

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МЕХАТРОНИКА. Ч.1: ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ПОДДЕРЖКА И ПРАКТИКУМ**

**Ульянов Сергей Викторович<sup>1</sup>, Решетников Андрей Геннадьевич<sup>2</sup>,  
Белов Яков Петрович<sup>3</sup>, Казарян Паруйр Вагаршакович<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Доктор физико-математических наук, профессор;  
ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: ulyanovsv@mail.ru.

<sup>2</sup>Доктор информатики (PhD in Informatics), к.т.н., доцент;  
ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: agreshetnikov@gmail.com.

<sup>3</sup>Студент;  
ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: iakov\_bielov@mail.ru

<sup>4</sup>Студент;  
ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: par-kazaryan2009@ya.ru.

*В данной статье рассматривается относительно новое направления «Мехатроника» как подход для решения задач автоматизации технологических процессов. Обсуждается роль программируемых логических интеллектуальных контроллеров при проектировании мехатронных систем. Рассматривается способ, позволяющий повысить эффективность функционирования описанных модулей на стадии программирования логических контроллеров, сохраняя принцип не разрушения нижнего аппаратного уровня.*

**Ключевые слова:** мехатронные системы, мехатроника, мехатронные модули, программируемые логические контроллеры, ПЛК, мягкие вычисления, нечеткие системы.

## **INTELLIGENT MECHATRONICS PT.1: SOFTWARE AND HARDWARE TOOLKIT - LABORATORY PRACTICE**

**Ulyanov Sergey<sup>1</sup>, Reshetnikov Andrey<sup>2</sup>, Belov Yakov<sup>3</sup>, Kazaryan Paruir<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Science in Physics and Mathematics, professor;  
Dubna State University,  
Institute of the system analysis and management;  
Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 19 Universitetskaya st.;  
e-mail: ulyanovsv@mail.ru.

<sup>2</sup>PhD in informatics, associate professor;  
Dubna State University,  
Institute of the system analysis and management;  
Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 19 Universitetskaya st.;  
e-mail: agreshetnikov@gmail.com.

<sup>3</sup> Student;

Dubna State University,  
Institute of the system analysis and management;  
Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 19 Universitetskaya st.;  
e-mail: iakov\_bielov@mail.ru.

<sup>4</sup> Student;

Dubna State University,  
Institute of the system analysis and management;  
Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 19 Universitetskaya st.;  
e-mail: par-kazaryan2009@ya.ru.

*The present article deals with studying mechatronics as a new method for the automation of technological processes. Also, it is shows the role of programmable logic controllers in the design of mechatronic systems and possibility of increasing the efficiency of the functioning described modules at the programming of logic controllers.*

**Keywords:** mechatronic systems, mechatronics, mechatronic modules, programmable logic controllers, PLC, soft computing, fuzzy systems.

## **Введение**

Технологический прогресс в большинстве случаев обусловлен появлением совершенно новых устройств и систем, благодаря которым расширяется спектр решаемых задач, и упрощаются задачи автоматизации процессов. На производстве актуальна область, которая появилась относительно недавно, но уже зарекомендовала себя положительными качественными и количественными характеристиками. Новое направление представляет собой синергию знаний из области механики и электроники – «мехатроника».

Аналогичным образом шло развитие электромеханики как науки, использующей достижения электротехники и механики при создании приводных исполнительных систем широкого назначения. Интеграция электромеханики и микроэлектроники привела к появлению комплексных интегрированных модулей движения рабочих органов и узлов машин, а также создаваемого на их основе оборудования. Именно в этом направлении наиболее активно развивалась мехатроника.

Несмотря на относительно короткий срок существования данной области, в ней было выделено новое направление, которое получило название «электромехатроника». Это понятие, главным образом, отображает исследование и разработку интеллектуальных, самоорганизующихся систем интеллектуального управления мехатронным модулем за счет внедрения технологии интеллектуальных вычислений в контур управления. Под данными технологиями подразумевают мягкие вычисления, состоящие из трех инструментариев: нечеткие системы, нечеткая нейронная сеть и генетический алгоритм, которые позволяют значительно увеличить эффективность функционирования автоматических и автоматизированных систем управления. Стоит отметить отсутствие необходимости нарушения принципа не разрушения нижнего аппаратного уровня, что сохраняет повышенную отказоустойчивость и надежность системы автоматизации [1].

## **Основные понятия области мехатроники**

Мехатронные системы предназначены (см. рис. 1) для реализации заданного (в общем случае нелинейного) движения. По критериям качества выполнения движения они являются проблемно-ориентированными, т.е. определяются постановкой конкретной прикладной задачи.

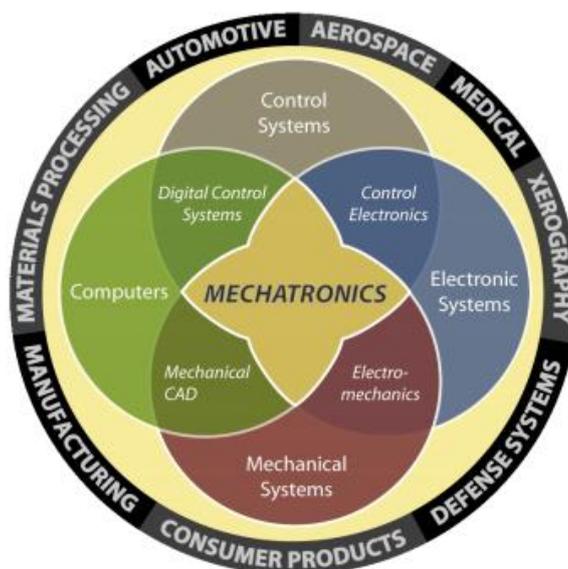


Рис. 1. Составляющие мехатроники

За счет своей универсальности этот подход применим в машинах и системах различного назначения. Следует отметить, что высокое качество управления мехатронной системой возможно обеспечить только с учетом специфики конкретного управляемого объекта. В связи с этим, изучение мехатроники целесообразно осуществлять по специальностям, предметом которых являются конкретные классы производственных машин и процессов.

В качестве основной методологии разработки мехатронных систем используют методы «параллельного» проектирования (*concurrent engineering methods*). Парадигма метода заключается не в последовательном, как при традиционном проектировании, а в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех компонент системы - механической, электронной, сенсорной и компьютерной частей системы, и выбором интерфейсных блоков.

Базовыми объектами изучения мехатроники являются мехатронные модули, которые, в большинстве случаев, выполняют движения по одной управляемой координате. Из таких модулей komponуются сложные системы модульной архитектуры.

В мехатронных системах современного типа, чтобы обеспечить высокую робастность системы при осуществлении сложных и точных движений ее элементов, применяют методы интеллектуального управления (*advanced intelligent control*). Данная группа методов опирается на новые идеи в теории управления, современные аппаратные и программные средства вычислительной техники, перспективные подходы к синтезу управляемых движений мехатронных систем. Следует отметить, что мехатроника, как новая область науки и техники, находится в стадии своего становления, ее терминология, границы и классификационные признаки еще строго не определены. Предполагается, что на нынешнем этапе первостепенное значение имеет выявление сущности новых принципов построения и тенденций развития машин с компьютерным управлением движением, а соответствующие семантические понятия и определения безусловно со временем устоятся.

Внешней средой для машин рассматриваемого класса является технологическая среда, которая содержит различное основное и вспомогательное оборудование, технологическую оснастку и объекты работ. Внешние среды укрупненно можно разделить на два основных класса: детерминированные и недетерминированные. Характеристики технологических сред как правило могут быть определены с помощью аналитико-экспериментальных исследований и методов компьютерного моделирования.

Однако для организации и проведения подобных исследований зачастую требуются слишком сложные и дорогостоящие измерительные технологии, и аппаратура. Так, для предварительной оценки силовых воздействий на рабочую систему при проведении роботизированной сортировки определенных предметов необходимо измерять точные форму и размеры каждой заготовки, определять исходное положение каждого элемента. В таких случаях целесообразно применять методы адаптивного

управления, которые позволяют автоматически корректировать закон движения МС непосредственно в ходе выполнения операции.

В состав традиционной машины входят следующие основные компоненты: механический аппарат, конечным звеном которого является рабочий орган; блок приводов, включающий силовые преобразователи и исполнительные двигатели; устройство компьютерного управления, верхним уровнем для которого является человек-оператор, либо другая ЭВМ, входящая в компьютерную сеть; сенсоры, предназначенные для передачи в устройство управления информации о фактическом состоянии блоков машины и движении МС. Таким образом, наличие трех обязательных частей – механической, электронной и компьютерной, связанных энергетическими и информационными потоками, является первичным признаком, отличающим мехатронные системы от других систем.

Электромеханическая часть включает механические блоки, активные исполнительные устройства, двигатели, датчики. Механические блоки служат для приведения в движение мобильных оконечных устройств. Электронная часть состоит из микроэлектронных устройств, силовых преобразователей и электроники измерительных цепей. Датчики необходимы для анализа внешней среды, объекта, над которым будет совершено действие и самой мехатронной системы. Полученная информация обрабатывается и передается в центр управления, представляющий собой ЭВМ и контроллеры управления (см. рис. 2).

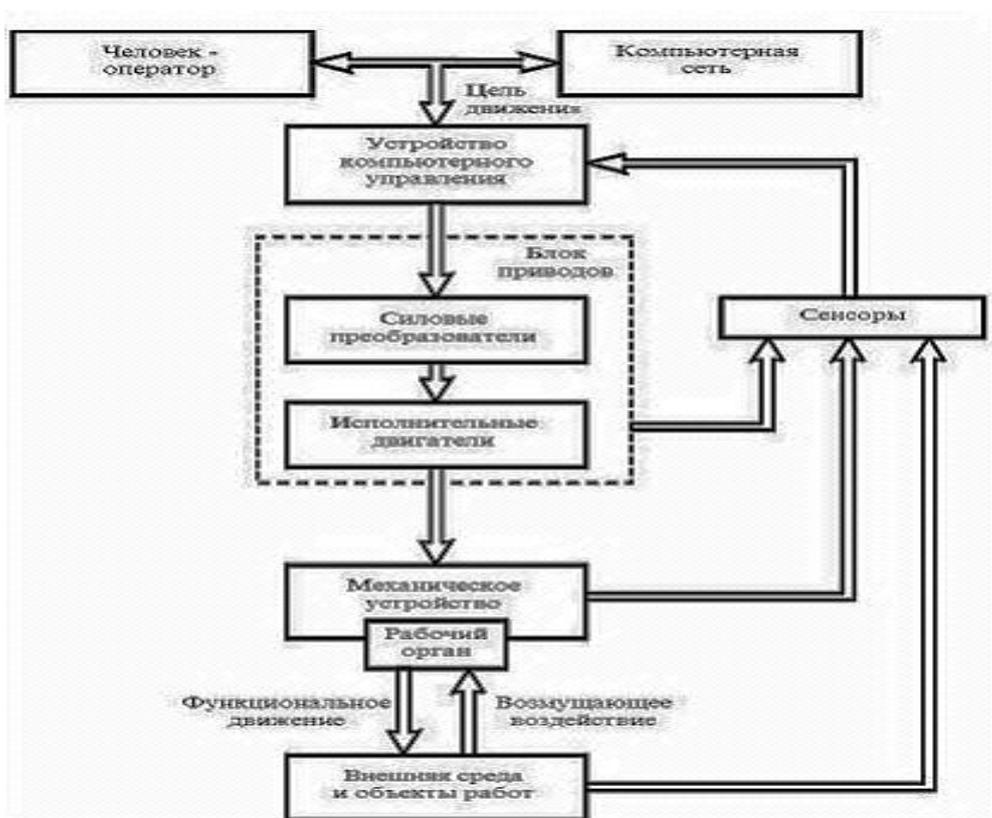


Рис. 2. Обобщенная схема машины с компьютерным управлением движением

*Пример: Мехатронный модуль М4: ориентация деталей.* Предназначен для использования на завершающей стадии обучения и подготовки специалистов в области создания и эксплуатации автоматизированных мехатронных систем. Представляет собой мехатронное устройство (см. рис. 3), смонтированное на металлическом основании и демонстрирующее процесс ориентации деталей. Может также использоваться как объект программирования контроллеров [2].

Состав мехатронного модуля ориентации деталей М4:

- алюминиевая плита-основание размером 500x360 мм;
- блок электропитания;
- блок подготовки сжатого воздуха;
- блок электроуправления с 3 кнопками;

- клеммная коробка;
- гравитационный накопитель для 10 полых деталей цилиндрической формы и магазин для укладки по порядку этих изделий в строгой ориентации;
- программируемый логический контроллер (ПЛК);
- пневмоэлементы;
- бесконтактные путевые выключатели.

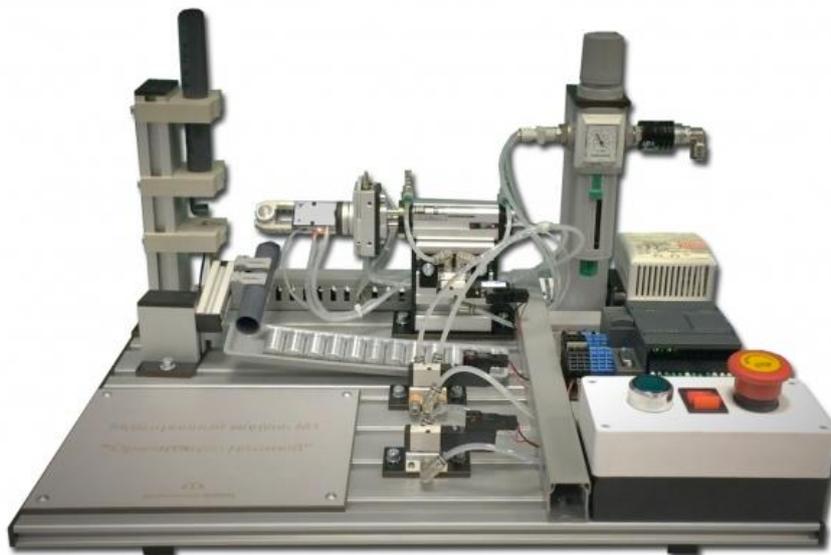


Рис. 3. Мехатронный модуль М4: ориентация деталей

## Программируемые логические контроллеры

Программируемые логические контроллеры (ПЛК\PLC) являются важнейшим элементом в автоматизации технологических процессов (см. рис. 4). Применение контроллеров значительно ускоряют проектирование автоматизации и дают возможность значительно увеличивать жизненный цикл базовых производств и технологий, основываясь на созданном международном стандарте IEC 61131. Еще одним положительным качеством в использовании данной технологии является возможность интегрирования различных технических и программных ресурсов в рассматриваемой технологической системе на основе принятого стандарта [3].

*SIMATIC S7-1200* – это новое семейство микроконтроллеров для решения самых разных задач автоматизации малого уровня:

- применение в областях, где использование контроллеров считалось экономически невыгодным;
- модульность конструкции;
- высокая производительность и широкая функциональность при относительно низкой стоимости;
- для решения задач автоматизации низкой и средней степени сложности;
- Для построения как локальных узлов автоматизации, так и распределенных систем управления;
- масштабируемость создаваемой системы;
- исключительно простая установка, программирование и обслуживание.



Рис. 4. ПЛК Siemens

## Программное обеспечение

Для данного ПЛК существует специальное программное обеспечение *STEP 7 Basic*. Оно предоставляет широкий инструментарий, позволяющий программировать контроллер *SIMATIC S7-1200* и базовую панель оператора *human machine interface (HMI)*. Позволяет выполнять:

- конфигурирование и настройку параметров аппаратуры;
- конфигурирование систем промышленной связи;
- программирование контроллеров на языках *LAD (Ladder Diagram)* и *FBD (Function Block Diagram)*;
- тестирование, выполнение пуско-наладочных работ и обслуживание готовой системы.

К основным достоинствам *STEP 7* также можно отнести:

- Использование имеющихся или создание библиотек для многократного использования компонентов проекта.
- Быстрый доступ к любым задачам автоматизации, включая интерактивную работу с системой автоматизации и ее диагностики.
- Простое графическое конфигурирование аппаратуры и сетевых структур в среде одного редактора.
- Наличие простого и интуитивно понятного интерфейса пользователя для обеспечения доступа к различным вариантам отображения информации и редакторам.
- Наличие высокоэффективного редактора для разработки программ контроллеров [4].

## Мягкие вычисления

На практике в задачах управления информация также поступает от человека-эксперта. Стремление максимально упростить обработку такой информации в контуре управления, привело к появлению нового инструментария – теории нечетких множеств, которое способно описывать сложные системы на качественном лингвистическом уровне. Нечеткие системы могут рассматриваться в качестве универсальных аппроксиматоров в решениях слабо формализованных задач и расширяют представление об объекте. Частным примером такой системы является нечеткий регулятор (НР) с базой знаний, описывающий закономерность изменений в управлении каким-либо объектом (рис. 5).

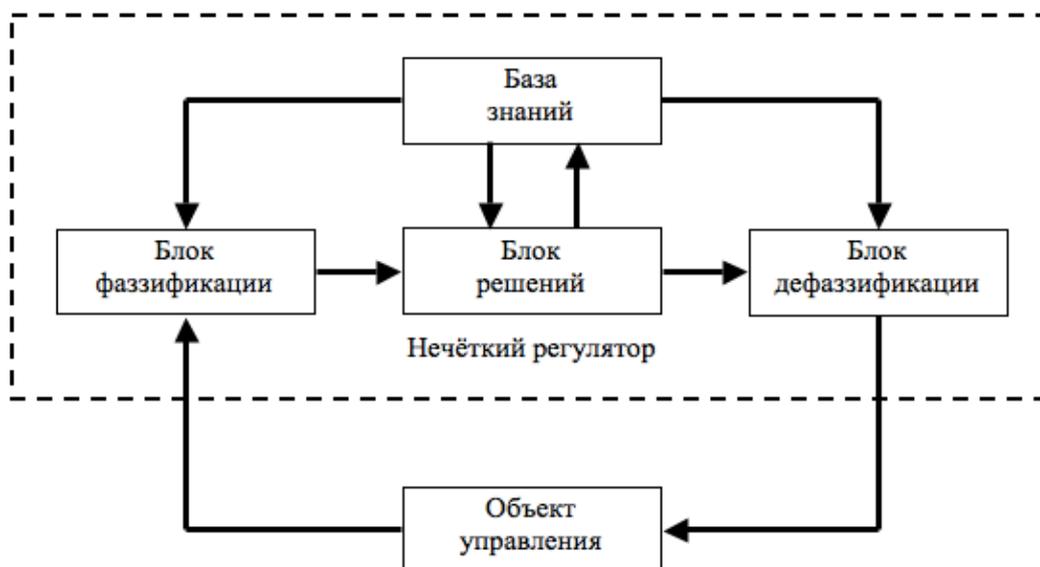


Рис. 5. Нечеткий регулятор

Нечеткие множества позволяют построить нечеткую логику, которая вводит понятие лингвистической переменной (ЛП). Это такие переменные, которые могут принимать значения фраз из естественного или искусственного языка. Введение ЛП позволяет избежать избытка информации и ввести качественное определение обработки данных, и дать корректную физическую интерпретацию реальному физическому объекту. Нечеткий логический вывод представляет собой различные типы моделей: Мамдани, Сугено, Заде, Цукамото и др. В таких моделях содержатся нечеткие правила, которые формируют лингвистические переменные [5].

НР является преобразователем качественных, лингвистических характеристик объекта в количественные и наоборот. Состоит из блока фаззификации, блока выбора моделей нечеткого логического вывода, блоков БД и БЗ и блока дефаззификации, который переводит ЛП в количественную информацию.

Основываясь только на технологии нечетких множеств нельзя обеспечить систему управления свойствами самообучения и адаптации. Задача решается путем применения технологии мягких вычислений, представляющей собой комбинацию из трех подходов:

- Нечеткие системы, используемые для задач нечеткого вывода и управления;
- Генетические алгоритмы – для задач глобальной оптимизации законов управления;
- Нечеткие нейронные сети – для физической реализации законов оптимального управления, а также для реализации обучения и адаптации БЗ.

Таким образом, технология мягких вычислений позволяет, не меняя структуры традиционного САУ, менять во времени параметры регулятора таким образом, чтобы решить задачи обучения, адаптации и глобальной оптимизации выбора параметров регулятора [6].

## MATLAB+SIMATIC S7-1200

Функциональные особенности ПЛК Сименс не позволяют внедрить технологии интеллектуальных вычислений непосредственно в сам контроллер из-за малого количества оперативной памяти и отсутствия необходимого инструментария в программном обеспечении.

Поэтому применение мягких вычислений (ТМВ) возможно в среде математического моделирования МАТЛАБ с последующей интеграцией с *Siemens Simatic STEP 7 Basic*.

Инструментарий *Fuzzy Toolkit MATLAB* (ANFIS, FIS и др.) обладает рядом недостатков, которые снижают ценность идеи использования ТМВ при разработке ИСУ:

- отсутствует методология выбора оптимальной структуры нечеткой нейронной сети;
- отсутствует возможность аппроксимации обучающего сигнала с наперед заданной ошибкой;

- выбор типа и вида функций принадлежности, а также параметров функции принадлежности не обоснован;
- спроектированные структуры ИСУ не обладают требуемым уровнем робастности в непредвиденных ситуациях управления;
- отсутствует методология формирования обучающего сигнала;
- отсутствует метод измерения и построения обучающего сигнала непосредственно с действующей физической модели объекта управления;
- отсутствует методология извлечения знаний и построения робастных баз знаний на основе обучающего сигнала.

Благодаря применению оптимизатора баз знаний (ОБЗ) с помощью нечетких регуляторов можно добиться более эффективного качества управления и робастности, несмотря на изменение (непредсказуемые) широкого класса факторов таких, как изменение внешних шумов, изменения параметров модели ОУ, изменение времени задержки в каналах измерения, изменения цели управления.

ОБЗ является новым эффективным программным инструментарием построения БЗ робастных ИСУ на основе мягких вычислений с использованием новых критериев оптимизации. Структура ОБЗ для проектирования робастных ИСУ приведена на рис. 6.

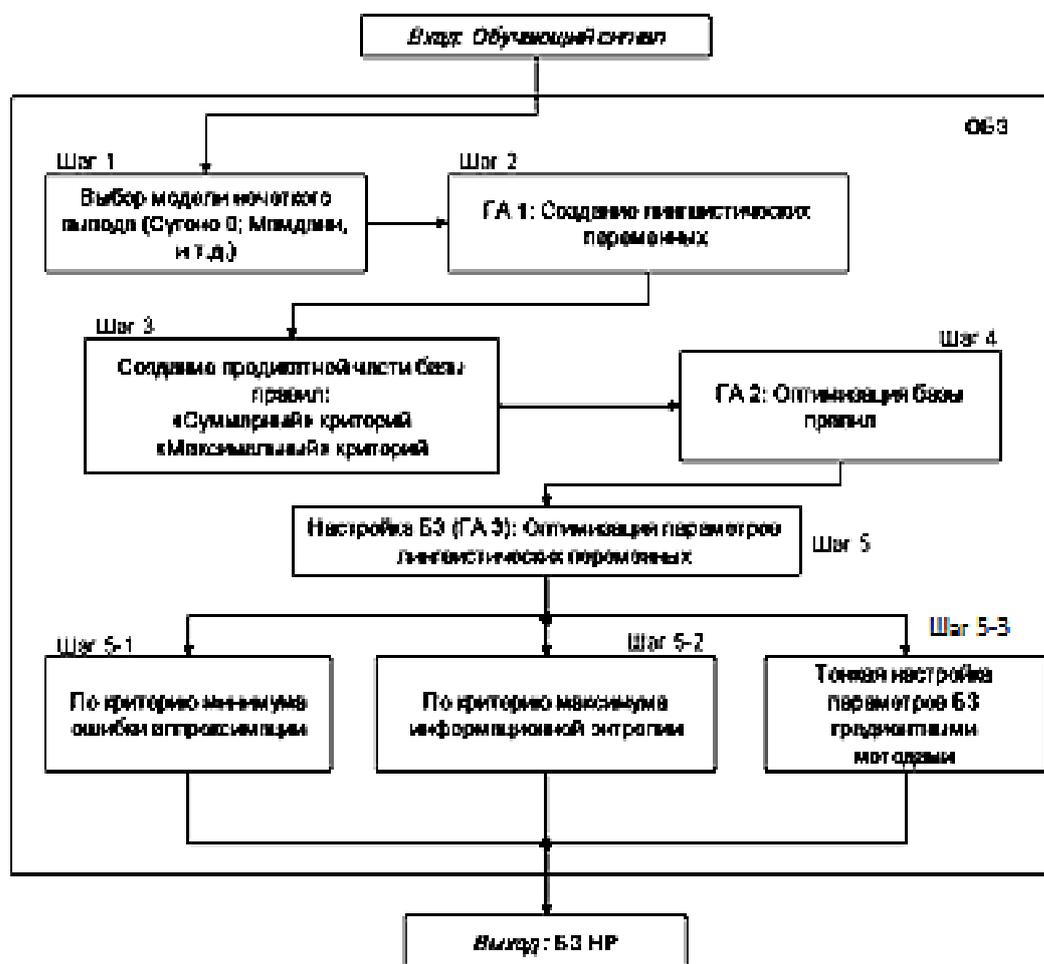


Рис. 6. Структура оптимизатора баз знаний (ОБЗ)

ОБЗ состоит из взаимосвязанных генетических алгоритмов, оптимизирующих отдельные компоненты БЗ. Входом ОБЗ является ОС, который может быть получен либо на этапе стохастического моделирования поведения ОУ либо экспериментально [5].

## **Заключение**

Разработана методика формирования интеллектуальных контроллеров для промышленной мехатроники на платформе технологий мягких вычислений в виде оптимизатора баз знаний. Показана возможность развития проектирования когнитивных регуляторов на основе разработанной программно-алгоритмической платформы моделирования логических контроллеров. В результате работы была сформирована детальная и пошаговая методология по сопряжению устройства контроллера с ПО компьютера, произведено сопряжение с последующей настройкой параметров для осуществления работы на лабораторном стенде с мехатронным модулем М4. Налажена связь между аппаратным и программным уровнями.

## **Список литературы**

1. Осипов Ю.М. К вопросу о развитии понятия «мехатроника» / Ю.М. Осипов – Доклады ТУСУРа, 2010. – [Электронный ресурс]. URL: old.tusur.ru, свободный (дата обращения – 1.04.2018).
2. Дидактические системы, официальный сайт компании. – 2011. – [Электронный ресурс]. URL: [http://disys.su/products/?cat\\_id=556&list\\_id=558&..](http://disys.su/products/?cat_id=556&list_id=558&..), свободный (дата обращения – 12.02.2018).
3. Центр промышленной автоматизации RuAut. – [Электронный ресурс]. URL: <https://ya.cc/3ХуGq> (дата обращения 31.05.2018).
4. Siemens, официальный сайт компании. – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.siemens.com/>, свободный (дата обращения – 12.02.2018).
5. Litvintseva L. V., Ulyanov S. V., Ulyanov S. S. Design of robust knowledge bases of fuzzy controllers for intelligent control of substantially nonlinear dynamic systems: II. A soft computing optimizer and robustness of intelligent control systems // J. of Computer and Systems Sciences Intern., 2006. – Vol. 45. – № 5. – Pp. 744-771.
6. Ulyanov S.V., Litvintseva L.V., Sorokin S.V. Quantum control algorithm of knowledge self-organization in robust intelligent control systems based on quantum fuzzy inference // Нечёткие Системы и Мягкие Вычисления, 2008. – Т. 3. – № 2. – С. 59-71.

## Приложение

Рассмотрим этапы подготовки и выполнения лабораторной работы.

Сопряжение устройств стенда с ПО на компьютере:

1. Настройка сетевого подключения. В первую очередь необходимо настроить сетевое подключение. Во вкладке «Центр управления сетями и общим доступом» производим настройку подключения по протоколу *TCP/IPv4* (рис. 7).

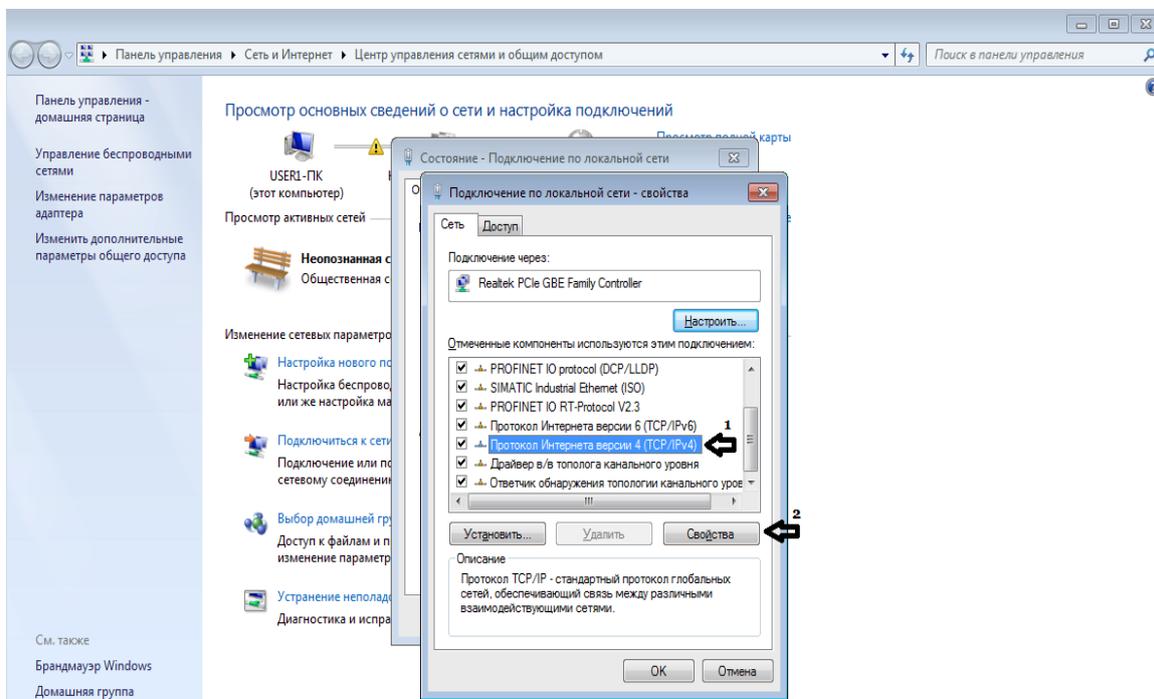


Рис. 7. Настройка сетевого подключения

2. Указание адреса компьютера. Исходя из стандартов задаем следующий *IP*-адрес и маску подсети:

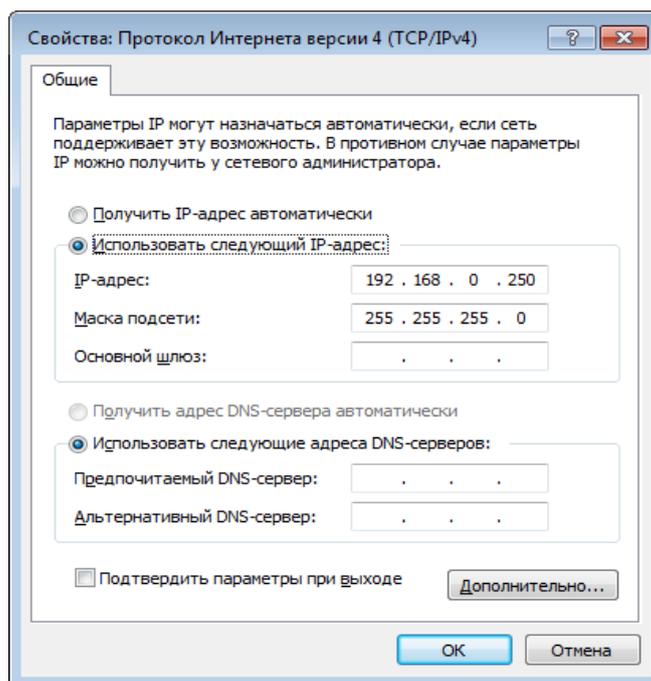


Рис. 8. Указание IP-адреса

Далее необходимо сохранить полученные настройки и выйти из вкладки.

3. Программное обеспечение *TIA Portal V13*. Для работы, написания программы и загрузки ее в контроллер нужно установить специализированный софт от *Siemens*.

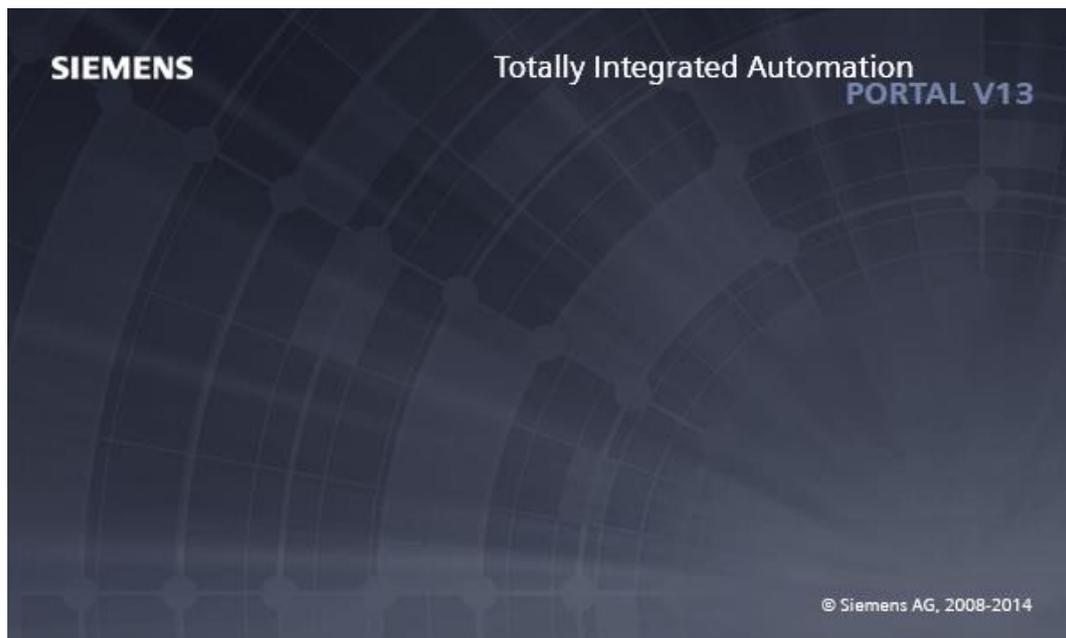


Рис. 9. TIA Portal V13

4. Окно проекта.

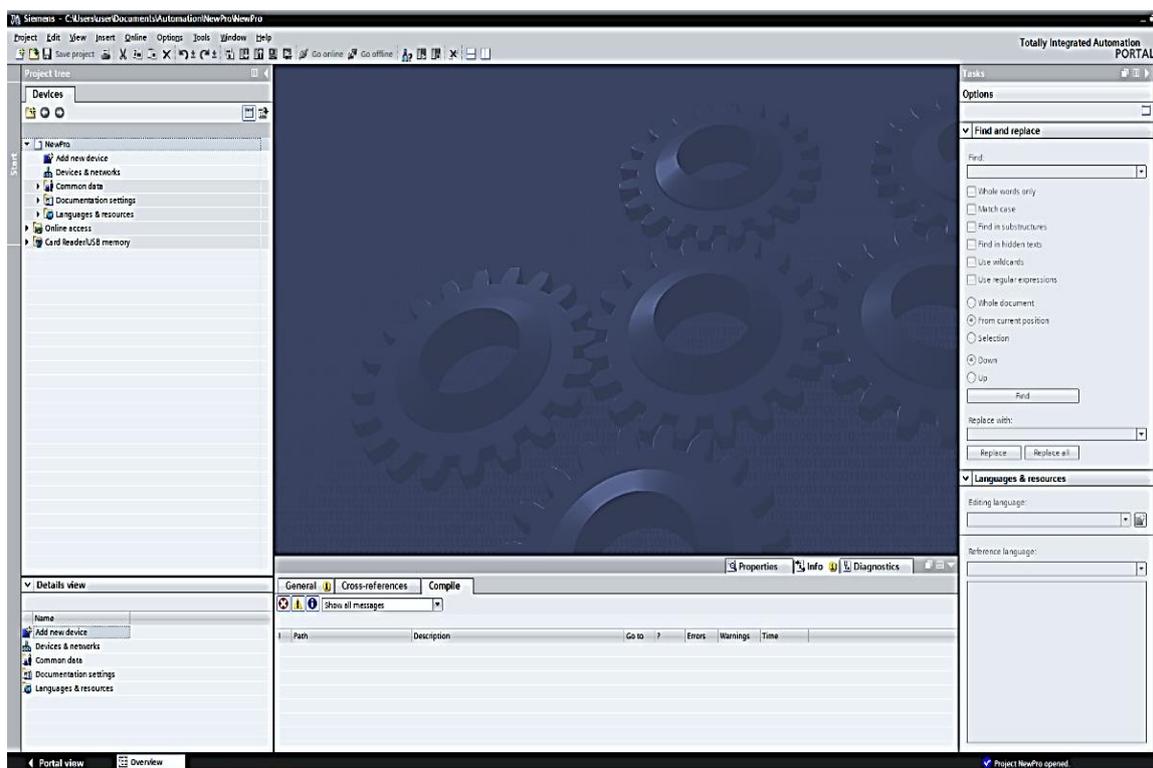


Рис. 10. Окно проекта

5. Подключение удаленного устройства. На данном этапе устройство не имеет *IP*-адреса его необходимо прописать. Выбираем сетевую карту и обновляем доступные устройства.

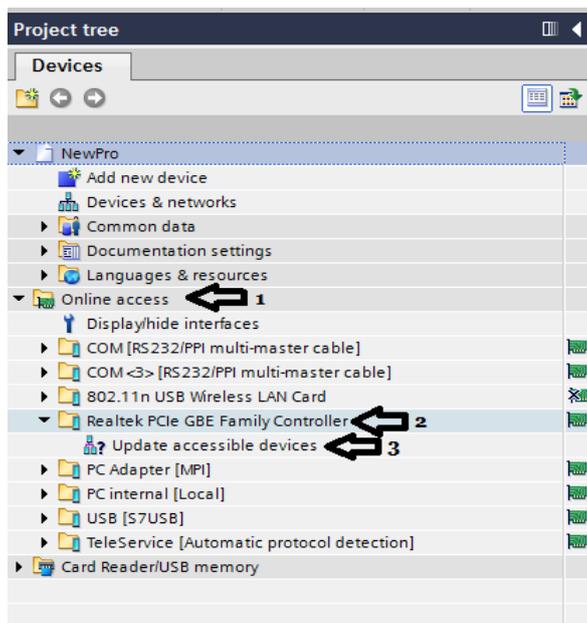


Рис. 11. Подключение удаленного устройства

6. Появившееся устройство. Онлайн диагностика.

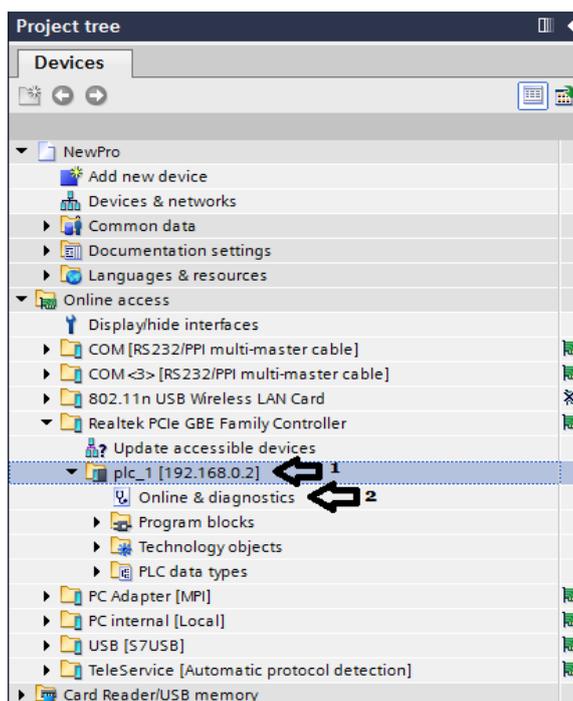


Рис. 12. Найденное устройство

7. Присвоение адреса устройству. Необходимо ввести IP-адрес устройства одной сети с компьютером и маску подсети и присвоить. Так же можно просмотреть информацию об этом устройстве.

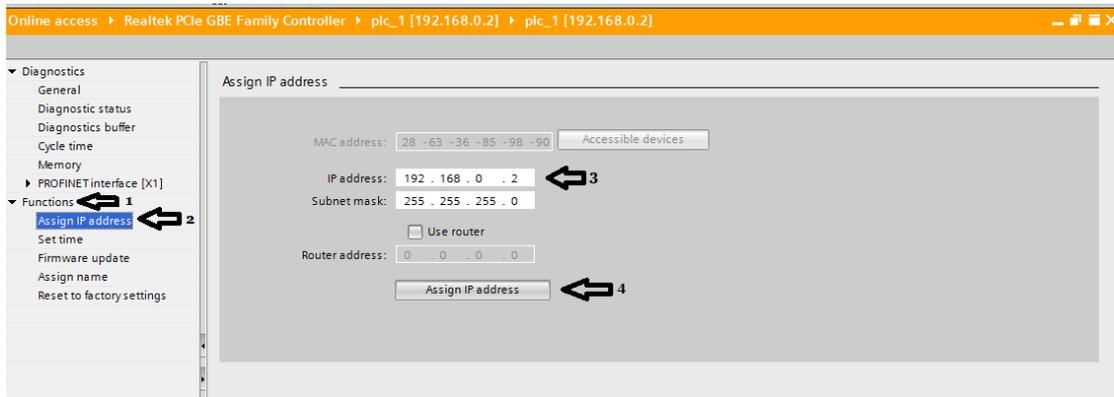


Рис. 13. Присвоение адреса устройству

8. Присвоение имени устройству. Проверка устройства на подключение к сети. Функция «LED flashed» (помогать светодиодами) помогает понять, подключено ли необходимое устройство к общей сети или нет. В случае удачной настройки соединения, светодиоды должны начать мигать на контроллере.

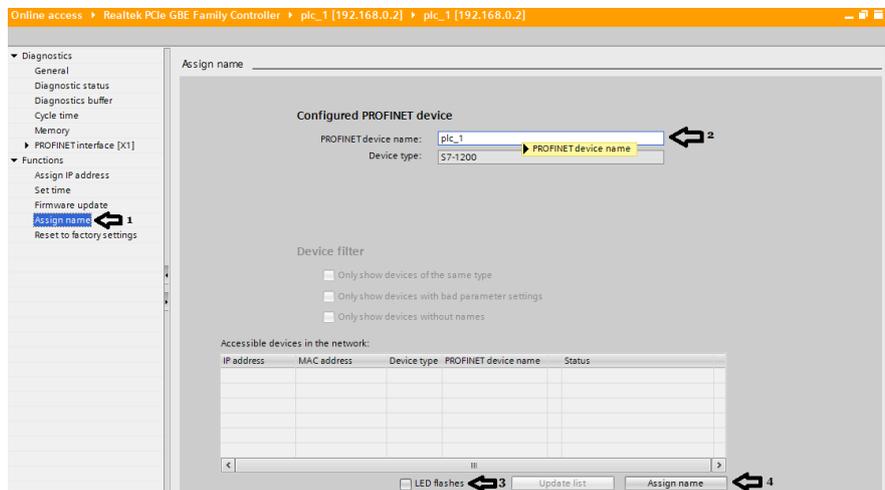


Рис. 14. Присвоение имени устройству, проверка

9. Добавление устройства в проект. Выбираем тип ЦПУ, версию прошивки.

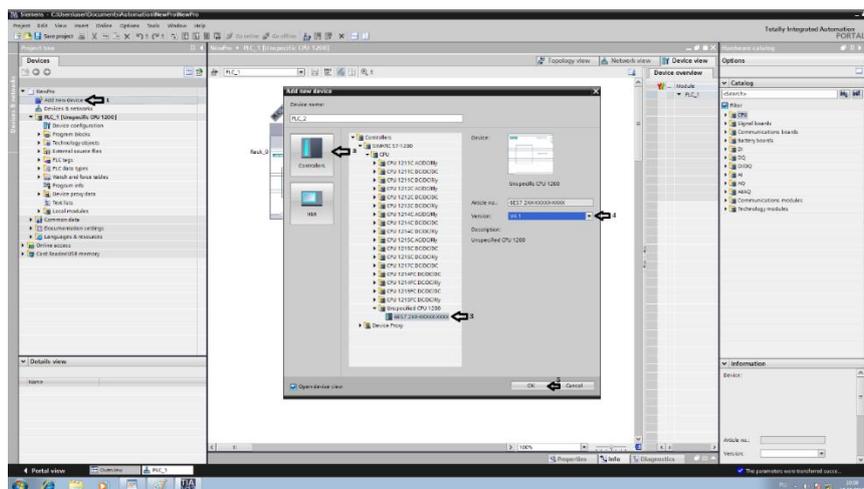


Рис. 15. Добавление устройства в проект

10. Добавленное устройство не опознано. Обнаружение устройства

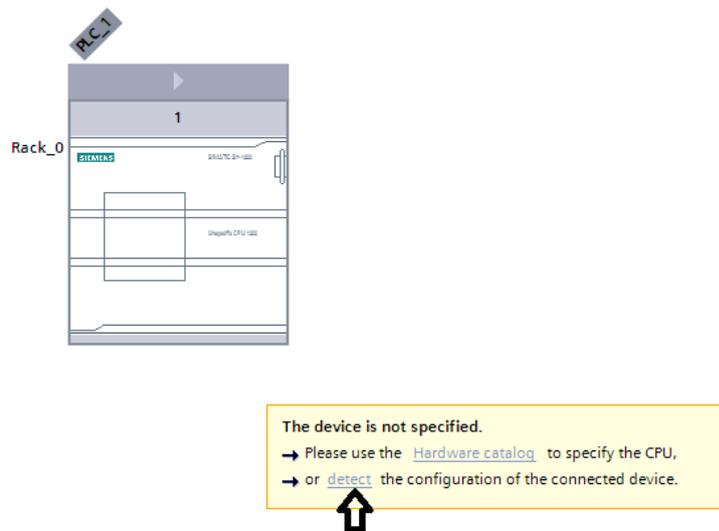


Рис. 16. Устройство не опознано

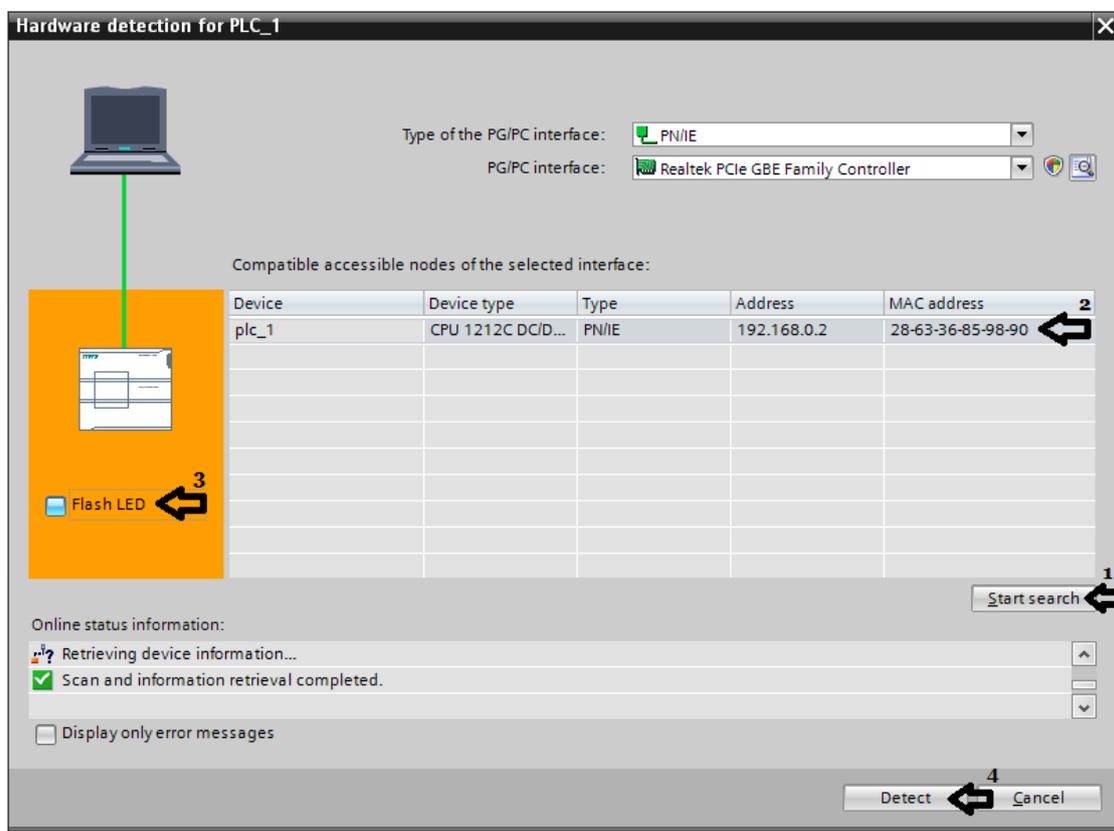


Рис. 17. Распознавание устройства

- Обнаруженное устройство добавлено в проект. Внешний вид устройства с подключенными входами и выходами.

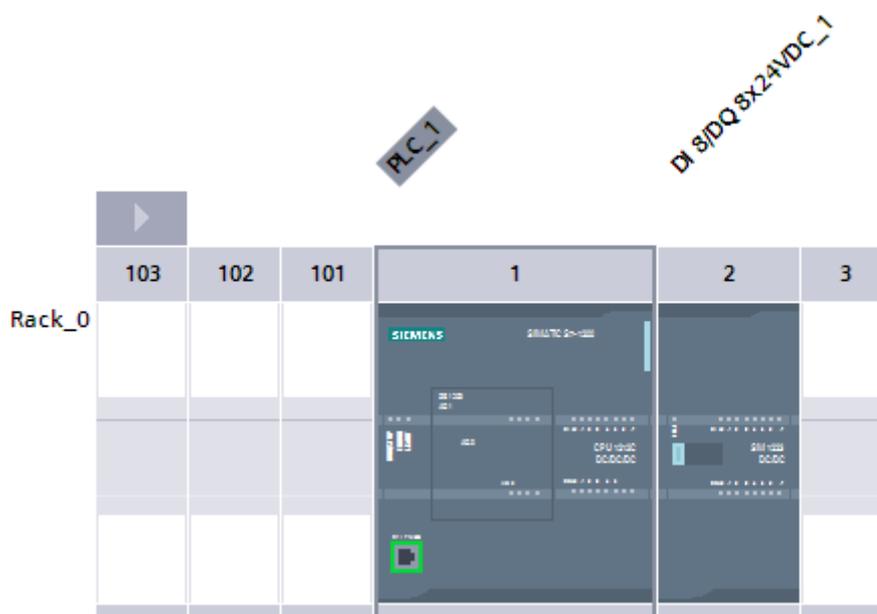


Рис. 18. Внешний вид устройства

12. Подключение к устройству. Удаленное подключение к устройству выбрав тип соединения.

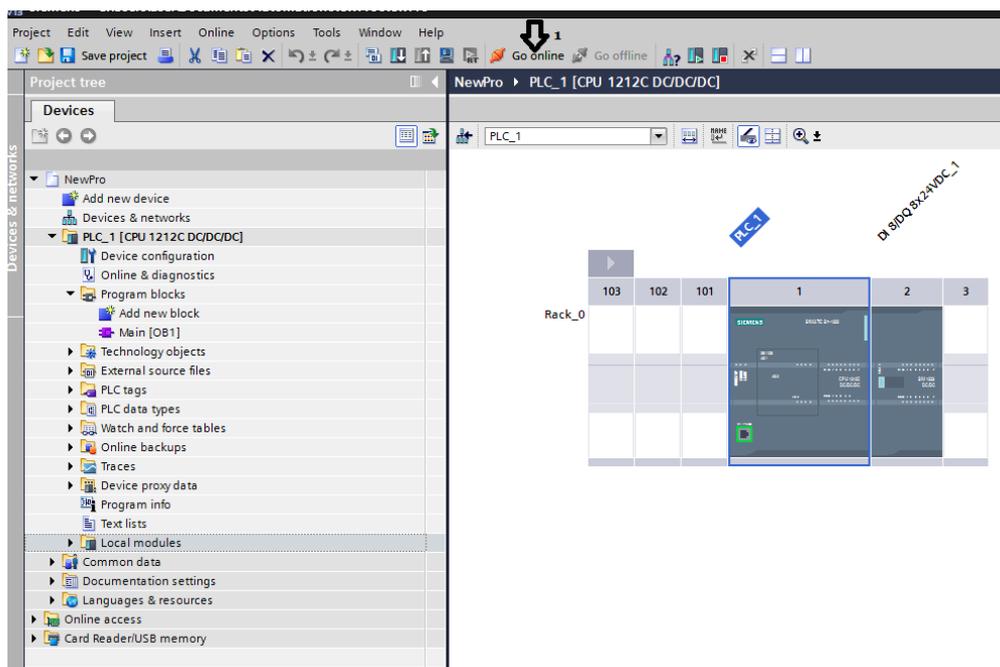


Рис. 19. Запуск онлайн режима

13. Добавление новых блоков в проект. Для каждой подзадачи создаются собственные блоки.

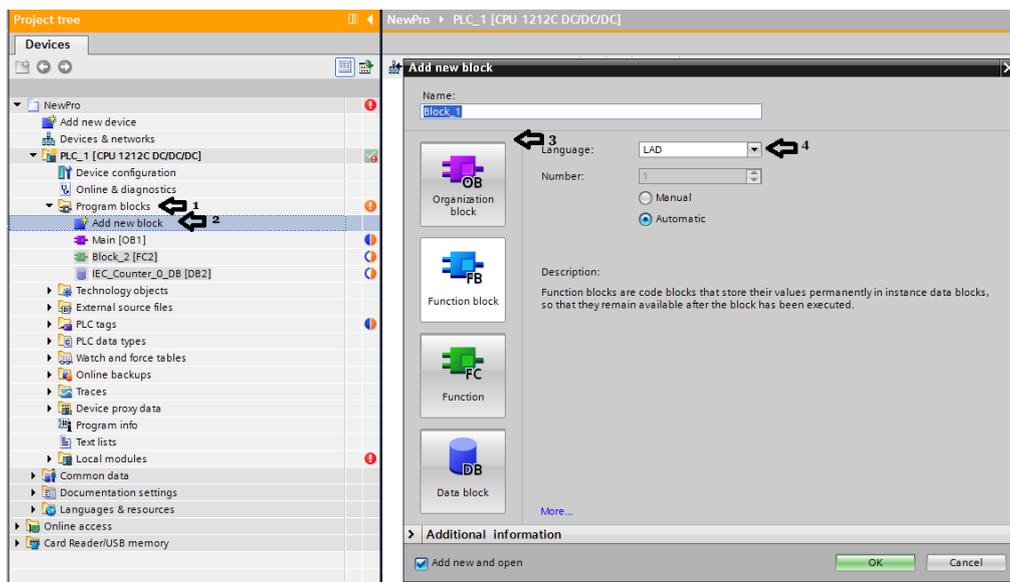


Рис. 20. Добавление блоков

Таким образом, в проект для дальнейшей работы добавлен контроллер *Siemens*.