем и клавиатурой или большие сенсорные панели, больше похожие на бытовую электронику, но в любом случае они позволяют пользователям просматривать и вводить информацию в ПЛК в режиме реального времени.

Человеко-машинный интерфейс, являющийся практичным в управлении с помощью информативного имитационного дисплея на экране монитора компьютера или сенсорной панели, с каждым днем становится все более актуальным во всех областях промышленности.

Однако стоит заметить, что программируемый логический контроллер — это всего лишь элемент управления, поэтому важность написания кода программы для управления им нельзя игнорировать. Программное обеспечение (ПО) определяет функцию и назначение ПЛК. Именно программное обеспечение определяет, как он будет действовать в определенной ситуации и реагировать на управляющие элементы. Контроллер без ПО — это аппарат с большими возможностями, но без интеллекта, без надлежащего кода программы он не сможет правильно выполнять поставленные задачи. Создание ПО — это процесс написания инструкций для ПЛК. Программное обеспечение инкапсулирует полное описание процесса и таким образом определяет качество машины, то есть программирование требует понимания архитектуры машины и того, как она взаимодействует с окружающей средой [7].

Программа считается завершенной, когда она написана, скомпилирована, загружена в контроллер и работает в соответствии с требованиями. Однако при разработке программного обеспечения важно поддерживать высокую производительность программистов, особенно при реализации процедур тестирования, отладки и внесения исправлений. В связи с этим имеет смысл использование языка более высокого уровня, при этом производительность программистов возрастает многократно, и они могут создавать ПО с более широким функционалом и с наименьшим количеством задействованных строк.

Для разработки качественного ПО для ПЛК следует использовать языки программирования стандарта МЭК 1131-3, такие как релейная логика Ladder Diagram (LD), язык функциональных блоков Function Block Diagram (FBD) или язык структурированного текста Structured Text (ST) [6]. С помощью этих языков инженеры могут создавать программы, управляющие поведением машины в различных условиях. Если контроллер выходит из строя, ПО может быстро перейти на другой ПЛК благодаря унифицированному языку программирования.

В качестве примера рассмотрим разработанную нами часть программы управления ра-

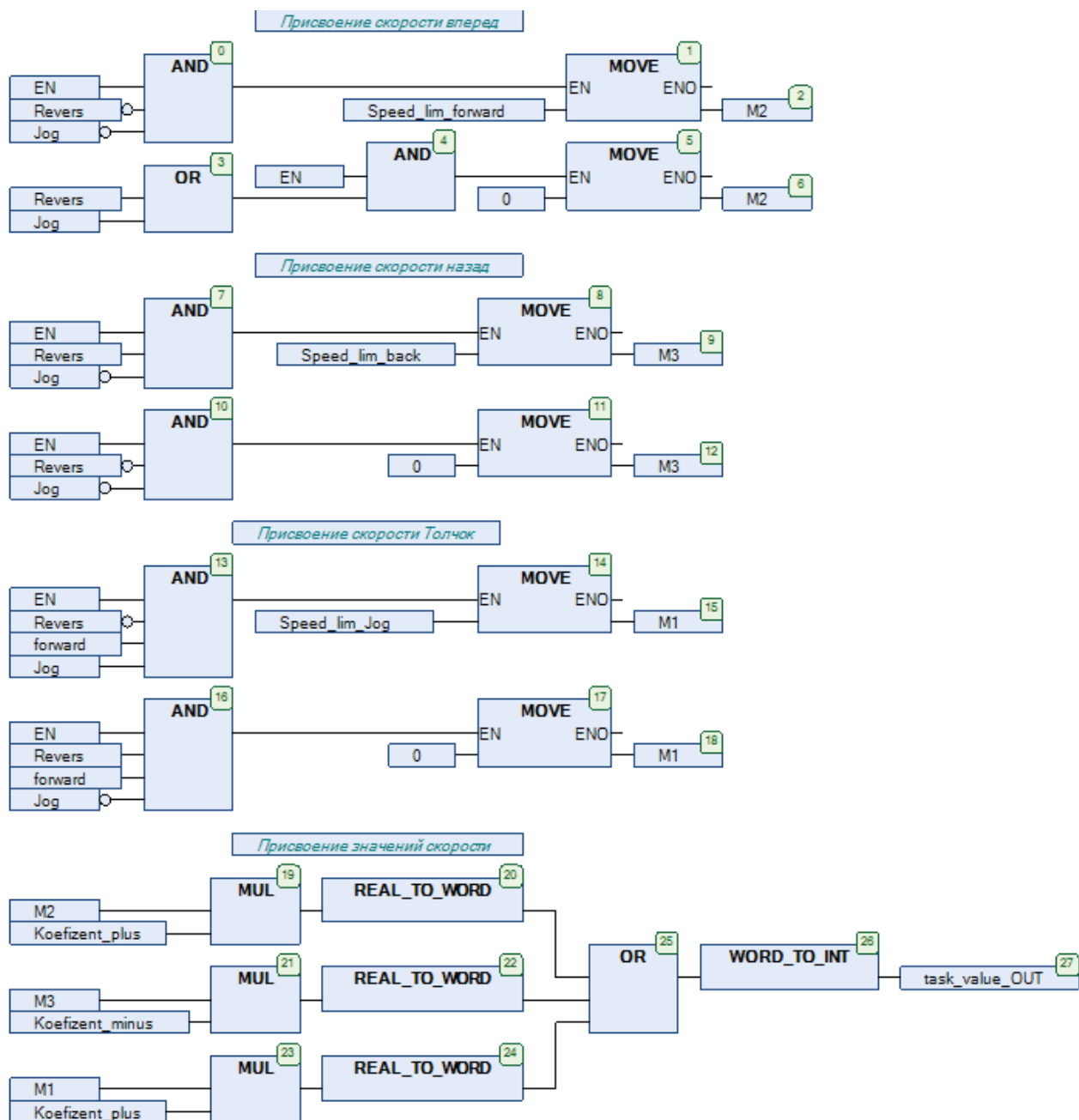


Рис. 2. Функциональный блок присвоение заданной скорости

боты частотным преобразователем «ABB ACS–880» для модернизированного стана ХПТ 90. На рисунке 2 изображен функциональный блок, написанный на языке непрерывной технологической схемы Continuous Flow Chart (CFC), который является еще одним высокоуровневым языком визуального программирования и логическим развитием языка FBD. Задача данного функционального блока состоит в присвоении заданной скорости в зависимости от команд трех переменных (вперед, назад, толчок), в преобразовании данных типа «Real» в тип «Integer» и передачи задания частотному преобразователю. Выполнение данных операций необходимо для реализации функции запуска и работы асинхронного электродвигателя клетки с заданной скоростью стана холодной прокатки труб «ХПТ 90».

На рисунке 3 изображен функциональный блок, написанный на языке программирования ST. Задачей данного функционального блока является формирование и присвоение слова управления и передача задания частотному преобразователю для совершения операций по пуску, остановке, сбросу ошибки и т. д. Кроме того, в нем описан алгоритм видов торможения двигателя (быстрый останов, выбегом, постоянным током) в определенных ситуациях.

Как можно заметить, ПО с широким функционалом и с наименьшим количеством задействованных строк занимает наименьшее количество места, нежели ПО с использованием языка визуального программирования, что ведет к снижению трудозатрат при его разработке.

Автоматизация отечественного производства в сочетании с широким выбором программируемых логических контроллеров, доступных в настоящее время, предполагает, что большинство других систем, используемых в промышленной автоматизации, будут постепенно выводиться из эксплуатации по мере их устаревания. По пути продвижения к новой эре автоматизации эти устаревшие технологии все чаще заменяются современными ПЛК. По мере того как промышленность переходит в современную эпоху, программируемые логические контроллеры будут продолжать демонстрировать свою полезность и долговечность.

Используя ПЛК, предприятия обеспечивают высокую работоспособность и эффективность оборудования, что помогает сократить время простоя и повысить производительность, а также выполнять работу более безопасно, максимально сократив возможные человеческие факторы. Таким образом, автоматизация находит активное применение в широком спектре приложений, которые до недавнего времени были исключительно сферой человеческого труда, что гарантирует дальнейший рост в этой области. Кроме того, важно понимать актуальность вопросов и проблем, связанных с программированием ПЛК, а также со знанием языков программирования высокого уровня, необходимых для увеличения эффективности и обеспечения корректности работы производственного оборудования предприятия и удовлетворения запросов промышленного сектора экономики страны.

```

1  (*приоритет выбора останова в случае одновременной палачи нескольких сигналов*)
2  IF NOT (INHIBIT_OPERATION) THEN      (*останов с замедлением*)
3      OFF3_CONTROL:=0;
4      OFF2_CONTROL:=0;
5      OFF1_CONTROL:=0;
6  ELSE                                  (*если нет останова с замедлением, то ...*)
7      IF OFF3_CONTROL THEN              (*останов постоянным током*)
8          OFF2_CONTROL:=0;
9          OFF1_CONTROL:=0;
10     ELSE                               (*если нет останова постоянным током, то ...*)
11         IF OFF2_CONTROL THEN           (*останов выбегом*)
12             OFF1_CONTROL:=0;
13         END_IF                          (*если нет останова выбегом, то смотри состояние быстрого останова*)
14     END_IF
15 END_IF
16 com_word.0:=NOT(OFF1_CONTROL);        (*нет быстрого останова*)
17 com_word.1:=NOT(OFF2_CONTROL);        (*нет останова выбегом*)
18 com_word.2:=NOT(OFF3_CONTROL);        (*нет торможения постоянным током*)
19 com_word.3:=INHIBIT_OPERATION AND EN; (*Пуск*)
20 com_word.4:=RAMP_OUT_ZERO;            (*Обычная работа. Переход к состоянию ГЕНЕРАТОР ФУНКЦИИ ПЛАВНОГО ИЗМЕНЕНИЯ: ВЫХОД РАЗРЕШЕН.*)
21 com_word.5:=RAMP_HOLD;                (*Разрешена функция ускорения/замедления. Переход к состоянию ГЕНЕРАТОР ФУНКЦИИ ПЛАВНОГО ИЗМЕНЕНИЯ: УСКОРЕНИЕ РАЗРЕШЕНО.*)
22 com_word.6:=RAMP_IN_ZERO;             (*Обычная работа. Переход к состоянию РАБОТА.*)
23 com_word.7:=RESET;                    (*Сброс*)
24 com_word.8:=JOGGING_1;                 (*Работа по заданию уставки для толчкового режима 1*)
25 com_word.9:=JOGGING_2;                 (*Работа по заданию уставки для толчкового режима 2*)
26 com_word.10:=REMOTE_CMD;              (*Управление по шине Fieldbus.*)
27 com_word.11:=EXT_CTRL_LOC;            (*Выбор канала внешнего управления ВНЕШНС*)

```

Рис. 3. Фрагмент кода функционального блока формирования и присвоения слова управления

## Список литературы

1. Банников Е. В. Использование ПЛК в промышленности // International scientific review. 2019. № LV. P. 25–28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-plk-v-promyshlennosti/viewer>.
2. Гусев И. П. Функциональное проектирование программируемого логического контроллера // Инновационная наука. 2015. № 7, ч. 1. С. 20–25.
3. Долгушин А. М. Модернизация промышленности – основа модернизации экономики России // Экономические исследования. 2017. № 1. С. 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-promyshlennosti-osnova-modernizatsii-ekonomiki-rossii/viewer>.
4. Жеребцова Н. И. Влияние технического состояния оборудования опасных объектов на экологическую безопасность // Сборник научных трудов VI Международной научной конференции «Общество XXI века: итоги, вызовы и перспективы». Ставрополь, 2015. С. 46–51.
5. Кочетков Е. К., Савин Н. Г., Суворов А. Г. Выбор микроконтроллера для технологических систем // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2019. Т. 1, № 11. С. 459–461.
6. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приёмы прикладного программирования / под ред. В. П. Дьяконова. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 256 с.
7. Сергеев С. Ф., Падерно П. И., Назаренко Н. А. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов. СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т информ. технологий, механики и оптики, 2011. 108 с.
8. Ямалдинова Э. И. Человеко-машинный интерфейс // Достижения науки и образования. 2020. № 11 (65). С. 10–12.
9. Морли Д. История ПЛК. URL: [www.barn.org/FILES/historyofplc.html](http://www.barn.org/FILES/historyofplc.html).
10. Orellana F., Torres R. From legacy-based factories to smart factories level 2 according to the industry 4.0 // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2019. Vol. 32, iss. 4–5. P. 441–451. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1609702>.