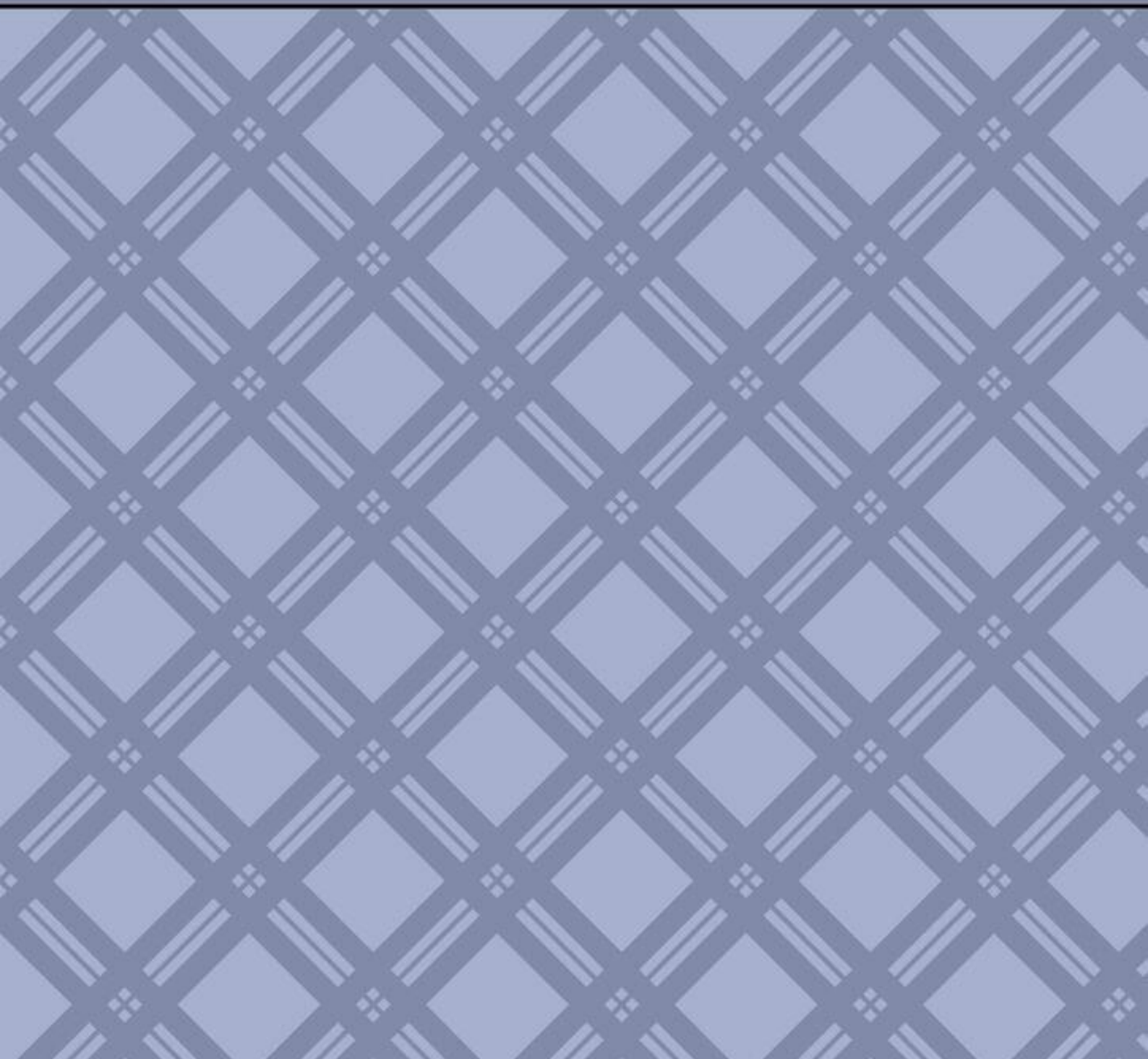


12+ Ильдарович Садыков

АСУТП с нуля



Ленар Садыков

АСУТП с нуля

«Издательские решения»

Садыков Л. И.

АСУТП с нуля / Л. И. Садыков — «Издательские решения»,

Книга «АСУТП с нуля» — это практическое руководство для тех, кто хочет разобраться в автоматизированных системах управления технологическими процессами, не имея специального технического образования или опыта работы в промышленной автоматизации.

Содержание

АСУТП С НУЛЯ	6
ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ АСУТП	7
Глава 1. Что такое АСУТП	7
Глава 2. Термины и сокращения	8
Глава 3. Структура типовой системы АСУТП	9
Глава 4. Датчики и исполнительные механизмы	10
Глава 5. Архитектура ПЛК и цикл сканирования	11
Глава 6. Стандарт МЭК 61131—3: языки программирования	12
ЧАСТЬ II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСУТП	13
Глава 7. Техническое задание на АСУТП	13
Конец ознакомительного фрагмента.	14

АСУТП с нуля

Ленар Ильдарович Садыков

© Ленар Ильдарович Садыков, 2026

ISBN 978-5-0071-3689-1

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

АСУТП С НУЛЯ

Практическое руководство инженера

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ АСУТП 1. Что такое АСУТП: определение, место в пирамиде автоматизации 2. Термины и сокращения: ПЛК, SCADA, HMI, КИПиА, MES 3. Структура типовой системы: полевой уровень, уровень контроллеров, диспетчеризация 4. Датчики и исполнительные механизмы: типы, принципы, стандартные сигналы 5. Архитектура ПЛК и цикл сканирования 6. Стандарт МЭК 61131—3: языки программирования (LD, FBD, ST, SFC, IL)

ЧАСТЬ II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСУТП 7. Техническое задание на АСУТП 8. Функциональная схема автоматизации (ФСА) по ГОСТ 21.408 9. Опросные листы и выбор оборудования КИПиА 10. Расчёт и выбор датчиков (давление, температура, расход, уровень) 11. Исполнительные механизмы: клапаны, приводы, частотные преобразователи 12. Схемы электрические принципиальные 13. Кабельные журналы и разводка сигналов

ЧАСТЬ III. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПЛК: ПРАКТИКА 14. Siemens TIA Portal: установка и создание проекта 15. Siemens: практика на LAD и SCL (пуск/стоп насоса, ПИД-регулятор) 16. Schneider Electric: EcoStruxure/Unity Pro — основы 17. Schneider: практические примеры 18. Allen-Bradley Studio 5000: основы и практика 19. Отечественные ПЛК (ОВЕН, Segnetics) и среда CoDeSys 20. Паттерны программирования: автоматы состояний, интерлоки, блокировки

ЧАСТЬ IV. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СЕТИ И ПРОТОКОЛЫ 21. Modbus RTU/TCP: структура и настройка 22. Profibus/Profinet: основы 23. OPC UA: сервер и клиент 24. Промышленный Ethernet: топологии, резервирование

ЧАСТЬ V. SCADA И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ 25. Основы SCADA: назначение и архитектура 26. Обзор SCADA-платформ (WinCC, Ignition, MasterSCADA) 27. Разработка мнемосхем: принципы UX для оператора 28. Тревоги, события, архивирование трендов

ЧАСТЬ VI. НАДЁЖНОСТЬ И ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ 29. Функциональная безопасность: SIL и ПАЗ 30. Пусконаладочные работы: методика и чек-листы 31. Диагностика неисправностей АСУТП 32. Проектная документация: состав и оформление

Заключение. Карьерный путь инженера АСУТП

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ АСУТП

Глава 1. Что такое АСУТП

АСУТП — автоматизированная система управления технологическим процессом. Ключевое слово здесь — «автоматизированная», а не «автоматическая»: в отличие от полностью автоматических систем, АСУТП предполагает участие человека-оператора, который наблюдает за процессом через средства визуализации и при необходимости вмешивается в управление.

Чтобы понять место АСУТП в общей структуре предприятия, удобно представить так называемую пирамиду автоматизации — иерархическую модель, которая по уровням описывает, какие задачи решаются на предприятии и какими системами:

Уровень 0 — полевой уровень. Датчики (измеряют физические параметры: давление, температуру, расход, уровень) и исполнительные механизмы (клапаны, насосы, приводы) — то, что физически взаимодействует с технологическим процессом.

Уровень 1 — уровень контроллеров. ПЛК (программируемые логические контроллеры) — устройства, которые собирают сигналы с датчиков, выполняют заложенный алгоритм управления и выдают команды на исполнительные механизмы. Это «мозг» непосредственного управления процессом.

Уровень 2 — уровень диспетчеризации (SCADA/HMI). Программное обеспечение, которое визуализирует состояние процесса для оператора, позволяет ему видеть тренды, тревоги, менять уставки, но не выполняет напрямую алгоритмы регулирования — это задача ПЛК.

Уровень 3 — MES (Manufacturing Execution System). Системы управления производством: планирование выпуска, учёт партий, контроль качества на уровне цеха или завода.

Уровень 4 — ERP. Системы управления предприятием в целом: финансы, закупки, склады, персонал.

Инженер АСУТП чаще всего работает на стыке уровней 0—2 — это его основная зона ответственности: спроектировать, смонтировать, запрограммировать и наладить систему, которая надёжно управляет технологическим процессом и даёт оператору полную картину происходящего.

Пример из жизни. Представьте резервуар с водой, в который нужно поддерживать определённый уровень. Датчик уровня (полевой уровень) измеряет текущее значение и передаёт сигнал в ПЛК. ПЛК (уровень контроллеров) сравнивает текущее значение с заданным (уставкой) и, если уровень ниже нормы, подаёт команду на открытие клапана подачи воды. Оператор через SCADA (уровень диспетчеризации) видит график изменения уровня, текущее состояние клапана и может, если нужно, вручную изменить уставку или перевести систему в ручной режим.

Это простейший пример, но именно из таких «кирпичиков» строятся сложные промышленные системы — на химических заводах, электростанциях, нефтепроводах, пищевых производствах.

Глава 2. Термины и сокращения

Прежде чем двигаться дальше, разберём базовый словарь, без которого невозможно читать техническую документацию и общаться с коллегами.

ПЛК (PLC) — программируемый логический контроллер. Промышленный компьютер, спроектированный для работы в жёстких условиях (вибрация, температура, электромагнитные помехи) и выполнения циклических алгоритмов управления в реальном времени.

КИПиА — контрольно-измерительные приборы и автоматика. Собирательное название для датчиков, преобразователей сигналов и другого полевого оборудования, а также специальности инженера, который с ним работает.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) — система диспетчерского управления и сбора данных. Программный комплекс для визуализации процесса, архивирования данных и удалённого управления через интерфейс оператора.

HMI (Human-Machine Interface) — человеко-машинный интерфейс. Часто используется как синоним небольшой локальной панели оператора (в отличие от полноценной SCADA на уровне цеха или предприятия), хотя строго говоря SCADA — это тоже разновидность HMI.

MES (Manufacturing Execution System) — система управления производственными процессами на уровне цеха: учёт выработки, контроль качества, диспетчеризация заданий.

Уставка (setpoint, SP) — заданное значение параметра, к которому система должна привести процесс (например, заданная температура в реакторе).

ПИД-регулятор — пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор, наиболее распространённый алгоритм автоматического регулирования, поддерживающий параметр процесса на заданном уровне за счёт непрерывной коррекции управляющего воздействия.

Аналоговый сигнал — непрерывный сигнал, пропорциональный измеряемой величине (например, ток 4—20 мА, напряжение 0—10 В).

Дискретный сигнал — сигнал с двумя состояниями: включено/выключено, 0/1, есть напряжение/нет напряжения.

ПАЗ — противоаварийная автоматическая защита. Отдельная, часто физически независимая от основной АСУТП система, которая переводит процесс в безопасное состояние при возникновении аварийной ситуации.

Тег (tag) — именованная переменная в системе SCADA/ПЛК, связанная с конкретным физическим сигналом или расчётным параметром.

Эти термины будут встречаться на протяжении всей книги — рекомендуется вернуться к этому списку, если какое-то понятие покажется неясным в дальнейших главах.

Глава 3. Структура типовой системы АСУТП

Разберём структуру АСУТП подробнее, на примере условной технологической установки — скажем, узла подготовки воды на промышленном предприятии.

Полевой уровень включает: — Датчики уровня в резервуарах (например, ультразвуковые или гидростатические) — Датчики давления на насосах и трубопроводах — Датчики расхода на входных и выходных линиях — Датчики температуры, если процесс это предполагает — Клапаны с электро- или пневмоприводом — Насосы с частотными преобразователями для регулирования производительности

Все эти устройства соединяются кабелями с шкафом автоматики, где расположен ПЛК.

Уровень контроллера. В шкафу автоматики размещаются: — Сам ПЛК (процессорный модуль) — Модули дискретных входов (для сигналов от концевых выключателей, кнопок, датчиков положения) — Модули дискретных выходов (для управления пускателями насосов, электромагнитными клапанами) — Модули аналоговых входов (для сигналов 4—20 мА от датчиков давления, уровня, расхода) — Модули аналоговых выходов (для управления, например, положением регулирующего клапана) — Источник питания, клеммные соединения, устройства защиты

ПЛК выполняет заложенную программу циклически: считывает состояние входов, выполняет логику согласно алгоритму, обновляет состояние выходов, и так — десятки или сотни раз в секунду, в зависимости от требуемого быстродействия процесса.

Уровень диспетчеризации. ПЛК обменивается данными с сервером SCADA (или напрямую с панелью оператора НМІ) по одному из промышленных протоколов — Modbus, Profinet, OPC UA и другим (подробно разберём в части IV). На экране SCADA оператор видит мнемосхему установки — графическое представление технологической схемы с текущими значениями параметров, состоянием оборудования, активными тревогами.

Важно понимать: даже если связь с SCADA пропадёт, ПЛК продолжит выполнять свою программу автоматически — визуализация не является критичным элементом для работы самого процесса, в отличие от уровня контроллеров, отказ которого немедленно останавливает или переводит в аварийное состояние всю установку.

Глава 4. Датчики и исполнительные механизмы

Датчики давления. Наиболее распространённый тип полевых приборов. Работают на основе тензометрического, ёмкостного или пьезорезистивного эффекта — деформация чувствительного элемента под воздействием давления преобразуется в электрический сигнал. Стандартный выходной сигнал — токовая петля 4—20 мА, где 4 мА соответствует нижней границе диапазона измерения, а 20 мА — верхней.

Датчики температуры. Наиболее распространены термопары (генерируют ЭДС, пропорциональную разнице температур спая и холодного конца) и термосопротивления (сопротивление меняется с температурой, тип Pt100 — платиновый датчик сопротивлением 100 Ом при 0° С — самый распространённый в промышленности).

Датчики уровня. Разнообразны по принципу действия: гидростатические (измеряют давление столба жидкости), ультразвуковые (измеряют время прохождения звукового импульса до поверхности и обратно), радарные (аналогично, но с помощью электромагнитных волн — подходят для агрессивных сред и высоких температур), поплавковые (простейший вариант, обычно дискретный сигнал — есть уровень/нет уровня).

Датчики расхода. Электромагнитные (для электропроводных жидкостей — измеряют ЭДС, наводимую движением жидкости в магнитном поле), вихревые (регистрируют частоту образования вихрей за препятствием в потоке), ультразвуковые, массовые кориолисовые (наиболее точные, измеряют непосредственно массовый расход, а не объёмный).

Исполнительные механизмы. Регулирующие клапаны с электро- или пневмоприводом изменяют степень открытия для регулирования расхода. Запорная арматура (шаровые краны, задвижки) работает в двух положениях — открыто/закрыто. Частотные преобразователи управляют скоростью вращения электродвигателей насосов и вентиляторов, позволяя плавно регулировать производительность вместо дискретного включения/выключения.

Стандартные сигналы, которые нужно запомнить накрепко: — **4—20 мА** — токовая петля, стандарт для аналоговых сигналов в промышленности. Преимущество перед сигналом по напряжению — устойчивость к падению напряжения на длинных линиях и возможность диагностики обрыва линии (0 мА явно говорит об обрыве, в отличие от сигнала по напряжению, где 0В может быть и нормальным нижним значением диапазона). — **0—10 В** — используется реже, обычно на коротких расстояниях или для внутришкафных соединений. — **Дискретный сигнал 24В DC** — стандартное напряжение логики в большинстве современных промышленных систем.

Глава 5. Архитектура ПЛК и цикл сканирования

Сердце любой АСУТП — программируемый логический контроллер. Чтобы эффективно его программировать, нужно понимать, как именно он работает изнутри.

Физическая архитектура ПЛК обычно включает: — **Центральный процессор (CPU)** — выполняет программу пользователя, управляет остальными модулями — **Модуль питания** — преобразует сетевое напряжение в напряжение питания электроники (обычно 24V DC для полевых цепей) — **Модули ввода-вывода** — дискретные и аналоговые, входные и выходные, о которых уже говорилось выше — **Коммуникационные модули** — для связи по промышленным сетям (Ethernet, Profibus и другие)

Цикл сканирования (scan cycle) — фундаментальное понятие для понимания работы ПЛК. В отличие от обычного компьютера, который выполняет разные программы параллельно под управлением операционной системы, ПЛК циклически повторяет одну и ту же последовательность действий:

- **Опрос входов.** ПЛК считывает физическое состояние всех входных модулей и записывает значения во внутреннюю область памяти (образ входов).

- **Выполнение программы.** ПЛК исполняет программу пользователя от начала до конца, используя значения из образа входов и вычисляя новые значения для выходов. Важно: во время этого шага изменения физических входов не учитываются — программа работает с «снимком» состояния, зафиксированным на шаге 1.

- **Обновление выходов.** Вычисленные значения записываются из внутренней памяти (образа выходов) в физические выходные модули.

- Цикл повторяется.

Время одного цикла называется временем сканирования и обычно составляет от долей миллисекунды до нескольких десятков миллисекунд, в зависимости от сложности программы и производительности процессора. Для большинства промышленных процессов (за исключением быстрых, таких как управление приводами с обратной связью по положению) этого более чем достаточно — реальные физические процессы (нагрев, изменение уровня, давления) меняются значительно медленнее, чем цикл сканирования современного ПЛК.

Важное следствие для программиста: поскольку программа выполняется с использованием «снимка» входов, зафиксированного в начале цикла, нельзя рассчитывать, что изменение физического входа мгновенно повлияет на логику в той же итерации — оно будет учтено только на следующем цикле сканирования. Для подавляющего большинства задач это не имеет значения из-за малого времени цикла, но для отладки быстрых процессов это знание может быть критичным.

Глава 6. Стандарт МЭК 61131

—3: языки программирования

Международный стандарт МЭК 61131—3 (в русскоязычной литературе также ГОСТ Р МЭК 61131—3) определяет пять языков программирования ПЛК, признанных всей индустрией. Понимание всех пяти важно, потому что разные производители и разные задачи предполагают разные подходы.

LD (Ladder Diagram, релейно-контактная логика). Самый распространённый язык, исторически произошедший от схем релейной автоматики. Программа выглядит как лестница («ladder») из горизонтальных цепей, где слева располагаются условия (контакты), а справа — результат (катушки реле). Интуитивно понятен инженерам-электрикам, привычным к традиционным релейным схемам. Пример логики: «если кнопка пуска нажата И кнопка стоп не нажата И нет аварии — включить пускатель насоса».

FBD (Function Block Diagram, функциональные блочные диаграммы). Программа представляется как набор блоков (функций и функциональных блоков), соединённых линиями связи, отражающими поток сигналов. Удобен для визуального представления сложной логики, особенно с готовыми функциональными блоками (например, блок ПИД-регулятора).

ST (Structured Text, структурированный текст). Текстовый язык программирования высокого уровня, синтаксически похожий на Pascal. Наиболее удобен для сложных алгоритмов — математических вычислений, обработки массивов, реализации собственных функций. Пример: IF Уровень < Уставка THEN Клапан:= TRUE; END_IF;

SFC (Sequential Function Chart, последовательные функциональные схемы). Графический язык для описания последовательных процессов, состоящих из отдельных шагов (steps) и переходов между ними (transitions). Идеально подходит для батч-процессов, где технология предполагает чёткую последовательность операций (например: заполнить реактор → нагреть → выдержать время → слить).

IL (Instruction List, список инструкций). Низкоуровневый язык, похожий на ассемблер, — набор простых команд, выполняемых последовательно. В современной практике используется редко, во многом вытеснен структурированным текстом; в новых версиях стандарта фактически исключён.

На практике инженер редко ограничивается одним языком — типичный проект сочетает LD для простой пусковой логики, ST для сложных расчётов и SFC для описания последовательности технологических операций. В части III книги мы подробно разберём практическое применение этих языков на примерах в конкретных средах программирования — Siemens TIA Portal, Schneider EcoStruxure, Allen-Bradley Studio 5000 и отечественных решениях на базе CoDeSys.

ЧАСТЬ II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСУТП

Глава 7. Техническое задание на АСУТП

Любой проект начинается с технического задания (ТЗ) — документа, который фиксирует, что именно должна делать система, до того как будет потрачен хотя бы час на программирование или закупку оборудования. Слабое или неполное ТЗ — самая частая причина срыва сроков и бюджета в проектах автоматизации: переделки на позднем этапе обходятся в разы дороже, чем время, потраченное на качественную проработку требований в начале.

Из чего состоит ТЗ на АСУТП:

1. Общие сведения о проекте. Название объекта автоматизации, заказчик, основание для разработки (договор, техническое совещание), сроки выполнения этапов.

2. Назначение и цели создания системы. Что должна обеспечивать АСУТП — например: «автоматическое поддержание уровня в резервуарах, контроль параметров технологического процесса, сигнализация об аварийных ситуациях, дистанционное управление насосным оборудованием».

3. Характеристика объекта автоматизации. Описание технологического процесса, перечень оборудования, которое подлежит автоматизации, требования к режимам работы (непрерывный, периодический, батч-процесс).

4. Требования к функциям системы. Детальное описание, что именно система должна делать: — Измерение каких параметров требуется (с указанием диапазонов и точности) — Какие алгоритмы управления нужны (например, ПИД-регулирование уровня, каскадное регулирование температуры) — Требования к сигнализации (какие параметры должны формировать предупредительные и аварийные сигналы, при каких значениях) — Требования к защитным блокировкам (что должно происходить автоматически при выходе параметров за критические границы) — Требования к архивированию данных (какие параметры архивировать, с какой периодичностью, на какой срок хранения)

5. Требования к техническому обеспечению. Тип и производитель ПЛК (если уже определён заказчиком), требования к резервированию (нужен ли резервный контроллер, резервное питание), требования к классу защиты оборудования по условиям эксплуатации (например, IP65 для оборудования, устанавливаемого вне помещений).

6. Требования к программному обеспечению. Требования к SCADA-системе, языку интерфейса, отчётности, интеграции с существующими системами предприятия (например, с MES или ERP через OPC UA).

7. Требования к надёжности. Показатели надёжности (наработка на отказ, время восстановления), требования к диагностике неисправностей.

8. Требования к безопасности. Требования по электробезопасности, взрывозащите (если объект относится к взрывоопасным зонам), функциональной безопасности (нужен ли отдельный контур ПАЗ).

Практический совет. На этапе разработки ТЗ инженеру АСУТП критически важно провести очное обследование объекта автоматизации — увидеть оборудование вживую, поговорить с технологами и операторами, которые будут работать с системой. Значительная часть требований, которые впоследствии оказываются критичными, никогда не попадает в исходные документы заказчика просто потому, что технологи считают их «само собой разумеющимися» — и не проговаривают вслух, пока не увидят готовую систему без нужной функции.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.