

Дисциплина «Автоматизация технологических процессов и производств»

- 34 часа лекций (доцент Кривоносов В.А.)
- 34 часа лабор. (6 лабораторных работ) (доцент Полещенко Д.А.)
- Курсовой проект (Кривоносов В.А.), ИТОГОВЫЙ ЭКЗАМЕН
- .
- Литература
- 1.Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами.С-Пб- Профессия, 2009-592 с.
- 2. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления : учебное пособие / А.С. Анашкин, Э.Д. Кадыров, В.Г. Харазов ; Под ред. д.т.н. проф. В.Г. Харазова. - СПб : Изд-во "Иван Федоров", 2004. - 368 с. : 50 экз в библиотеке СТИ НИТУ МИСиС
- 2. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУ ТП: Проектирование и разработка. Учебно-пр. пособие. М.: Инфра - Инженерия. 2008 г. 928 с. (ЕСТЬ В ИНТЕРНЕТЕ).
- 3. Кривоносов В.А. Автоматизация технологических процессов и производств. Методическое пособие. 2009. -60 с. Электронная версия.
- 4. Кривоносов В.А. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств». Ст.Оскол, 2008. - 32 с.
- 6. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, Юнимедиастайл, 2002. – 831 с.

История развития автоматизации в промышленности

- 1756 г. – Н.И. Ползунов - поплавковый регулятор уровня воды в котле паровой машины.
- 1784 г. – Д. Уатт – центробежный регулятор скорости паровой машины.
- 1868 г. – Д. Максвелл – исследование устойчивости замкнутой системы регулирования паровой машины с регулятором Уатта.
- 1878 г. – И.А. Вышнеградский – работа «Об общей теории регуляторов».
- Конец 19-го начало 20-го века – Работы А.М. Ляпунова, А. Гурвица, А. Стодолы, И.Е. Жуковского, Г. Найквиста. Индустриализация, Мировые войны.
- 1959 г. Порт-Артур (штат Техас) – АСУ ТП нефтеперегонным процессом с ЭВМ, работающей в режимах «советчик оператора» и задатчик аналоговым регулят.
- 1962 г. английская компания Imperial Chemical Industries представила концепцию прямого (непосредственного) цифрового управления (ПЦУ или НЦУ в русской технической литературе, Direct Digital Control – DDC в англоязычной литературе).
- 1968 г. General Motors – первый ПЛК
- 1969 г. – первая ЛВС ARPANET (США). 1986 г. – ЛВС ИАСНЕТ (СССР).
- 1977 г. – Allan Bradley – ПЛК на базе микропроцессора Intel 8080

Автоматизированные системы (АС)

- **Автоматизированная система (АС)** – это система, состоящая из персонала и комплекса технических и программных средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций. В зависимости от объекта автоматизации, а также от назначения и функций системы различают **автоматизированные системы управления (АСУ), системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные информационные системы (АИС), автоматизированные системы контроля и учета (АСКУ), автоматизированные системы научных исследований (АСНИ)** и т.п.

АСУ ТП

- **АСУ ТП** – это АСУ, предназначенные для выработки и реализации управляющих воздействий на **технологических объектах управления (ТОУ)** с целью обеспечения наивысшего качества функционирования ТОУ.
- **ТОУ** – это совокупность технологического оборудования (электродвигатели, насосные агрегаты, вентиляторы, печи, горелки, котлы и т.п.) и реализованного на нем по соответствующим регламентам технологического процесса. Качество функционирования АСУ ТП оценивается **критерием качества управления**.
- **Критерий качества управления** – численный показатель (скалярный или векторный), характеризующий эффективность работы ТОУ, значение которого зависит от управляющих воздействий. В качестве критериев могут использоваться как технологические параметры (температура, давление, максимальное отклонение от заданного размера, содержание железа в концентрате), так и технико-экономические показатели (удельные затраты сырья и энергии, прибыль, производительность при выполнении требований по качеству и т.п.).
- В составе **АСУ ТП** можно выделить :
- **Распределенную Систему Управления ТП (РСУ)**
- **Подсистему Аварийных Защит (ПАЗ)**

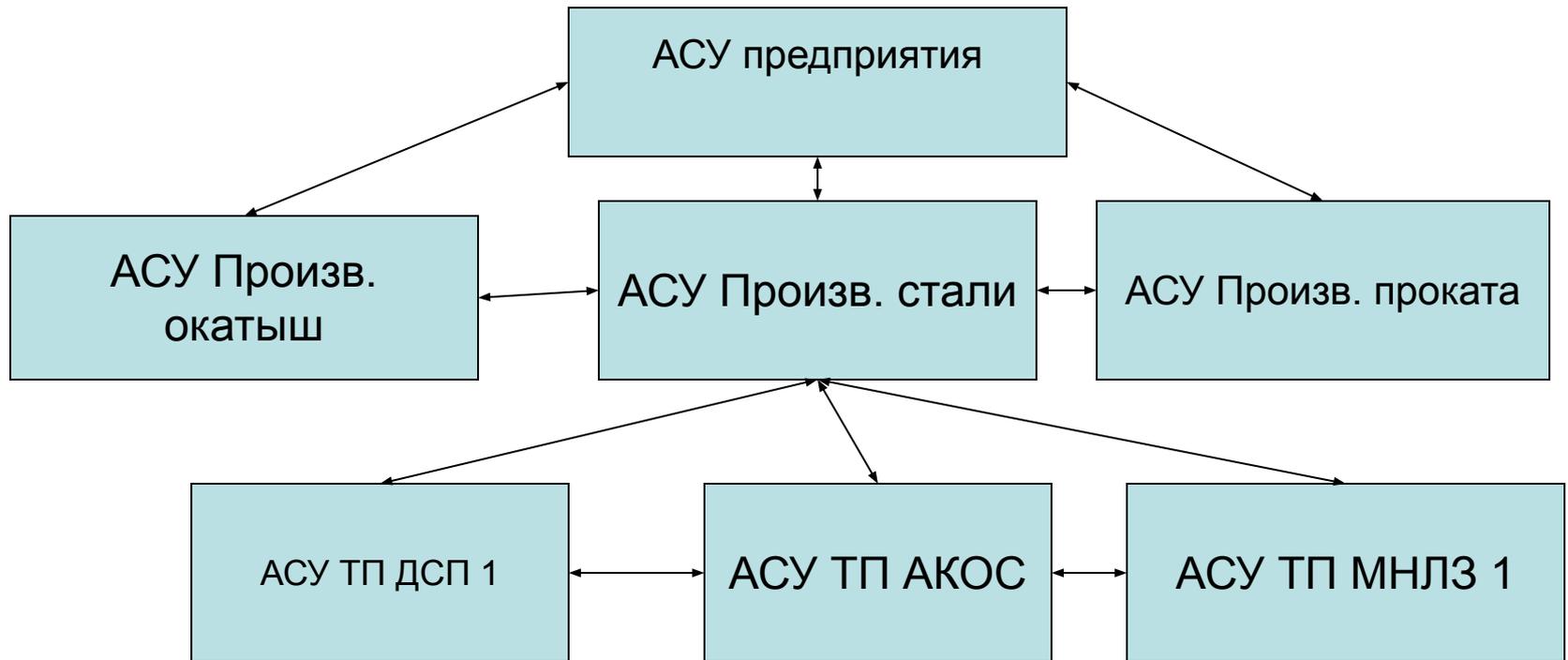
Ограничения в функционировании АСУ ТП

- Не меньшую роль, чем критерий качества управления, в функционировании АСУ ТП играют **ограничения**, которые должны соблюдаться при выработке управляющих воздействий.
- **Ограничения** бывают двух видов:
- **физические**, которые не могут быть нарушены даже при неправильном выборе управляющих воздействий, и
- **технологические**, которые в принципе могут быть нарушены, но эти нарушения приводят к значительному ущербу.
- Примером физического ограничения является максимальный расход природного газа на горелку при полностью открытой заслонке.
- Примером технологических ограничений являются ограничения на уровень металла в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Выход за ограничения может приводить к дефектам в непрерывно литой заготовке.



Рис 1. Структура децентрализованной АСУП

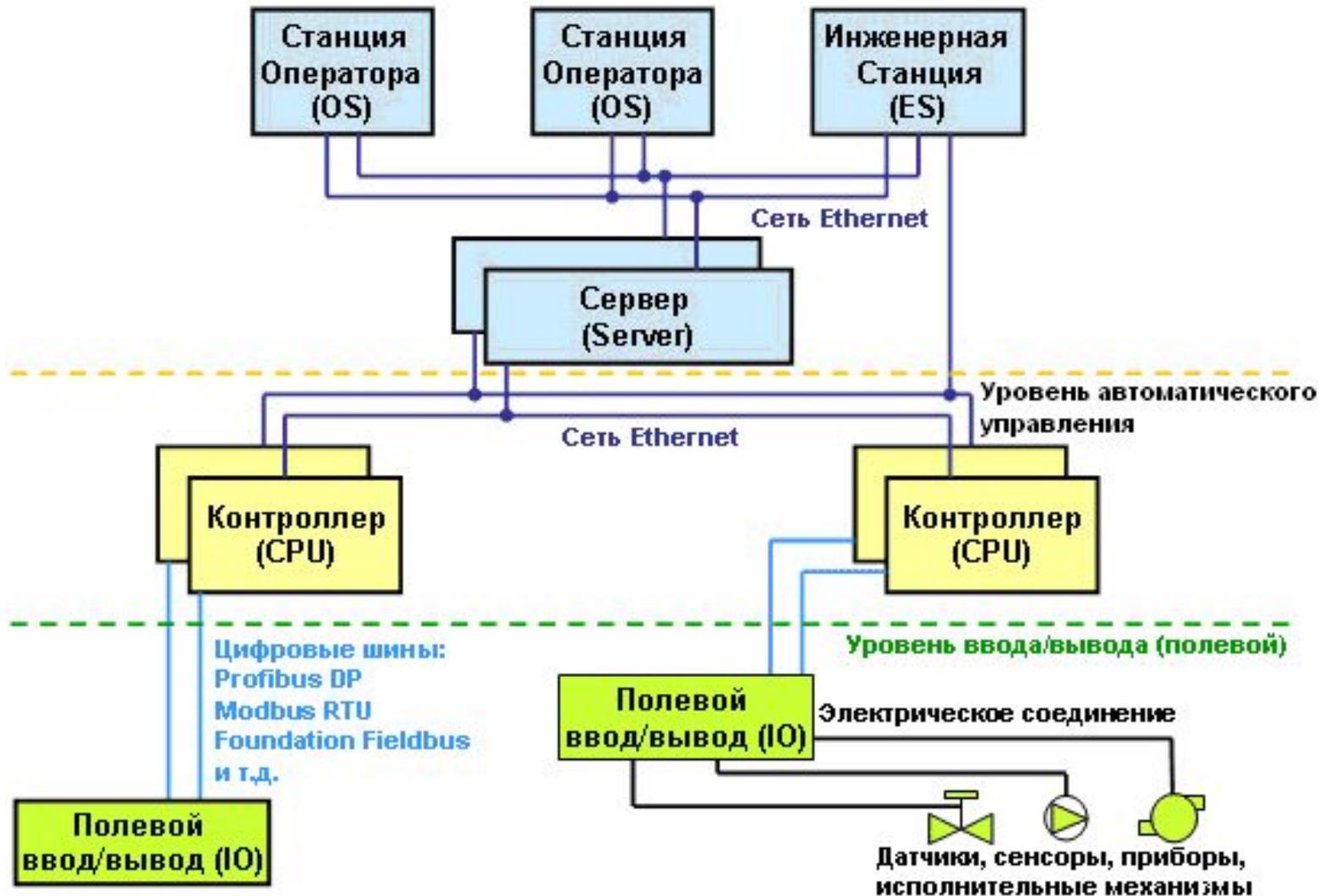
Иерархическая структура управления на предприятии



Распределенная АСУ ТП с НЦУ

(Distributed Direct Digital Control - DDDC)

Операторский уровень



ФУНКЦИИ АСУ ТП

- **ОСНОВНЫЕ:**

- 1. Информационные (сбор, предварительная обработка, хранение, передача и представление информации пользователям в удобном для них виде. Пользователями могут быть люди, функциональные задачи, системы и подсистемы управления)
- 2. Управляющие (выработка и реализация управляющих воздействий на объект управления).

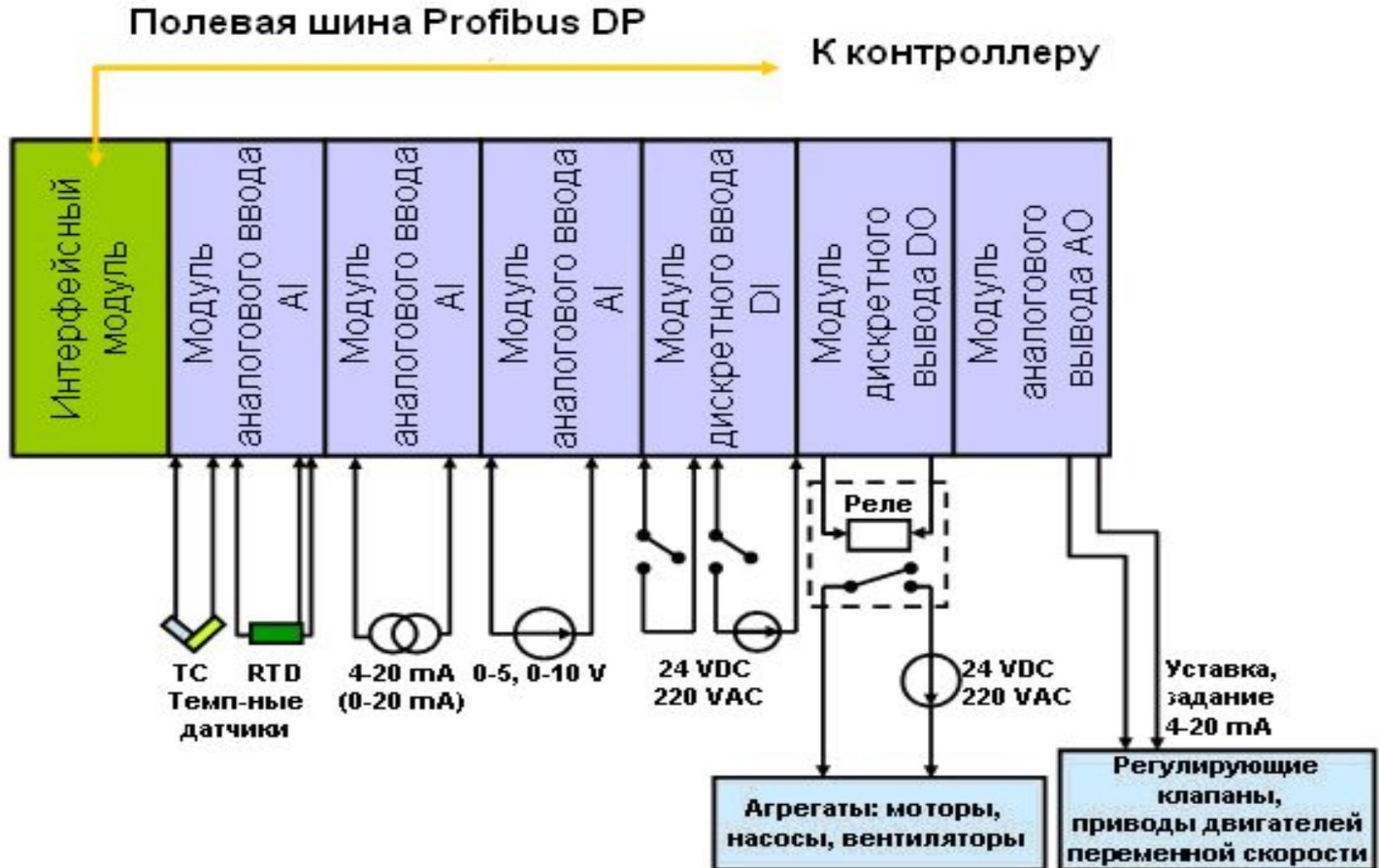
- **ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ:**

- 1. Контроль работоспособности и диагностика причин неисправности аппаратных средств АСУ ТП
- 2. Контроль работоспособности и определение характера сбоя программных средств АСУ ТП

Распределение задач по уровням АСУ ТП

- **На верхнем уровне** с участием оперативного персонала решаются задачи диспетчеризации процесса, оптимизации режимов, подсчета технико-экономических показателей производства, визуализации и архивирования процесса, диагностики и коррекции программного обеспечения системы. Верхний уровень АСУ ТП реализуется **на базе серверов, операторских (рабочих) и инженерных станций.**
- **На среднем уровне** – задачи автоматического управления и регулирования, пуска и останова оборудования, логико-командного управления, аварийных отключений и защит. Средний уровень реализуется на основе **ПЛК.**
- **Нижний (полевой) уровень АСУ ТП** обеспечивает сбор данных о параметрах технологического процесса и состояния оборудования, реализует управляющие воздействия. Основными техническими средствами нижнего уровня являются **датчики и исполнительные устройства, станции распределенного ввода/вывода, пускатели, концевые выключатели, преобразователи частоты.**

Подключение полевых устройств через станцию распределенной периферии



Станция распределенной периферии ET 200M (фирма SIEMENS)



Узел распределенного ввода/вывода модели 2500 фирмы Eurotherm.



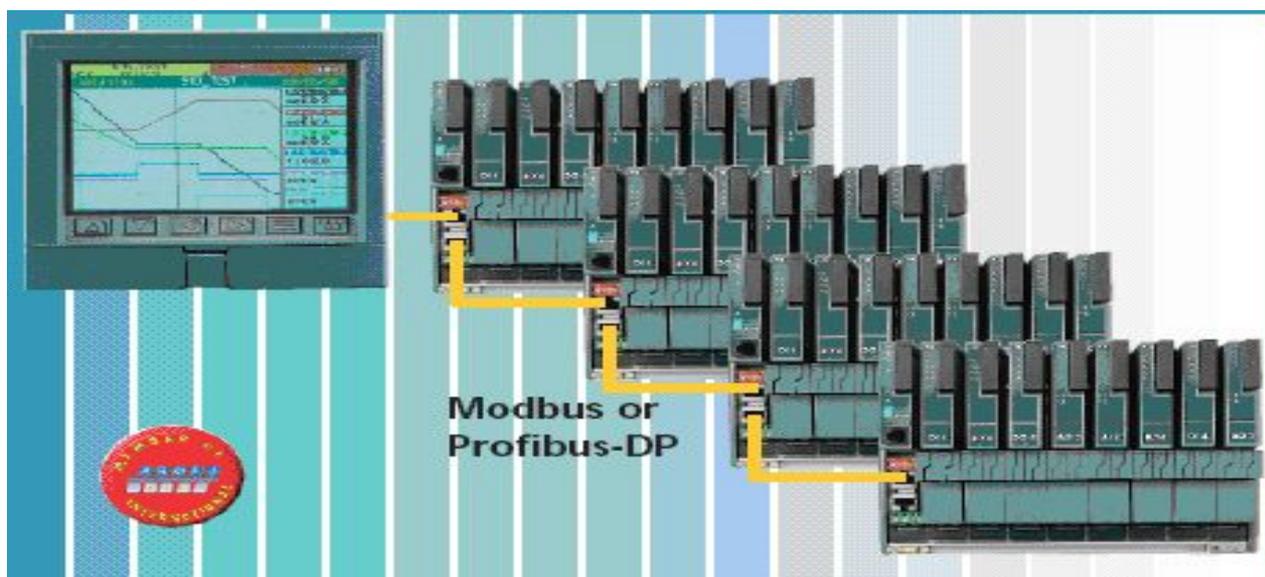
Модуль ввода/вывода ADAM-6024 фирмы ADVANTECH



Specifications

Номер для заказа

Analog Input	Channels	6
	Voltage Input	± 10 V
Analog Output	Channels	2
	Voltage Output	0 ~ 10 VDC with 30 mA
Digital I/O	Digital Input Channels	2
	Digital Output Channels	2 (Sink)
	GCL1	Receiver Only2
General Interface		10/100 Mbps Ethernet
	Peer-to-Peer1	Receiver Only2



Узел=5	Слот=6	Канал=12	Команда "считать"	-
--------	--------	----------	-------------------	---

Узел=1	-	-	Статус "считано"	Данные с датчика
--------	---	---	------------------	------------------

Узел=7	Слот=3	Канал=2	Команда "записать"	Значение=50%
--------	--------	---------	--------------------	--------------

Узел=1	-	-	Запись выполнена	-
--------	---	---	------------------	---

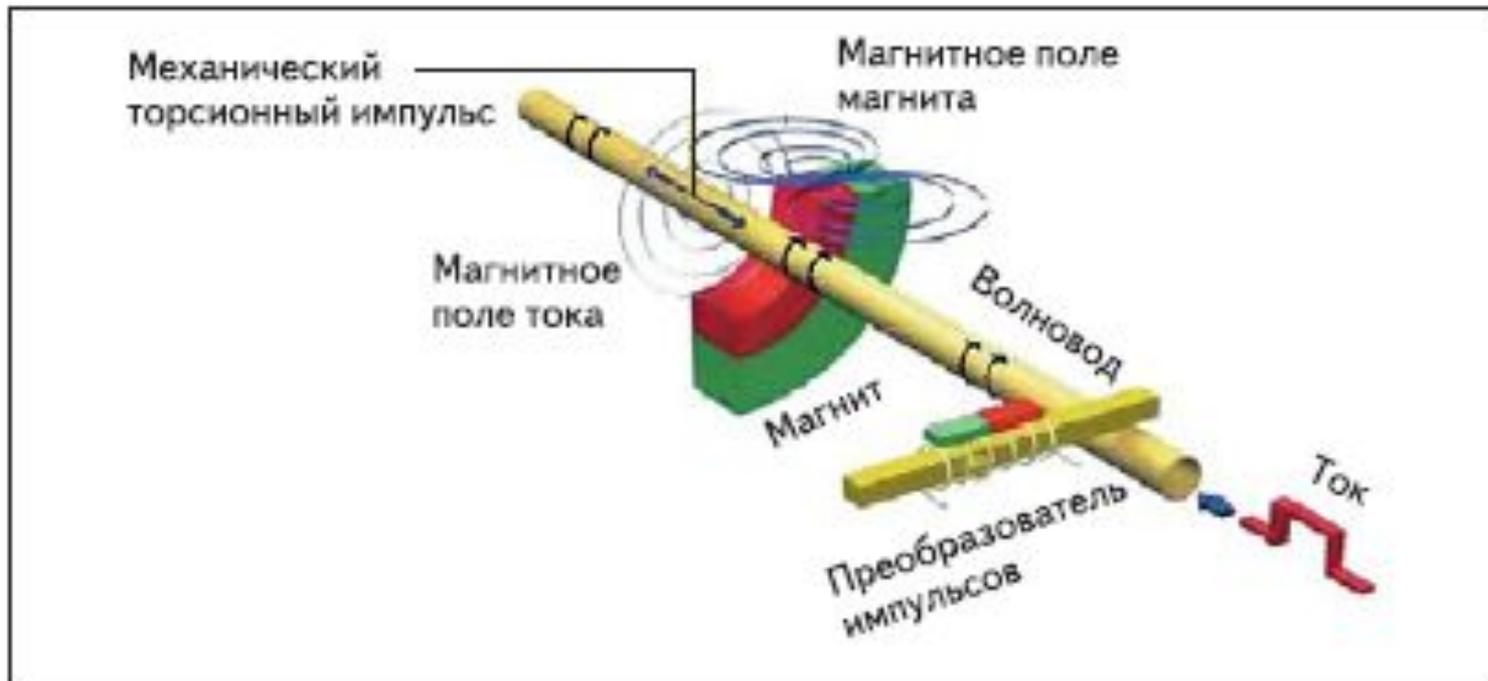


Преобразователь расхода Сапфир 22ДД-Вн

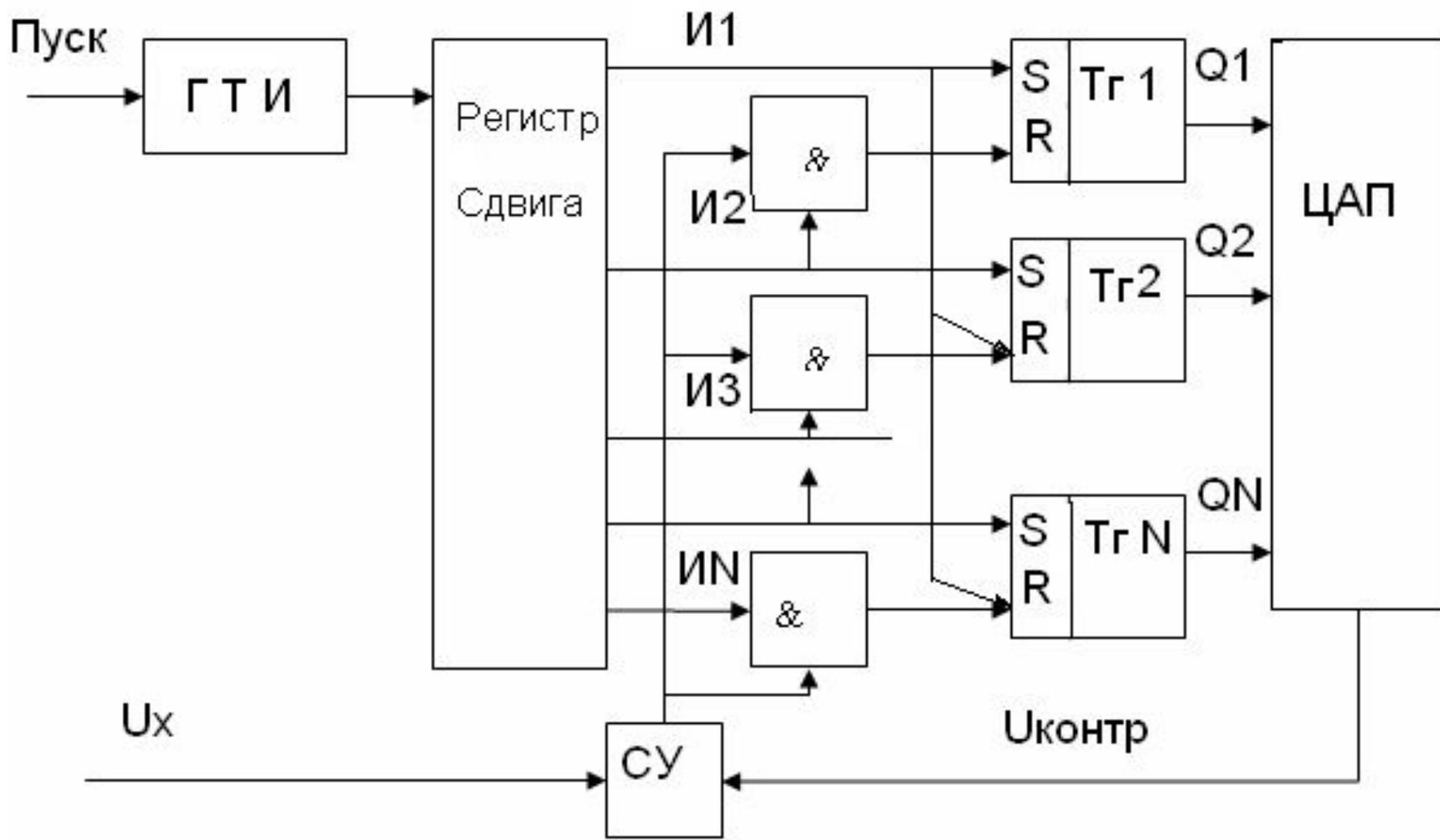


Выходной сигнал 0-5 и 4-20 мА

Датчики линейных перемещений фирмы MTS Sensors



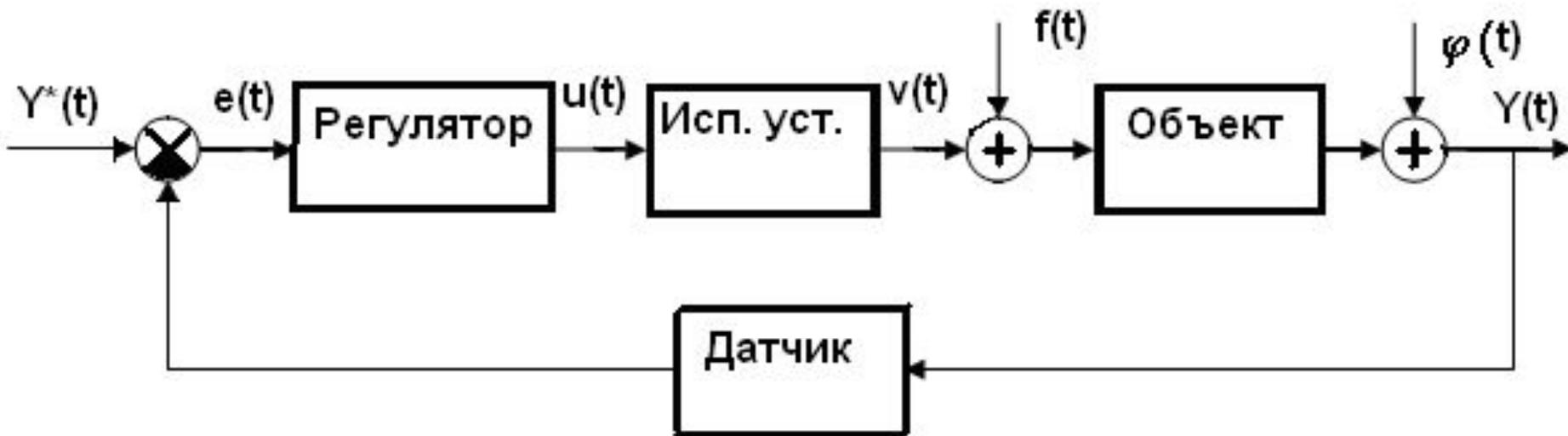
АЦП поразрядного уравнивания (последовательного приближения)



ВНЕШНИЙ ВИД МЕХАНИЗМОВ МЭО



ОБЩАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ



ДВА КЛАССА ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

С САМОВЫРАВНИВАНИЕМ (СТАТИЧЕСКИЕ)

Общий вид передаточной функции:

$$W(S) = \frac{b_1 S^m + b_2 S^{m-1} + \dots + b_{m+1}}{a_1 S^n + a_2 S^{n-1} + \dots + a_{n+1}} e^{-\tau s}$$

- апериодические звенья 1-го, 2-го порядка, с запаздыванием и без;
- колебательные звенья;
- реальные дифференцирующие.

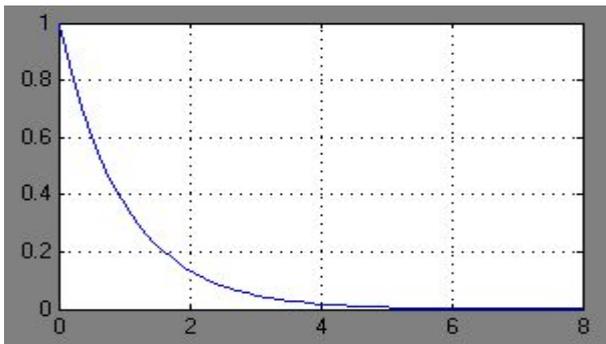
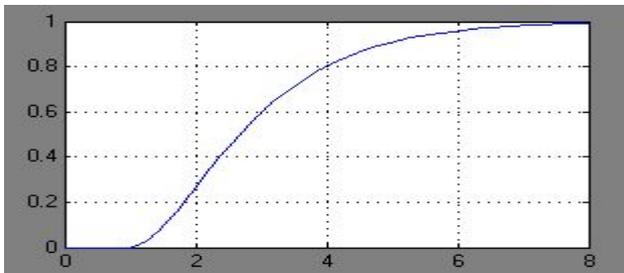
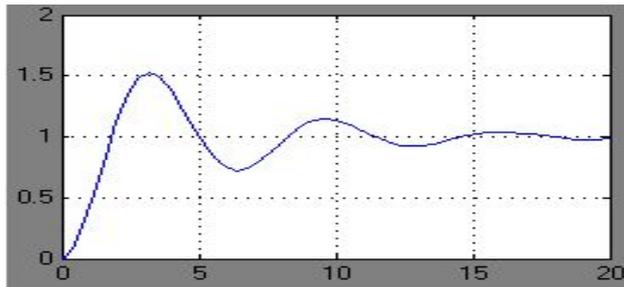
• БЕЗ САМОВЫРАВНИВАНИЯ (АСТАТИЧЕСКИЕ, ИНТЕГРИР.)

Общий вид передаточной функции:

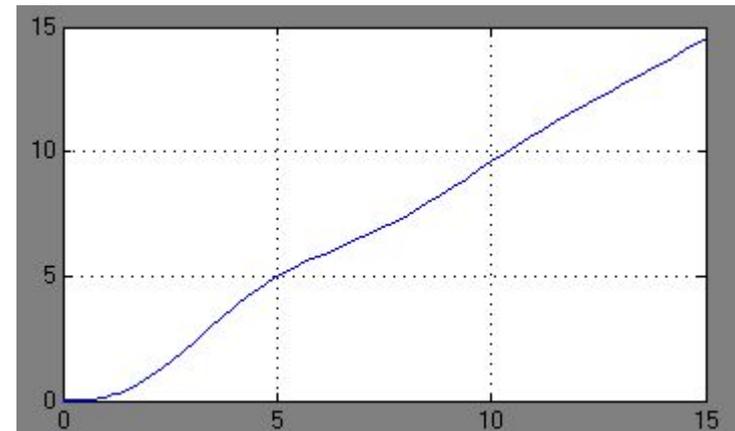
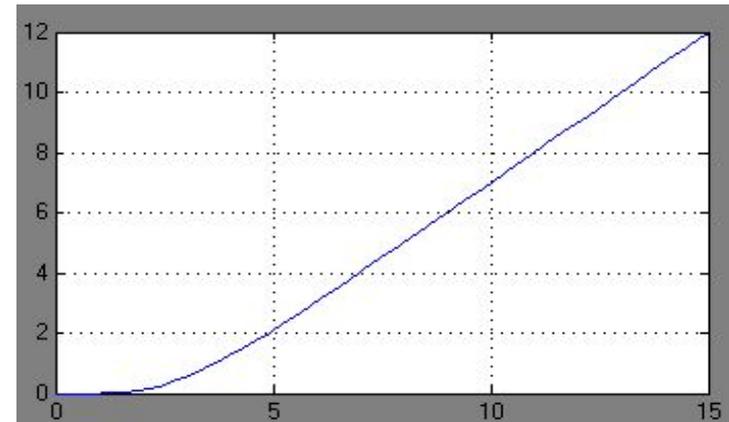
$$W(S) = \frac{b_1 S^m + b_2 S^{m-1} + \dots + b_{m+1}}{S^k (a_1 S^n + a_2 S^{n-1} + \dots + a_{n+1})} e^{-\tau s}$$

ПЕРЕХОДНЫЕ ФУНКЦИИ (РАЗГОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ)

- **СТАТИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**



- **АСТАТИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**



ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

- **СТАТИЧЕСКИЕ**
 1. Печь. **Вход** – расход газа, **выход** – температура.
 2. Эл.двигатель постоянного тока. **Вход**- напряжение якоря, **выход** – скорость вращения якоря.
 3. Ёмкость для разбавления пульпы. **Вход** – соотношение расходов пульпы и воды на разбавление, **выход** – плотность разбавленной пульпы.
- **АСТАТИЧЕСКИЕ**
 1. Цилиндр с поршнем в системе гидропривода. **Вход** – расход масла в цилиндр, **выход** – перемещение поршня.
 2. Эл.двигатель постоянного тока. **Вход** – напряжение якоря, **выход**- угол поворота якоря.
 3. Ёмкость для разбавления пульпы. **Вход** – разность между расходами на входе и выходе емкости, **выход** – уровень в ёмкости.

ТРЕБОВАНИЯ К САР

- **1. Устойчивость** – способность возвращаться в установившийся режим после прекращения действия возмущений.
- **2. Высокая точность в установившихся режимах** – малая величина ошибки (рассогласования) после завершения переходных процессов.
- **3. Высокое качество переходных процессов** – небольшое время регулирования, перерегулирование, количество колебаний.
- **4. Грубость (робастность)** – способность сохранять качество работы при небольших отклонениях параметров объекта от исходных в процессе эксплуатации системы.

СИСТЕМА С И-РЕГУЛЯТОРОМ

Передаточная функция регулятора $W_{PEГ}(S) = \frac{K_i}{S}$
1. Статический объект

$$W_{XE}(S) = \frac{1}{1 + W_{PEГ}(S) \cdot W_{OE}(S)} = \frac{1}{1 + \frac{K_i}{S} \cdot \frac{K_{OE}}{T_{OE}S + 1}} = \frac{S(T_{OE}S + 1)}{T_{OE}S^2 + S + K_i \cdot K_{OE}}$$

$$W_{FE}(S) = -\frac{W_{OE}(S)}{1 + W_{PEГ}(S) \cdot W_{OE}(S)} = -\frac{K_{OE}S}{T_{OE}S^2 + S + K_i K_{OE}}$$

$$\varepsilon_{уст} = X \cdot W_{XE}(0) + F \cdot W_{FE}(0) = 0. \text{ Точность в статике}$$

высокая.

$$S_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4 \cdot T_{OE} \cdot K_{OE} \cdot K_i}}{2T_{OE}}. \text{ Склонность к колебательным}$$

переходным процессам.

СИСТЕМА С И-РЕГУЛЯТОРОМ

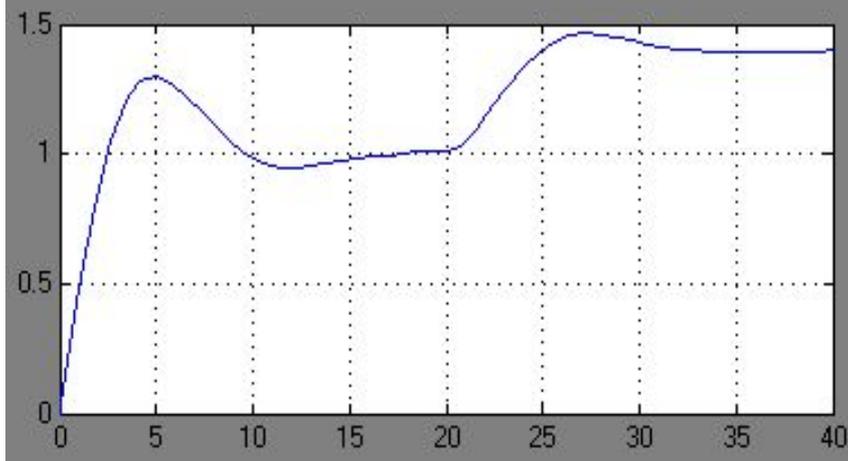
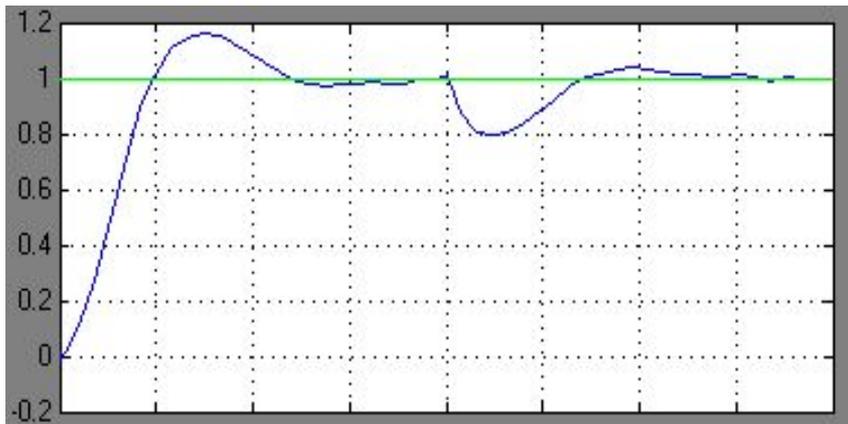
2. Астатический объект

$$W_{ХЗ}(S) = \frac{1}{1 + W_{РВГ}(S) \cdot W_{ОБ}(S)} = \frac{1}{1 + \frac{K_i}{S} \cdot \frac{K_{ОБ}}{S(T_{ОБ}S + 1)}} = \frac{S^2(T_{ОБ}S + 1)}{T_{ОБ}S^3 + S^2 + K_i \cdot K_{ОБ}}$$

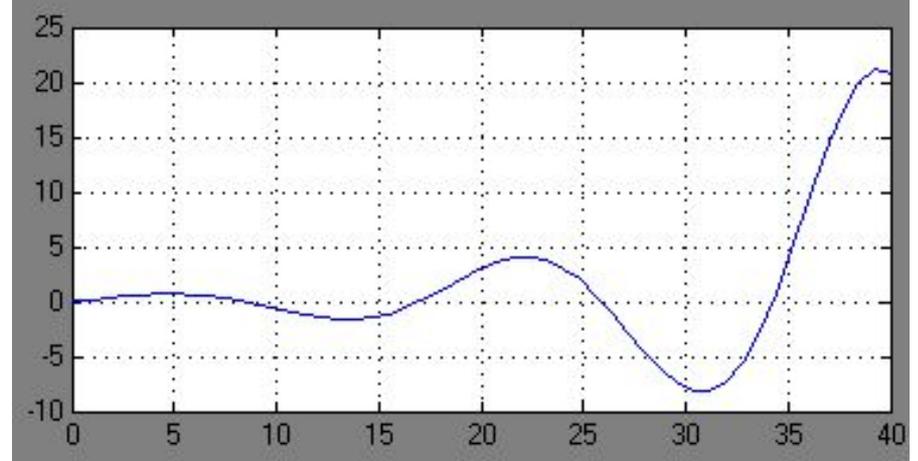
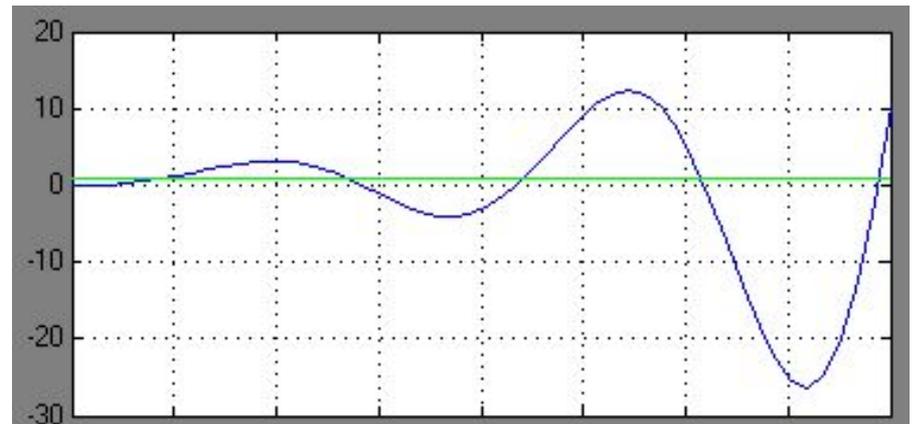
В характеристическом полиноме отсутствует S в первой степени. Следовательно, нарушается НЕОБХОДИМОЕ условие устойчивости линейной системы. Т.Е. система не устойчива при любых значениях K_i (система структурно не устойчива)!!!

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В САР С И-регулятором

1. Статический объект



2. Астатический объект



ПИД-РЕГУЛЯТОР ТРИД РТП101/112/122

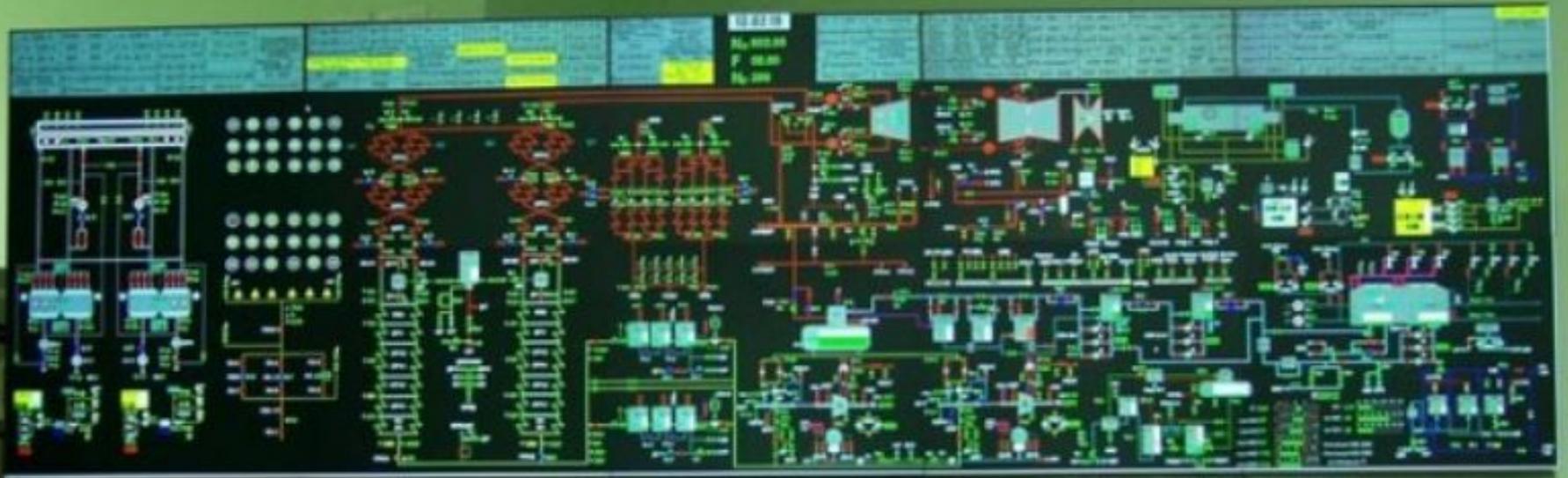


Цена от 2 030 руб. с НДС

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ВХОДЫ для подключения любых распространенных типов датчиков. ОДНО-, ДВУХ-, ЧЕТЫРЕХканальное исполнение. КАЖДЫЙ КАНАЛ приборов работает ПАРАЛЛЕЛЬНО и НЕЗАВИСИМО. Двухстрочный цифровой ДИСПЛЕЙ одновременно отображает фактическое и заданное значение измеряемого параметра. ПОДКЛЮЧЕНИЕ К ПК через интерфейс RS485, протокол обмена данными Modbus RTU/ASCII. ПИД-регулирование измеряемого параметра.

Десятиканальный ПИД регулятор на базе измерителя температуры ИТ1520 и блока реле.







АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АСУ ТП



- Исполнение – desktop или rack-mounted
- - Процессор: Intel Pentium 4, 3.4 ГГц;
- - Память: DDR2 SDRAM до 4 ГБ;
- - Материнская плата: ChipSet Intel 945G;
- - Жесткий диск: SATA-RAID 1/2 x 120 ГБ;
- - Степень защиты: IP 31;
- - Температура эксплуатации: 5 – 45 С;
- - Влажность: 5 – 95 % (без образования конденсата);
- - Операционная система: Windows XP Professional/2003 Server.

РАБОЧАЯ СТАНЦИЯ WIR-610FM



Основные характеристики:

4U Промышленный компьютер

Системная плата формата ATX

Процессор Core2Duo/ PentiumD/

Pentium4/ CeleronD

до 7-и слотов расширения

Слоты PCI, PCI-E

DVD (DVD-RW)

До 5-и жестких дисков ATA, S-ATA или

SCSI

Сетевой интерфейс: 10/100Mbps

(100/1000Mbps) up to DUAL-port

Скоростной интерфейс обмена

данными: USB 2.0

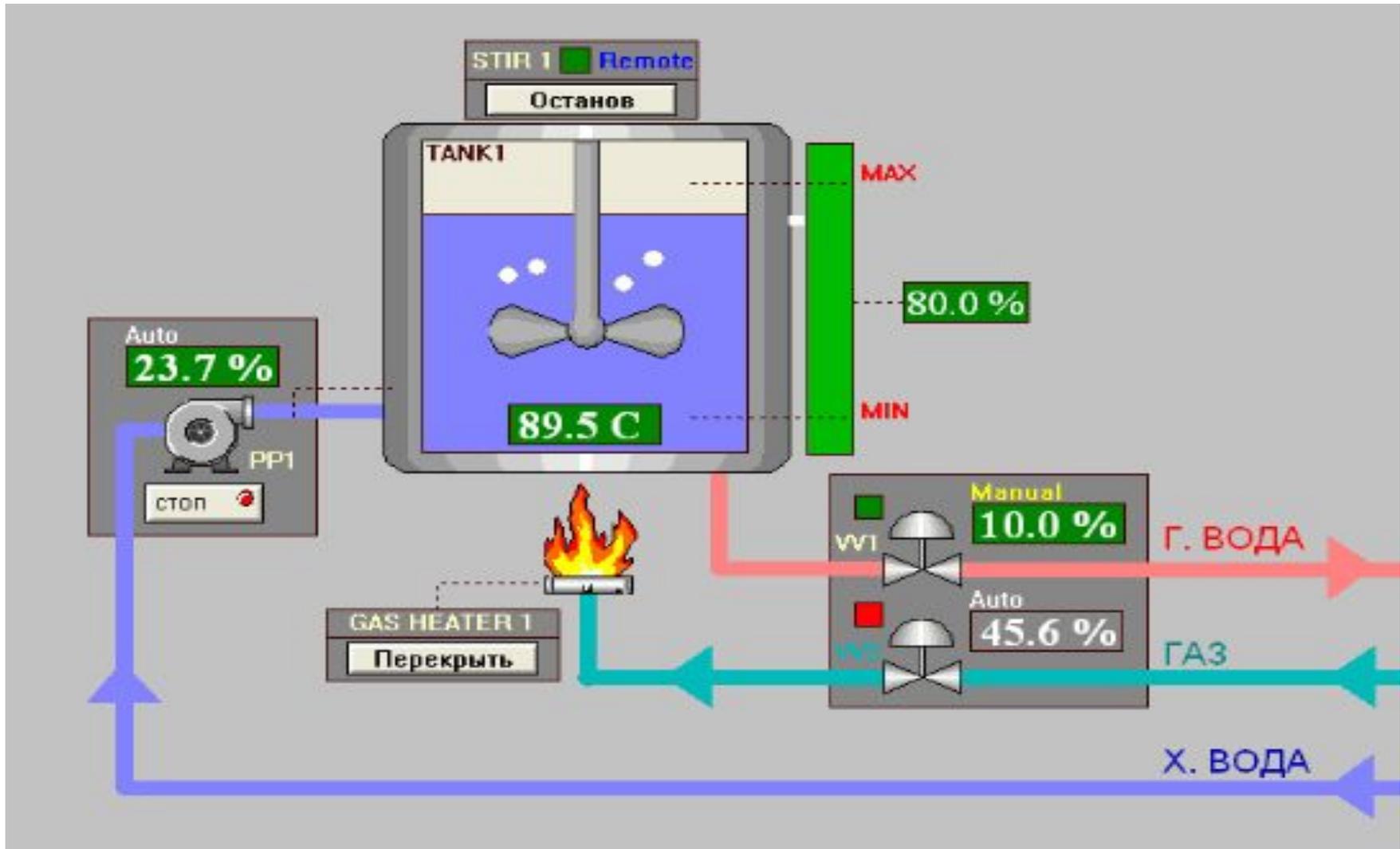
Промышленный панельный компьютер APC-3284/APC-3285
Процессор Intel Atom N270 1.6 GHz, Защита IP65



ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АСУ ТП

- 1. Операционная система. Чаще всего семейства Windows (Windows NT 4.0, Windows 2000/XP, Windows 2003 Server).**
- 2. SCADA – система (WinCC, Intouch, Trace Mode, GENESIS 32, Citect, iFIX, Master SCADA). Основные функции:**
 - Отображение технологической информации в удобной для человека графической форме (как правило, в виде интерактивных мнемосхем) – Process Visualization;**
 - Отображение аварийных сигнализаций технологического процесса – Alarm Visualization;**
 - Архивирование технологических данных (сбор истории процесса) – Historical Archiving;**
 - Предоставление оператору возможности манипулировать (управлять) объектами управления – Operator Control;**
 - Контроль доступа и протоколирование действий оператора – Access Control and Operator’s Actions Archiving;**
 - Автоматизированное составление отчетов за произвольный интервал времени (посменные отчеты, еженедельные, ежемесячные и т.д.) – Automated Reporting.**
- 3. Прикладные программы (оптимизация режима, адаптация регуляторов и т.п.)**

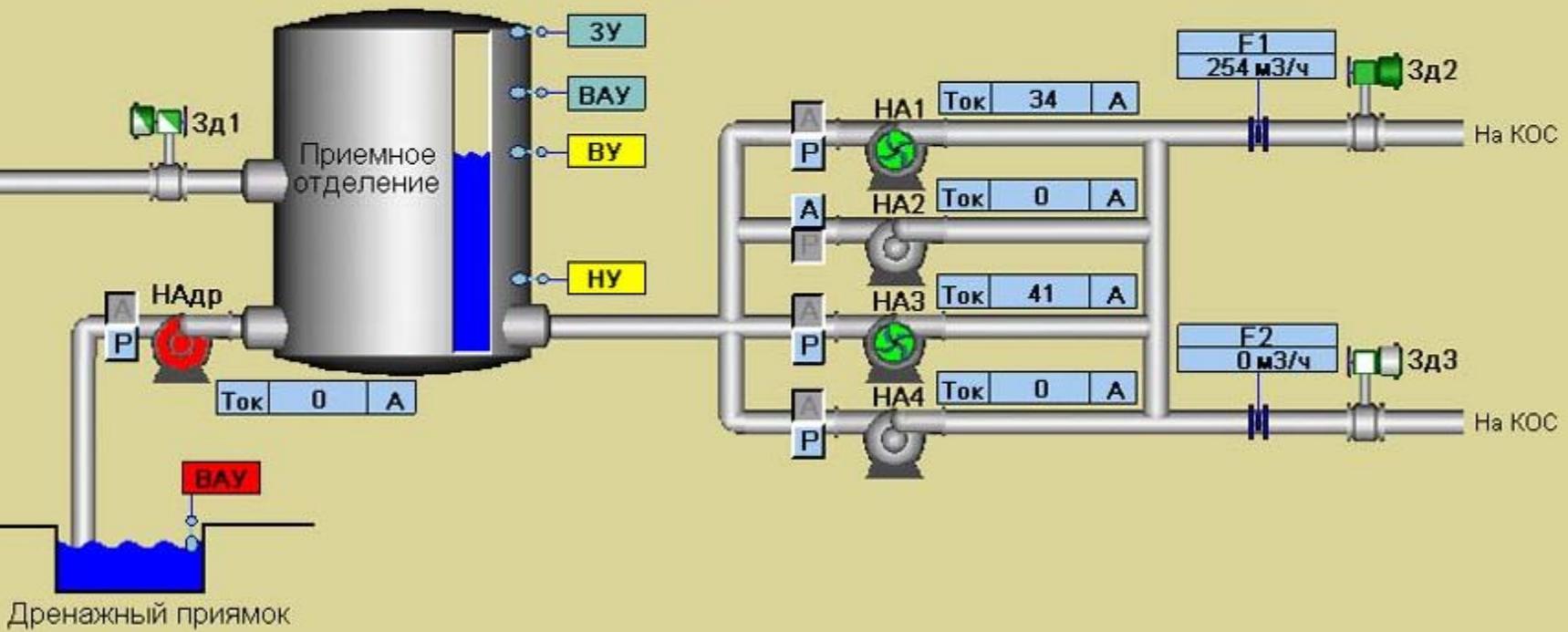
ПРИМЕР ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА ЭКРАНЕ МОНИТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SCADA





Температура в КНС	0	°C
Дверь в КНС	ОТКРЫТА	
Ввод1	НОРМА	
Ввод2	АВАРИЯ	
Состояние датчиков уровня	НОРМА	
Состояние ШАУ КНС	НОРМА	
Состояние связи	НОРМА	

Дист.пуск станции **РАЗРЕШЕН** **СТОП**

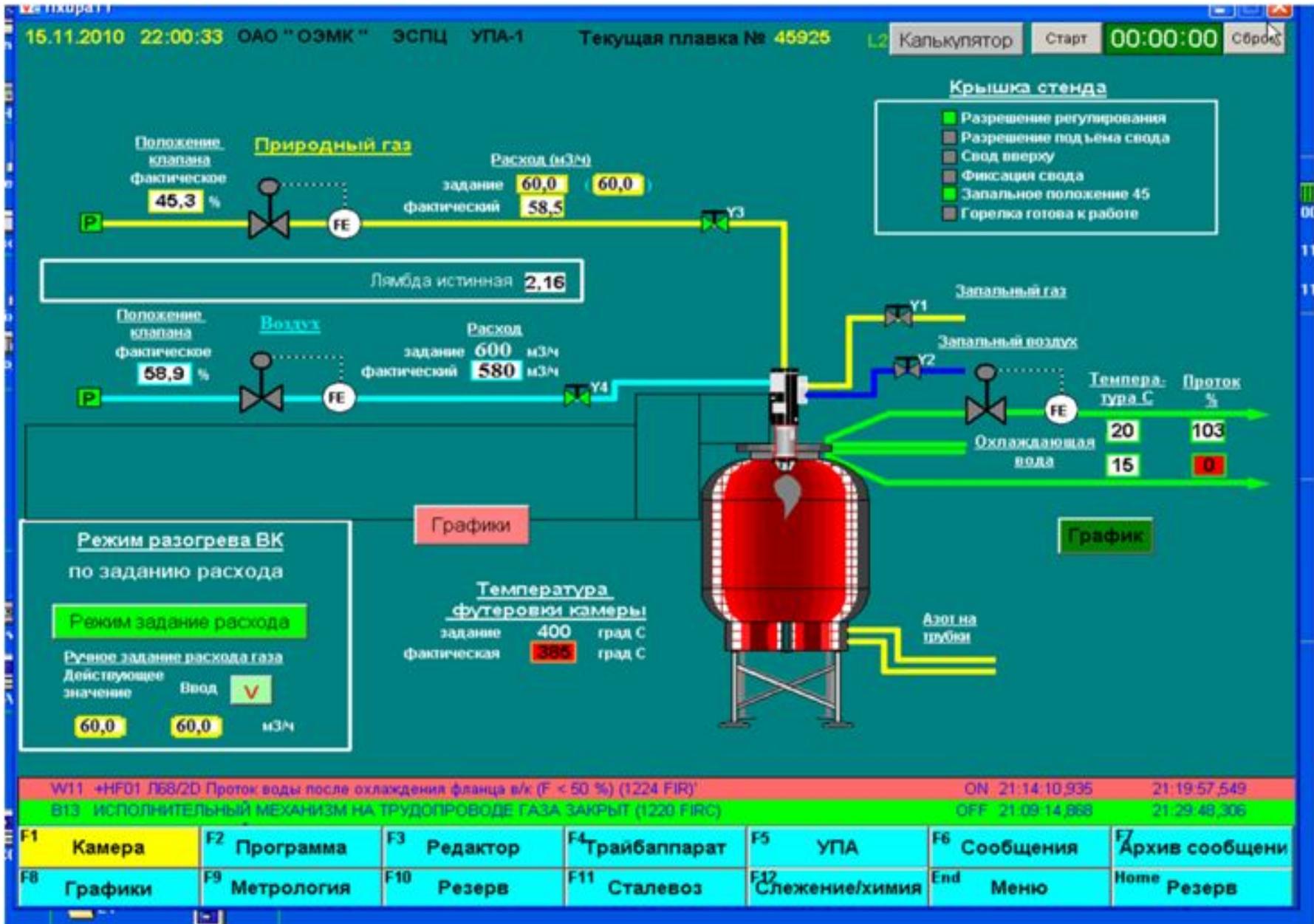


11:36:48
22.05.2007

- 1 22.05.07 11:36:06 Запуск де монстрационного сервера
- 1 22.05.07 11:29:20 ПРОСТОЙ СЕРВЕРА БАЗЫ ДАННЫХ 11:14:13 11 мая 2007 г.
- 1 11.05.07 11:14:13 Остановка де монстрационного сервера
- 1 11.05.07 10:55:00 Запуск де монстрационного сервера
- 1 11.05.07 10:48:53 ПРОСТОЙ СЕРВЕРА БАЗЫ ДАННЫХ 10:44:50 3 мая 2007 г.



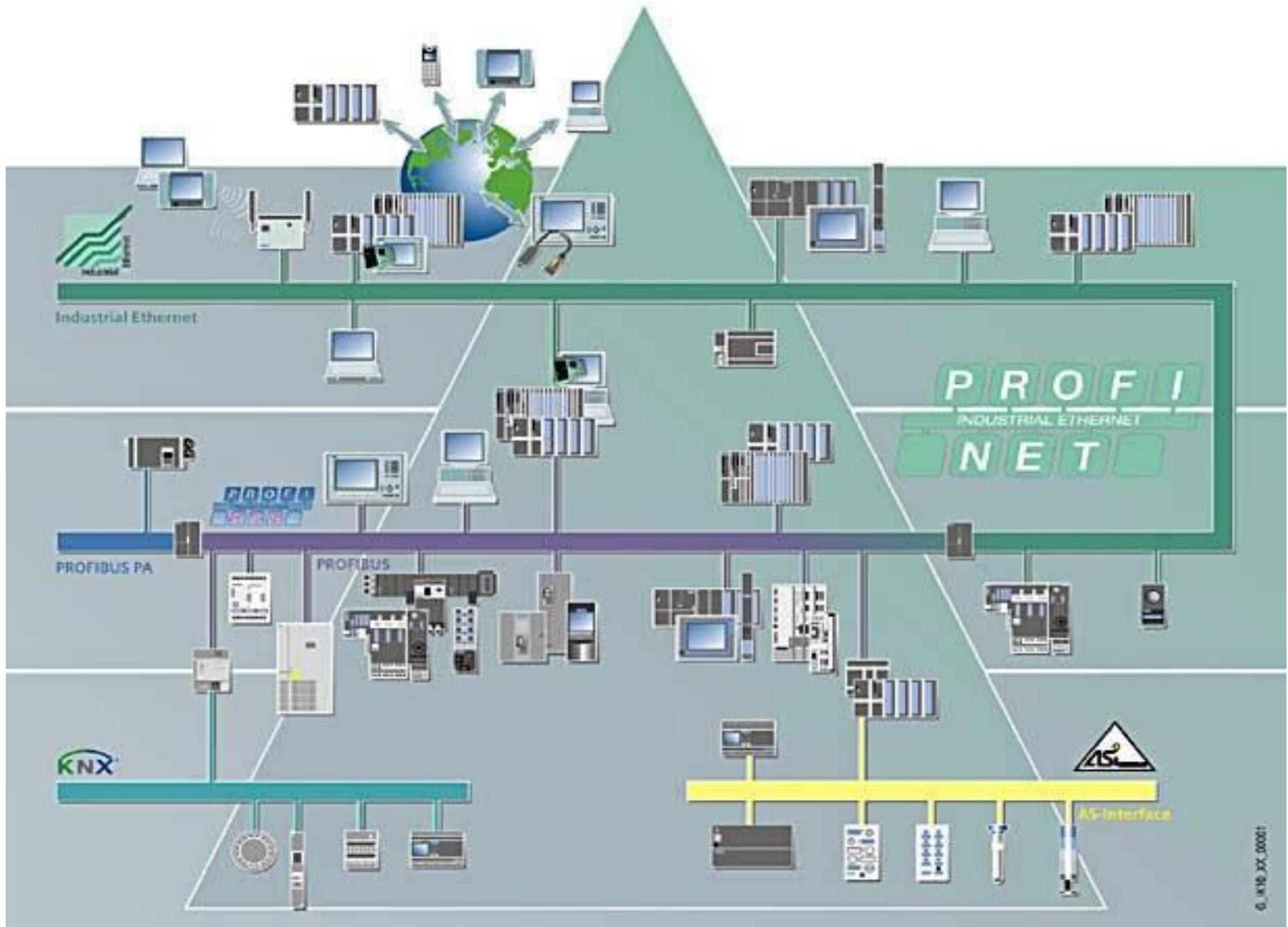
Визуализация управления стандом сушки и нагрева вакуум-камеры ЭСПЦ



ПРОМЫШЛЕННЫЕ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В АСУ ТП

Вычислительные сети – основа построения распределенной АСУ ТП.

- **Сети передачи данных, используемые в АСУ ТП, можно условно разделить на два класса:**
- ***Полевые шины (Field Buses):***
 - ***Profibus DP ;***
 - ***Profibus PA;***
 - ***AS;***
 - ***Modbus RTU;***
 - ***HART;***
 - ***DeviceNet;***
- ***Сети верхнего уровня (операторского уровня, Terminal Buses):***
Industrial Ethernet:
 - **Profinet;**
 - **EtherCAT;**
 - **Ethernet Powerlink;**
 - **Ether/IP.**



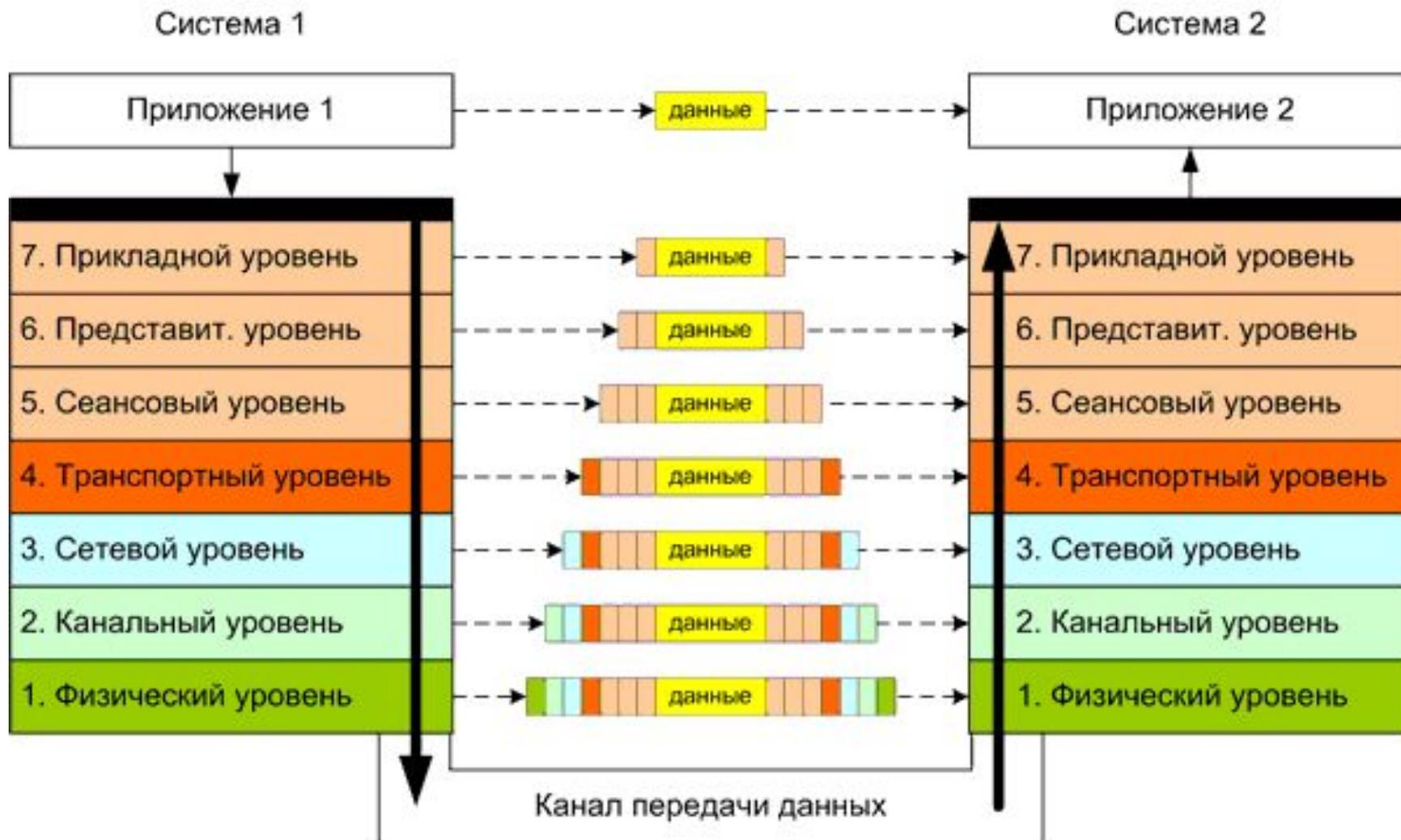
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ PROFIBUS

- **1. Экранированная витая пара.**
- **2. Последовательный интерфейс RS 485 и дифференциальные сигналы напряжения (повышается помехозащищенность).**
- **3. Расстояние до 9,6 км.**
- **4. До 32 станций на сегмент. Всего до 127 станций. Сегменты соединяются через повторители.**
- **5. Скорость от 9,6 Кбит/с до 12 Мбит/с. Максимальная длина сегмента зависит от скорости передачи.**
- **6. Сегменты подключаются через повторители RS 485.**
- **7. Топология шинная или древовидная.**
- **8. В зонах повышенной опасности рекомендуется использовать протокол PROFIBUS PA. Скорость передачи данных 31,25 Кбит/с. Кодирование информации токовым сигналом.**
- **9. Согласование сигналов DP и PA сегментов осуществляется при помощи специальных DP/PA соединителей.**

HART - ПРОТОКОЛ

- HART-протокол ([англ. Highway Addressable Remote Transducer Protocol](#)). Цифровой сигнал в виде частотно модулированного сигнала накладывается на аналоговый токовый сигнал 4-20 мА.
- Питание датчика и снятие его показаний осуществляется по паре проводов.
- К одной паре проводов может быть подключено несколько датчиков.
- Протокол HART поддерживается всеми ведущими производителями оборудования и программного обеспечения в области промышленной автоматизации.
В России данный протокол поддерживает [ПГ "Метран"](#)
- **Преимущества**
 - высокая помехозащищённость
 - простота и низкая стоимость монтажа
 - дешевизна
 - широкая распространённость в мире и России
- **Недостатки**
 - малые скорости (1200 бод).
 - сложность в обеспечении [взрывозащиты](#).

OSI - модель взаимодействия открытых систем



----- Логическое соединение между уровнями

————— Реализация передачи данных

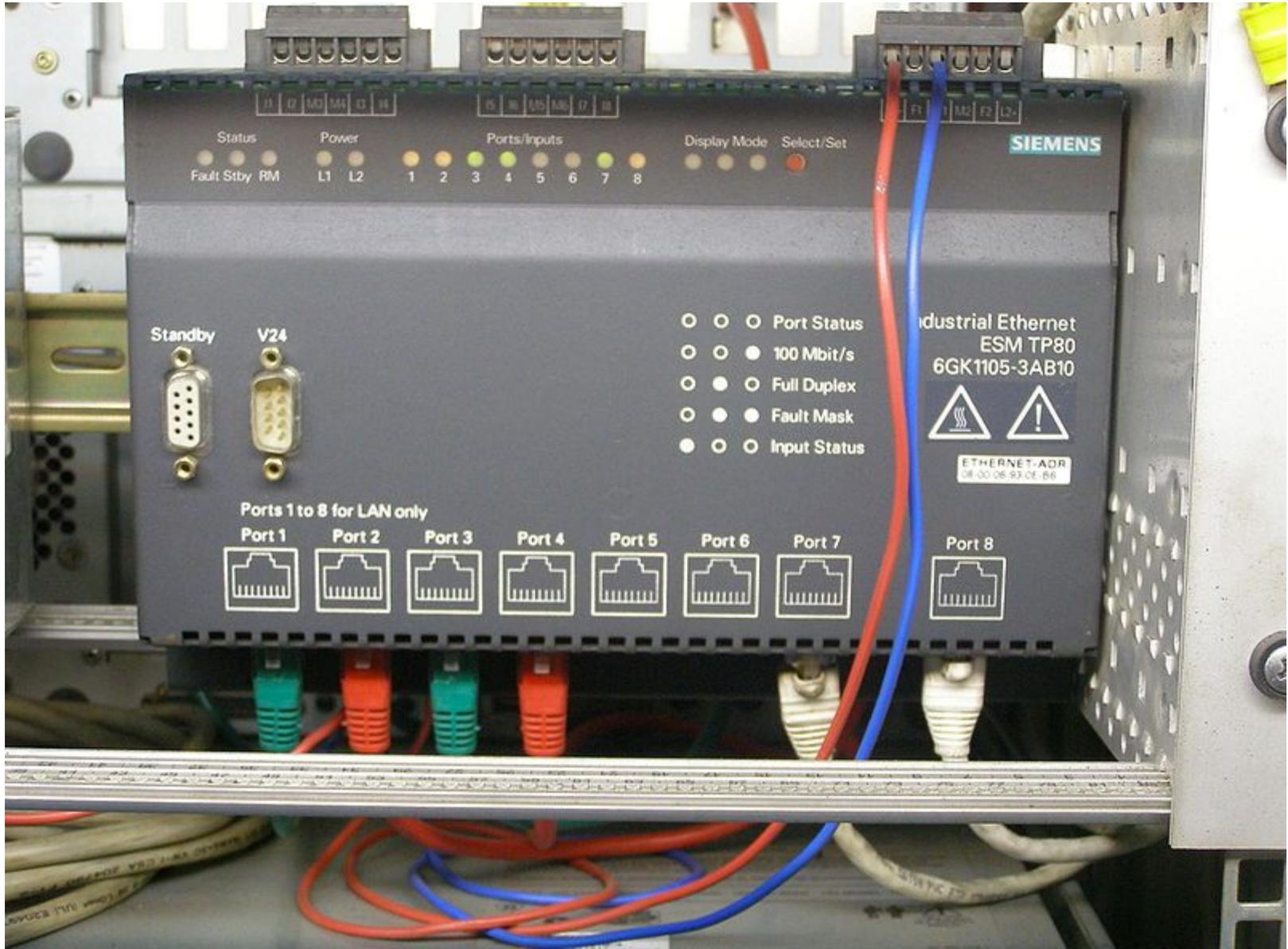
ОСОБЕННОСТИ АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ INDUSTRIAL ETHERNET

Коммутаторы, маршрутизаторы, медиа-конверторы.

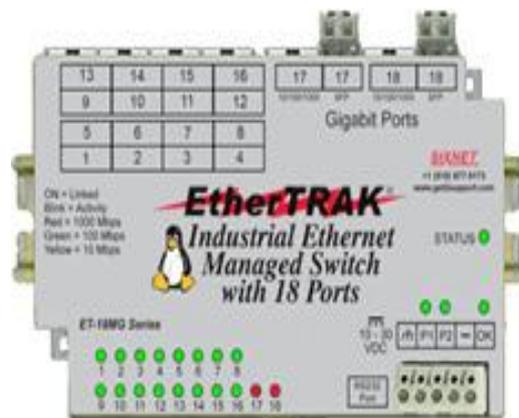
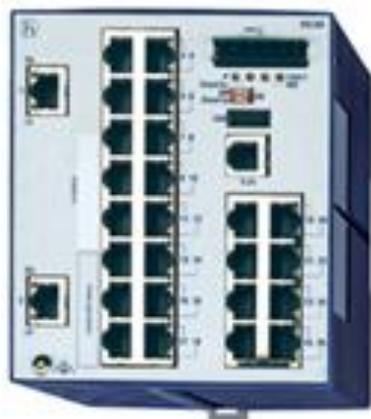
1. Отсутствие вентиляторов (работают в условиях запыленности);
2. Широкий температурный диапазон (- 40 + 70 о С);
3. Надежное крепление (на DIN-рейку), подключение проводов с помощью винтовых зажимов;
4. Низковольтные дублированные источники питания, работающие при значительных колебаниях напряжения в сети и при кратковременных отключениях питания.
5. Использование в оборудовании высокоскоростных технологий восстановления работоспособности (HIPER-Ring, eRSTP, Super-Ring и т. д.) которые многократно превосходят по скорости офисный Spanning-Tree (STP) и RSTP.
6. Industrial Ethernet оборудование обязательно должно пройти тесты на электромагнитную совместимость (EMC) согласно требованиям IEC 61000-4, IEEE C37.90. Тесты на вибрацию IEC 60255-21 и защиту от попадания влаги или посторонних частиц IEC 60529, NEMA 6 (IP67) и т.д.
7. Увеличенный жизненный цикл (10 – 15 лет).

Siemens ESM TP80 (6GK1105-3AB10) — 8-портовый (RJ45) концентратор для технологии

Industrial Ethernet



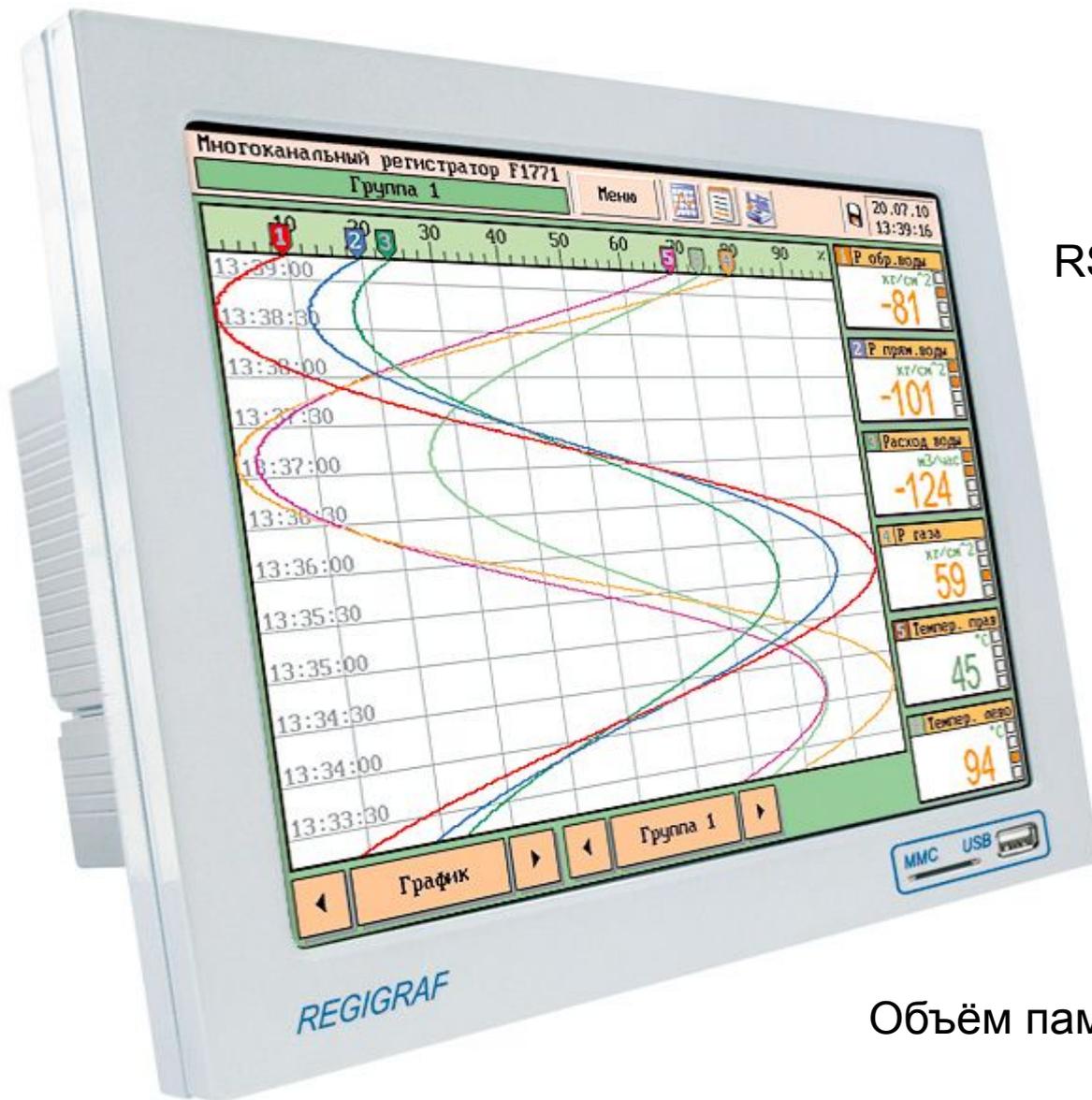
ПРИМЕРЫ АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ INDUSTRIAL ETHERNET



Самописцы электронные Fuji Electric (Япония) серии PNU



Многоканальный электронный регистратор (самописец) с сенсорным управлением REGIGRAF (Ф1771-АД)



4/8/16 каналов.

RS-485, RS-232, Ethernet. IP 20.

Объём памяти до 10 млн. измерений.

Место ПАЗ в АСУ ТП



ПЛАС - Правила Локализации Аварийных Ситуаций

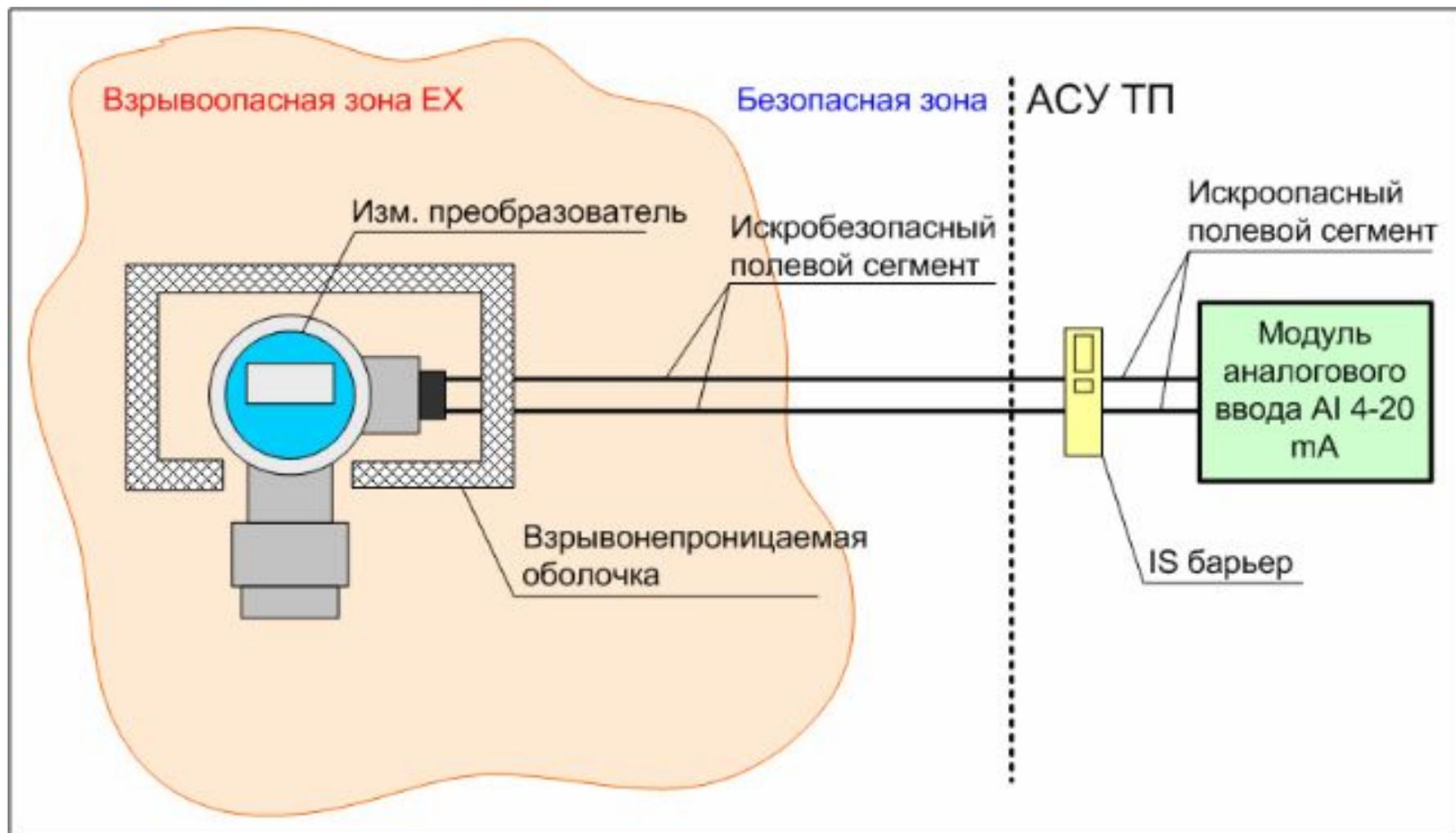
ФАКТОРЫ, КОТОРЫЕ НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПАЗ

- 1. Категория взрывоопасности производства.
- 2. Последствия от «опасных» отказов ПАЗ (система не сработала в момент наступления опасного события)
- 3. Последствия от «безопасных» отказов ПАЗ (система ложно сработала и остановила производство при отсутствии опасного события)
- 4. Влияние «человеческого фактора» на производственный процесс.
- 5. Статистика по структуре отказов технических средств автоматизации :
 - Датчик 35 %
 - Контроллер 10 %
 - Исполнительный механизм 55 %

Резервированный контроллер Simatic S7-400H



ВЗРЫВОЗАЩИТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ АСУ ТП



<https://youtu.be/D3HYlrJHnQ8> Автоматизация котла

<https://youtu.be/hhttps://youtu.be/naGhttps://youtu.be/naG0Tlxbsqs>

Ручной розжиг котла

<https://youtu.be/7https://youtu.be/7qSlkbhttps://youtu.be/7qSlkb8>

[VojM](https://youtu.be/VojM) Автоматизация котла ДКВР

<https://youtu.be/-jQgChq-oG8> Переработка электрон. отходов