



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Отраслевой центр компетенций  
«ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ»

# Контроль параметров при протекании теплофизических процессов

Занятие 3

**ШКОЛА ПРОЕКТИРОВЩИКОВ**

**Филиппов А.А.**  
Ведущий инженер-проектировщик  
АО «Атомэнергопроект» — СПбАЭП

Составил: **Селезнев Н.А.**  
Ведущий специалист  
АО АСЭ Венгерский филиал

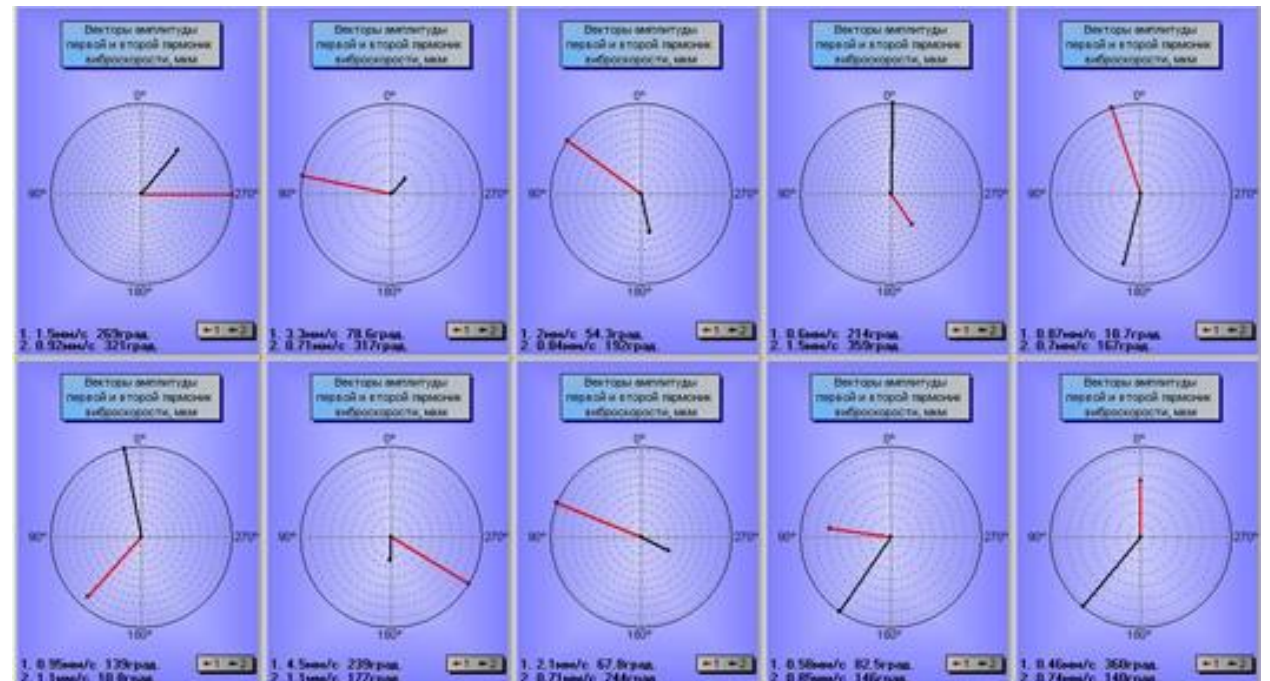
# Средства измерений



Протекающие на АЭС технологические процессы характеризуются многими параметрами

Основная функция систем и средств измерения:

- контроль параметров
- управление процессами



# Средства измерений



Основные параметры, контролируемые в тепломеханических системах:

- температура (рабочей среды или оборудования)
- расход рабочей среды (объемный или массовый)
- давление рабочей среды
- уровень рабочей среды (в емкости или помещении)
- крайне редко – электрические параметры (ток, напряжение)

Также есть ряд параметров, измерение которых более характерно для энергетических объектов и АЭС в частности:

- концентрация бора в рабочей среде
- активность (объемная или массовая) рабочей среды

# Средства измерений



Средства измерения представлены измерительными контурами, состоящими в общем случае из:

- датчика-первичного преобразователя, предназначенного для трансформации физической величины в электрический сигнал
- промежуточных преобразователей, основная задача которых привести измеренный электрический сигнал в унифицированный вид (значение в диапазоне 4 – 20 мА)

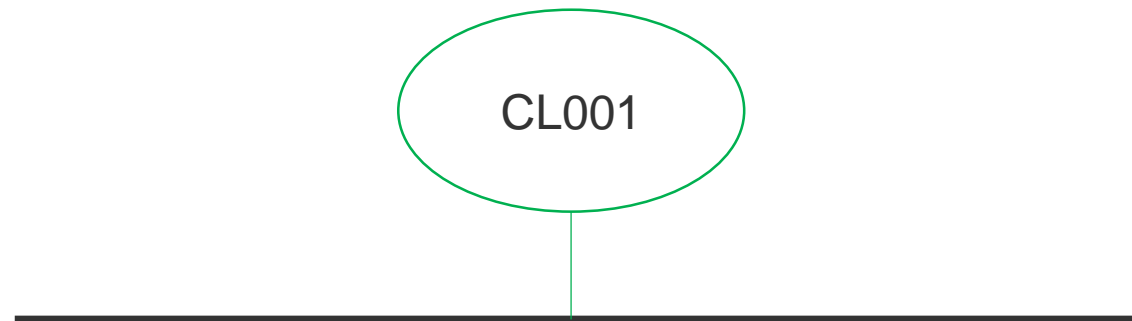


# Средства измерений



На технологических схемах датчики отображаются тонкими линиями, иногда зеленого цвета в виде овала. Внутри датчика размещается его KKS код, отображающий измеряемый параметр и принадлежность к системе

На технологических схемах отображается первичный преобразователь, который принято называть точкой контроля



# Виды датчиков АЭС

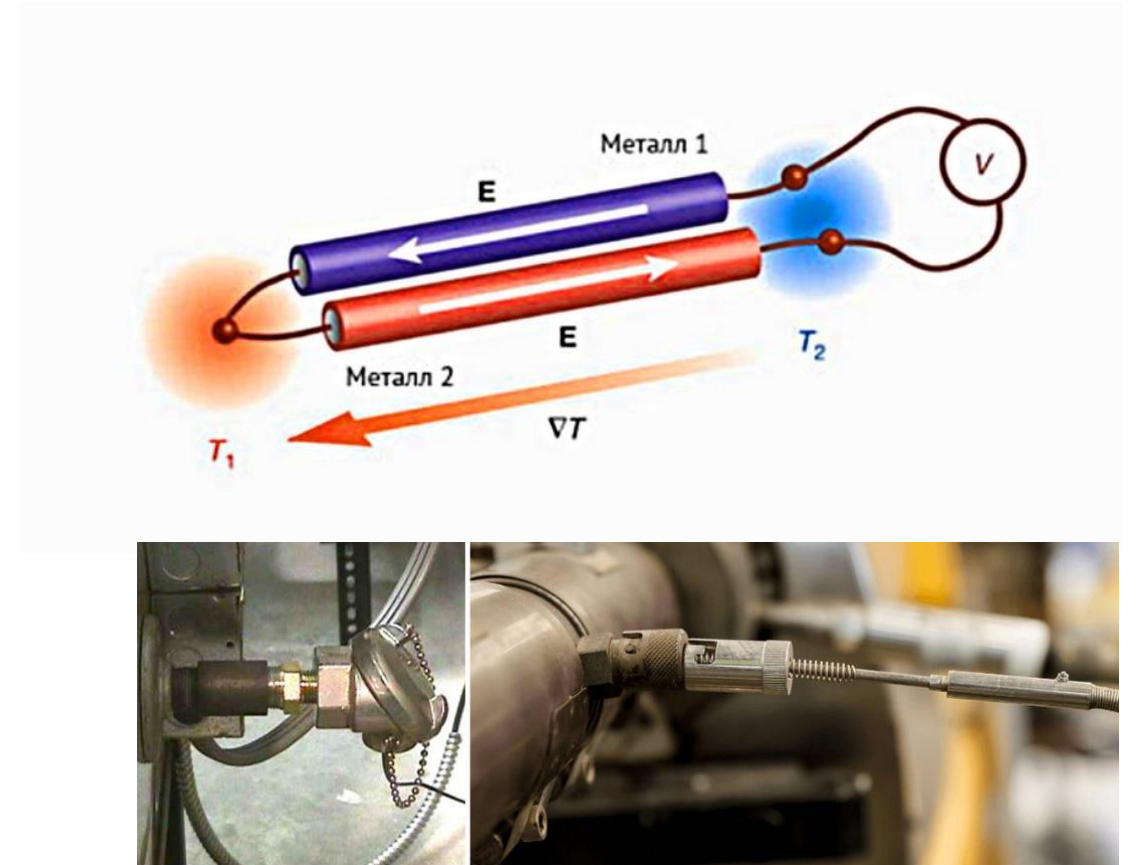


АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

## Датчики температуры

В качестве датчиков температуры обычно выступают термопары

При измерении температуры твердых веществ, например, обмотки электродвигателя или подшипников насоса, термопара устанавливается непосредственно на поверхность элемента, температура которого измеряется



# Виды датчиков АЭС

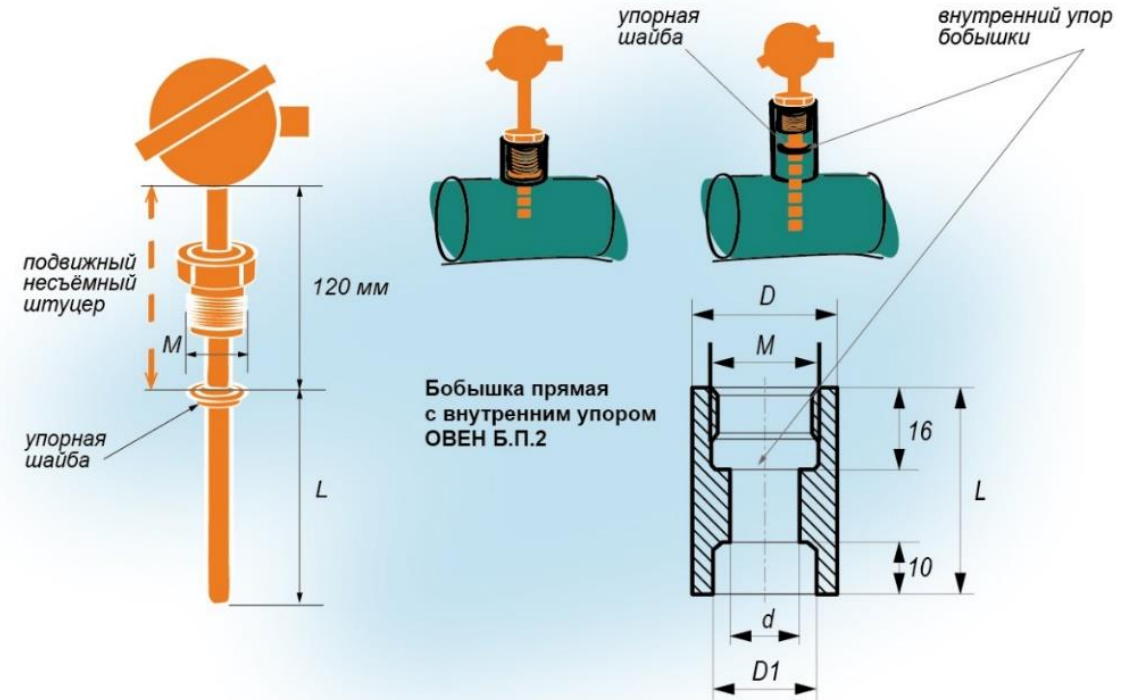


При измерении температуры жидких и газообразных веществ (рабочих сред), термopара устанавливается в защитном кожухе внутри трубопровода через бобышку

Датчики температуры описываются стандартными параметрами:

- диапазон измерений
- рабочий диапазон
- точность измерений

Обозначение по KKS: 'CT', от Temperature



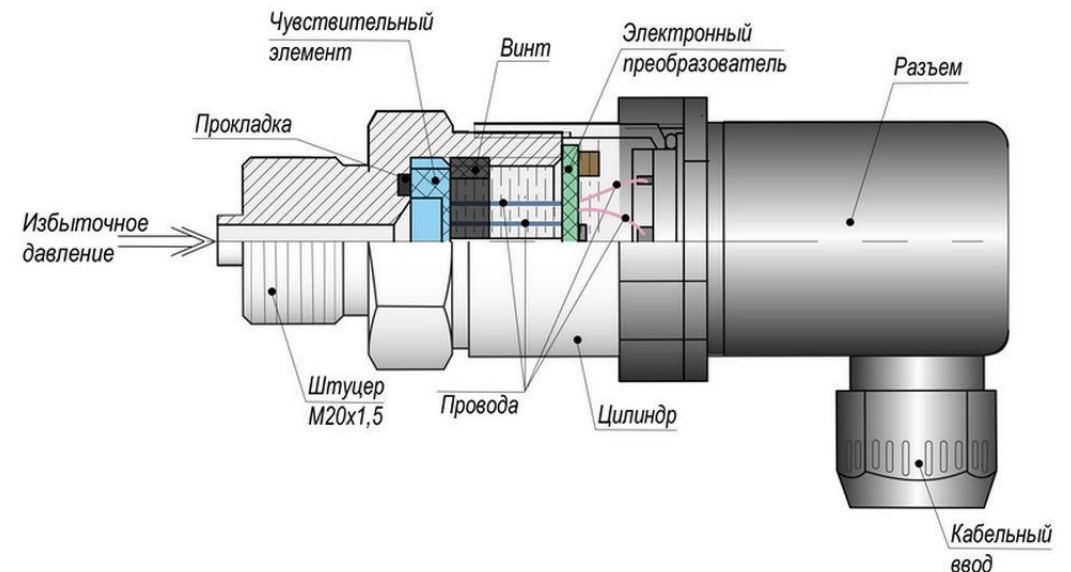
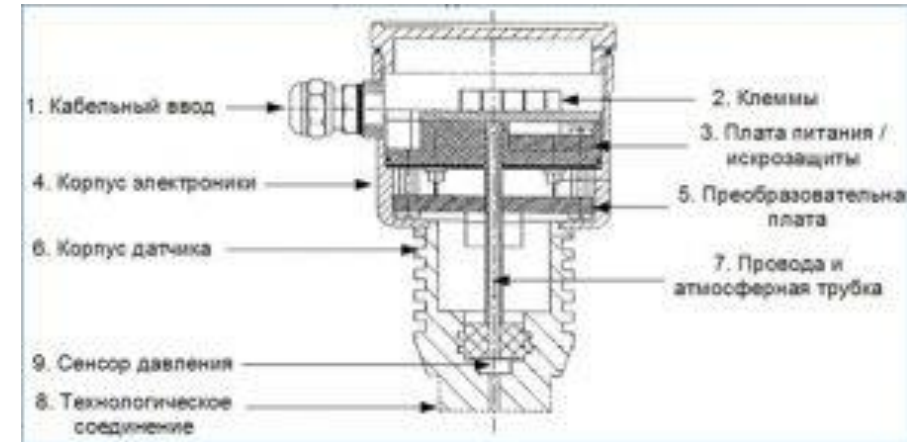
# Виды датчиков АЭС



## Датчики давления

Датчики давления (манометры) предназначены для измерения давления рабочей среды, в том числе:

- абсолютного давления
- избыточного давления
- вакуумметрического давления



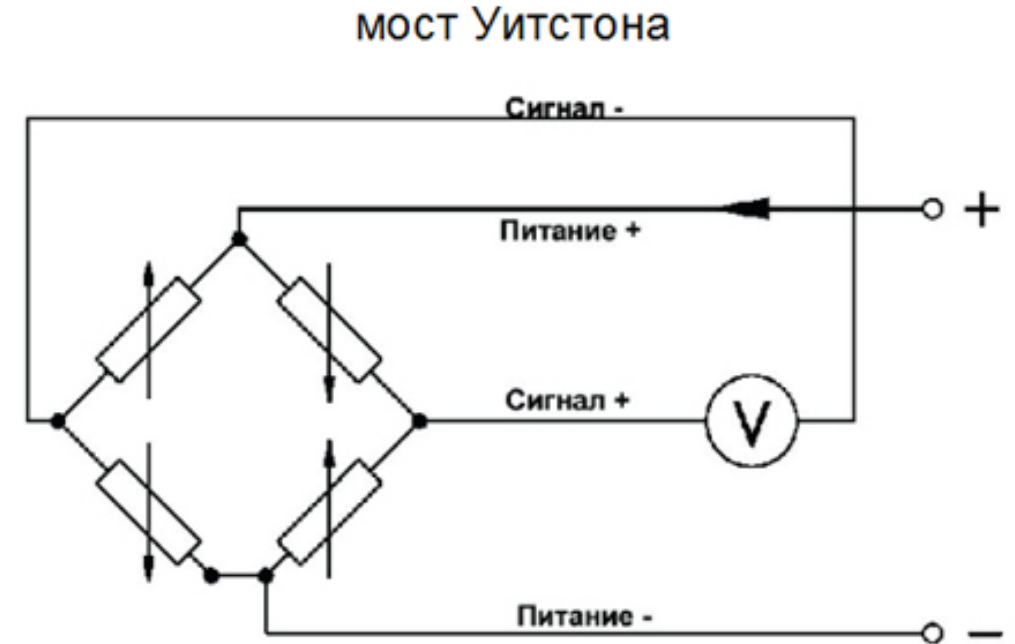


# Виды датчиков АЭС



Самым распространенным методом преобразования давления в ток является тензорезистивный

Данный метод основан на явлении тензоэффекта в металлах и полупроводниках. Тензорезисторы соединенные в мостовую схему (мост Уитстона) под действием давления изменяют свое сопротивление, что приводит к разбалансу моста. Разбаланс прямо пропорционально зависит от степени деформации резисторов и, следовательно, от приложенного давления



# Виды датчиков АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Существуют датчики перепада давления или дифференциальные манометры. Наиболее часто они применяются для контроля гидравлических потерь на теплообменном оборудовании

Датчики давления описываются стандартными параметрами:

- диапазон измерений
- рабочий диапазон
- точность измерений

Обозначение по KKS: 'CP', от Pressure



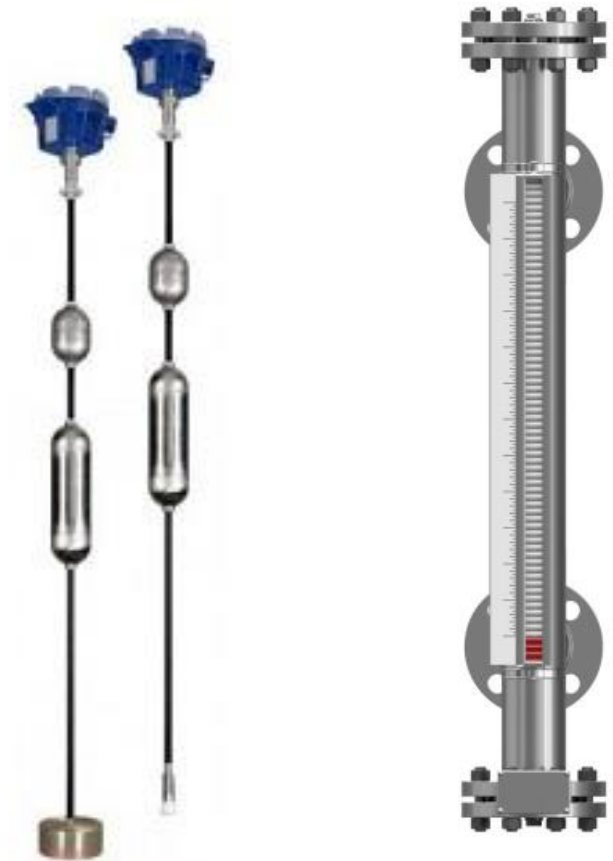
# Виды датчиков АЭС



## Датчики уровня

Датчики уровня (уровнемеры) имеют два основных применения

- определение уровня (высоты зеркала) рабочей среды в емкостном оборудовании – баках, теплообменниках
- определение факта наличия жидкой среды в трубопроводах (редко – в оборудовании), например, для контроля протечек через закрытые арматуры



# Виды датчиков АЭС



Датчики уровня описываются стандартными параметрами:

- диапазон измерений
- рабочий диапазон
- точность измерений

Датчики наличия среды в трубопроводах формируют бинарный сигнал: «0» при отсутствии среды (сухотруб) и «1» при наличии

Для таких датчиков важное значение имеет место установки, которое определяется геометрией (компоновкой) оборудования и трубопроводов, а также глубиной размещения чувствительного элемента в трубопроводе

Обозначение по KKS: 'CL', от Level

# Виды датчиков АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

## Датчики расхода

Датчики расхода предназначены для определения массового или объемного расхода рабочей среды в трубопроводах системы

Так как расход является сложной величиной, которую невозможно измерить непосредственно, принципы работы расходомеров основаны на физических свойствах жидкостей и газов

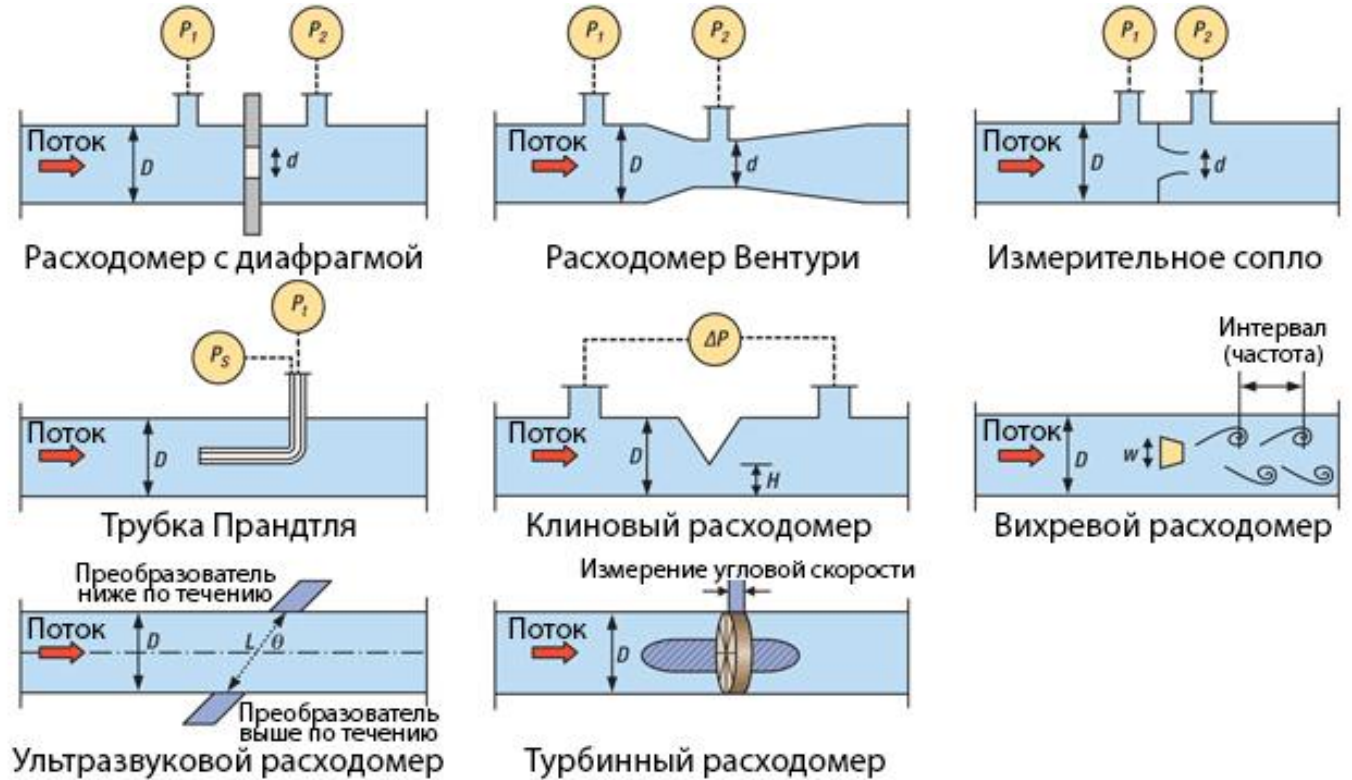


# Виды датчиков АЭС



Основные способы измерения расхода представлены на рисунке справа

Наиболее часто на АЭС используются расходомеры с диафрагмой (расчет по перепаду давления на диафрагме) и ультразвуковые (реже) расходомеры



# Виды датчиков АЭС



Датчики уровня описываются стандартными параметрами:

- диапазон измерений
- рабочий диапазон
- точность измерений

Важной характеристикой датчиков расхода с диафрагмой являются параметры (толщина, диаметр внутреннего отверстия) и количество используемых дроссельных шайб, а также создаваемое ими гидравлическое сопротивление на номинальных режимах работы

Обозначение по KKS: 'CF', от Flowrate

# Виды датчиков АЭС



## Датчики концентрации бора

Концентратомеры предназначены для определения концентрации (массовой доли в г/кг, иногда – объемной доли) поглощающего изотопа бора В-10 в рабочих средах АЭС

В концентратомерах использован метод нейтронной абсорбциометрии, основанный на поглощении тепловых нейтронов ядрами изотопа В-10 в водном растворе борной кислоты





# Виды датчиков АЭС



Количество регистрируемых блоком детектирования нейтронов зависит от концентрации изотопа бор-10 в измерительном объёме; выходной сигнал – скорость счёта импульсов от регистрируемых нейтронов - определяется массовой долей изотопа бор-10 в растворе

Датчики уровня описываются стандартными параметрами

В зависимости от места измерения различают следующие основные типы датчиков:

- навесные (на трубопроводы)
- погружные (в емкостях) и погружные для линий отбора проб

Обозначение по KKS: 'CQ', где Q соответствует Quality (Концентрация рассматривается как показатель качества водно-химического режима).



## Датчики активности

Датчики активности предназначены для измерения объемной или массовой активности рабочей среды (Бк/кг или Бк/л). В качестве средств измерения активности используются сложные измерительные комплексы, которые байпасом врезаются в технологические системы

Среда отбирается из основного трубопровода и проходя через измерительный комплекс, зачастую содержащий арматуру, теплообменники для подготовки и управления отбираемой среды, возвращается обратно в основной поток

Обозначение по KKS: 'CR', от radioactivity

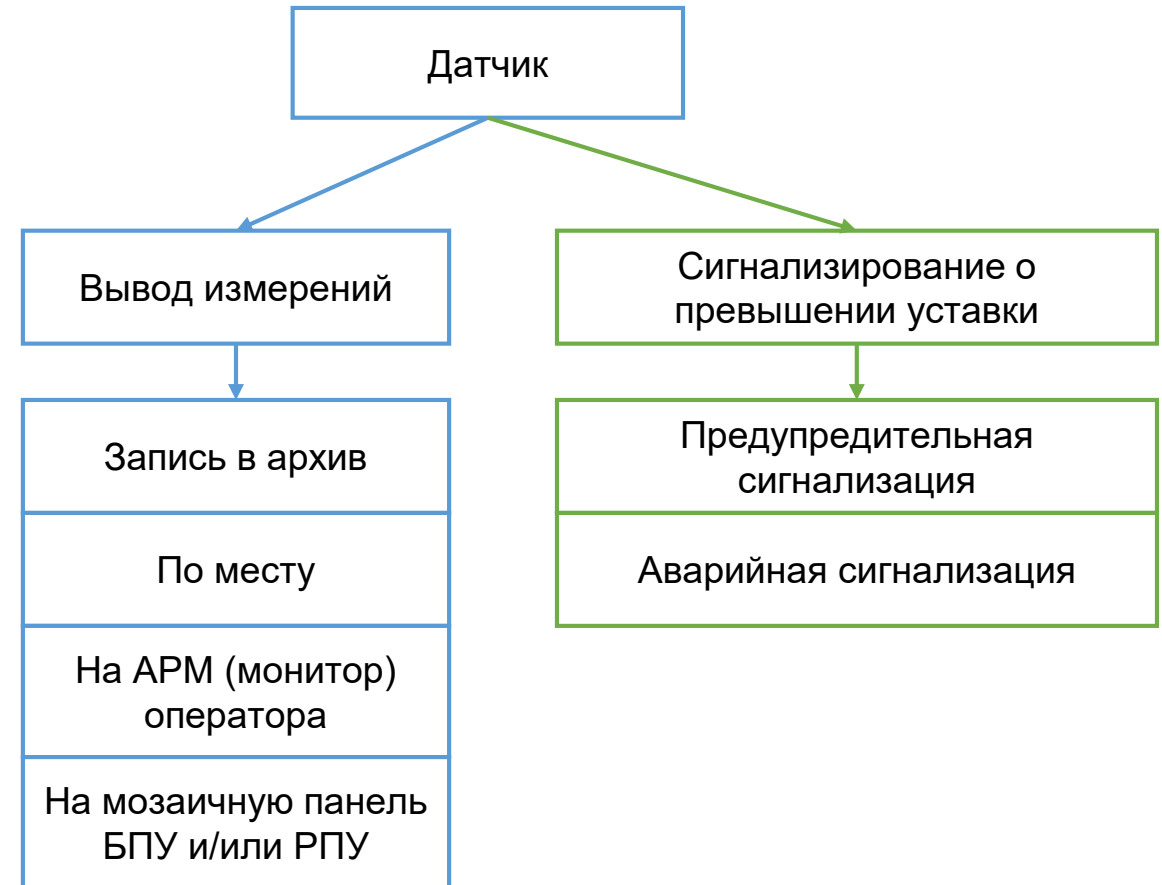
# Сигнализации и вывод измерений



Для каждого датчика при проектировании системы определяется два параметра:

- место вывода измерений
- тип сигнализации (при ее наличии)

Выбор данных параметров зависит от множества факторов, важнейшими из которых будет влияние данного измерения на безопасность АЭС, а также на процесс выработки электроэнергии



# Сигнализации и вывод измерений

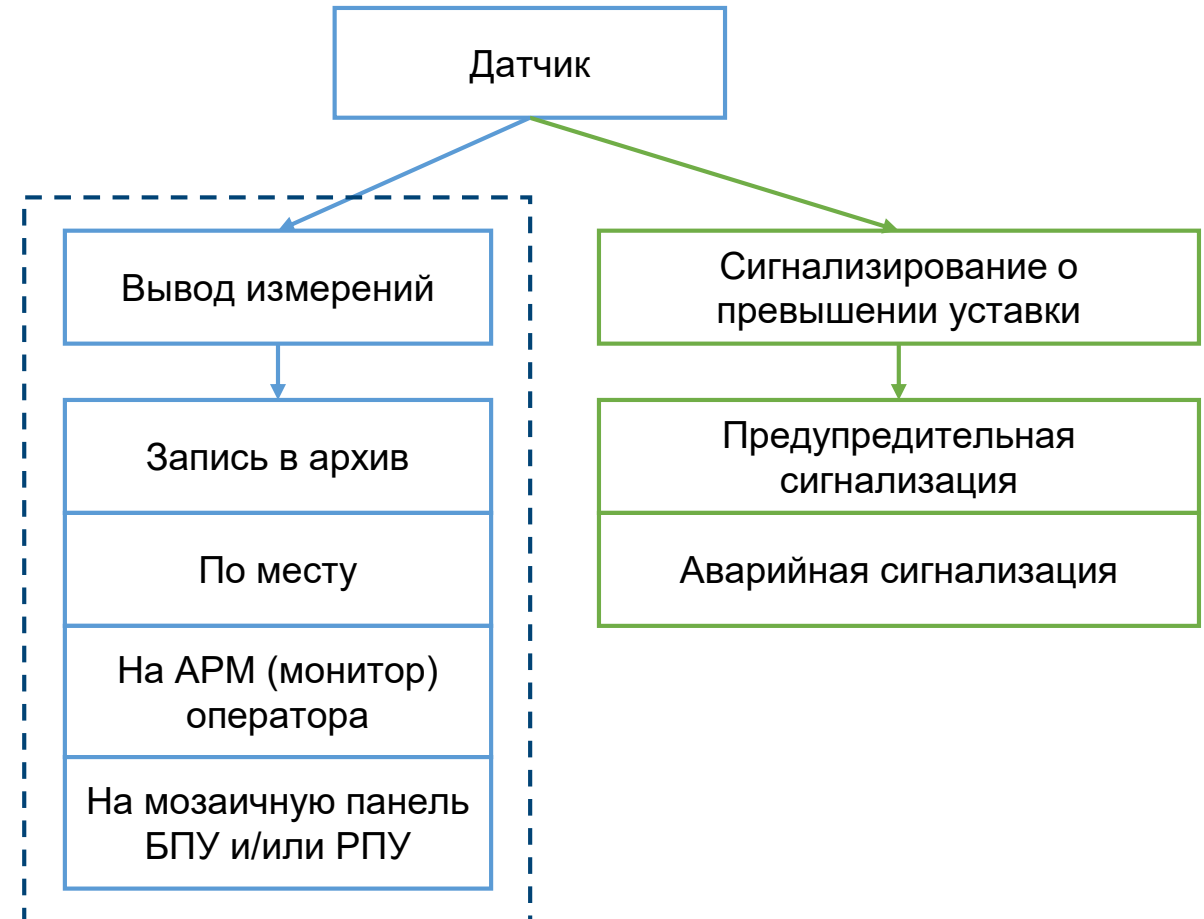


Вывод информации по месту (то есть там, где установлен датчик) более характерен для традиционной энергетики и на АЭС сохранился для ряда систем турбинного острова

Основные показания, характеризующие технологический процесс выработки энергии и функционирование основных систем, выводятся на АРМ оператора на БПУ

Все показания, влияющие на безопасность АЭС, имеют дублирование показаний на панелях БПУ и/или РПУ на случай отказа АРМ

Обычно все датчики имеют функции записи в архив своих измерений



# Сигнализации и вывод измерений



Сигнализации предназначены для контроля и управления отклонениями параметров от номинальных значений

Разделяют предупредительную (warning) и аварийную (alarm) сигнализации

Предупредительная сообщает об отклонении от допустимых значений при эксплуатации – эксплуатационных пределов

Аварийная сигнализация сообщает о более значительных отклонениях, близких к нарушению установленных пределов безопасной эксплуатации

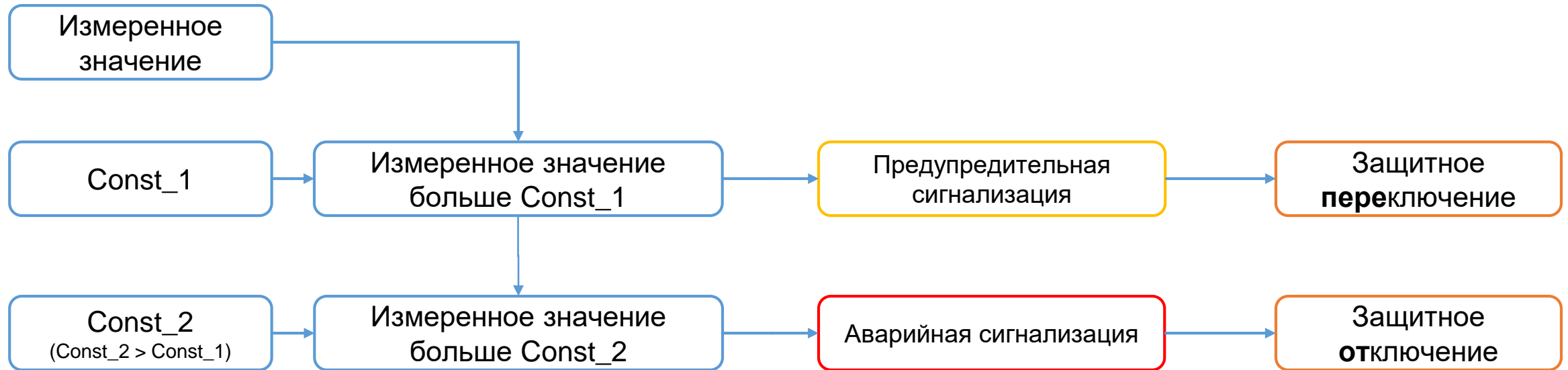
Помимо сигнализации, превышение уставки может приводить к инициации переключений



# Сигнализации и вывод измерений



Типичный алгоритм формирования сигнализаций (по принципу превышения заданной величины)



# Сигнализации и вывод измерений

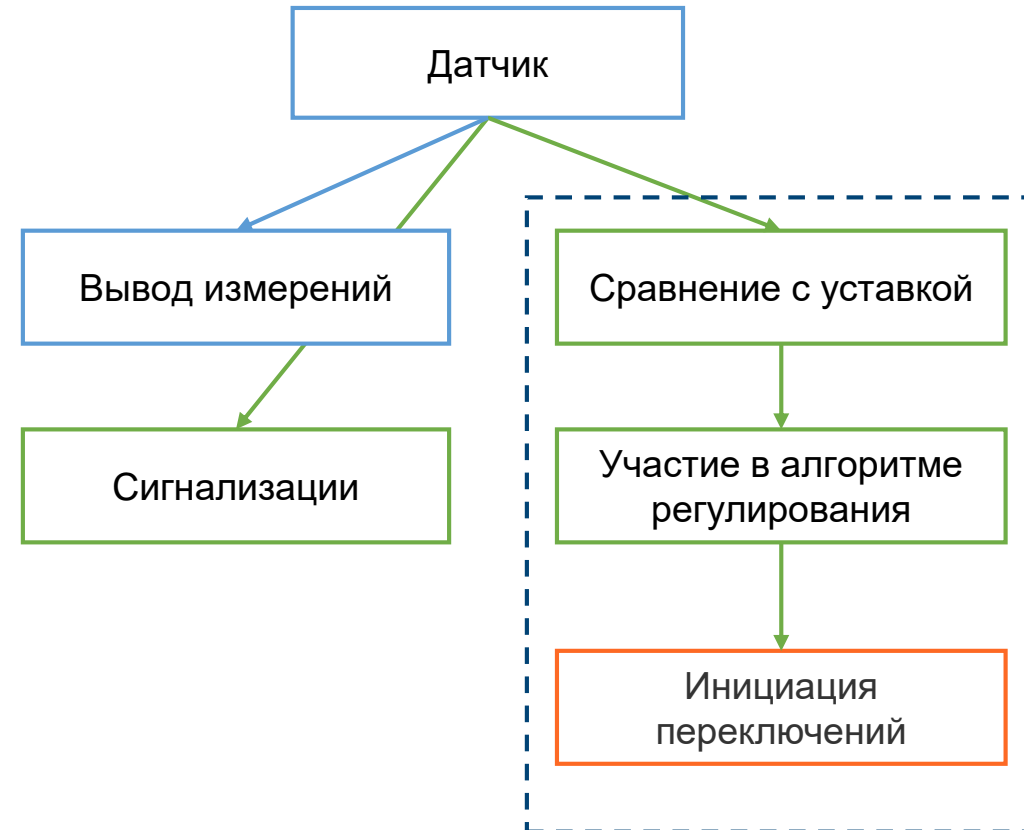


Помимо одиночных защитных переключений (дискретных), датчики могут участвовать в системах автоматического регулирования

С точки зрения формирования уставок в общем случае разницы не будет

Регулирование обычно выполняется по уставкам, лежащим в области эксплуатационных пределов, реже – на границах этой области

Простейшее регулирование приведено на следующих слайдах



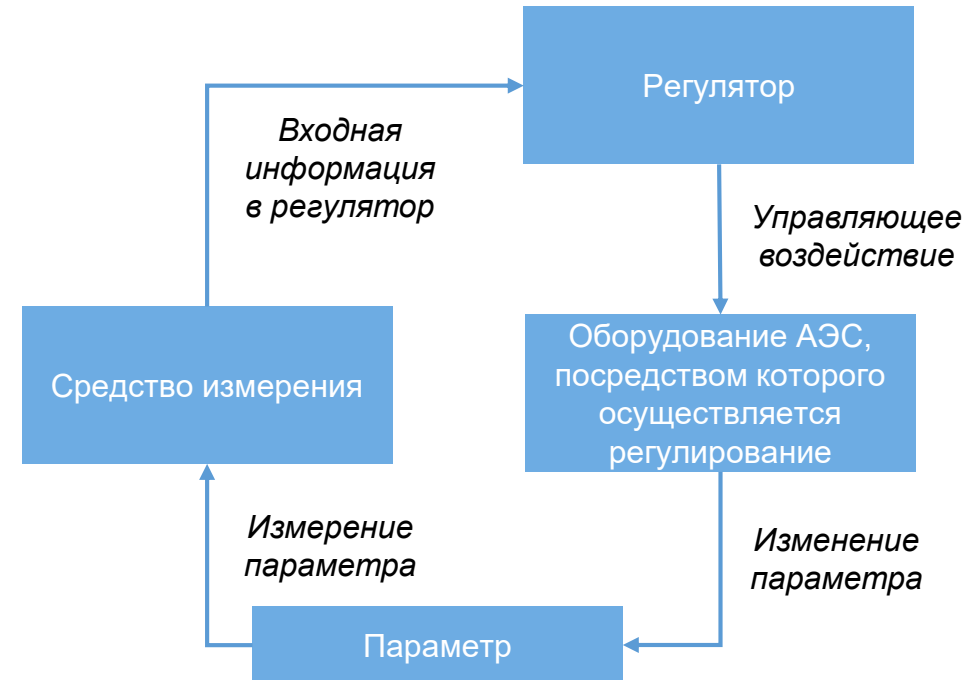
# Принцип регулирования параметров технологических процессов



Простейший процесс регулирования параметров при протекании технологических процессов изображен на схеме

Оборудованием, посредством которого осуществляется регулирование, может быть, например, регулирующая арматура

Регулятором в данном случае выступает программная часть АСУ ТП блока или локальной АСУ ТП, содержащая алгоритм регулирования





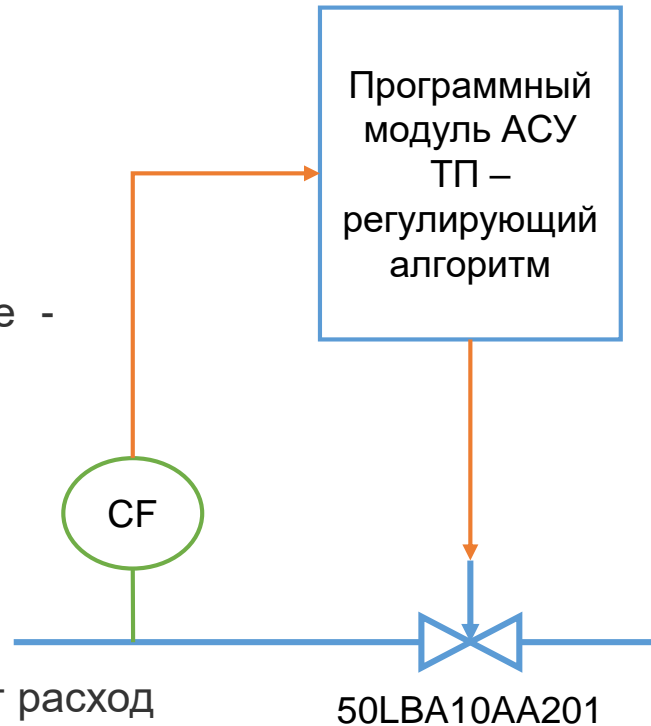
# Принцип регулирования параметров технологических процессов



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

В качестве примера:

2. На вход АСУ ТП подается измеренный расход в трубопроводе - 32 кг/с



1. Датчик CF измеряет расход рабочей среды в трубопроводе, полученное значение – 32 кг/с

3. В программном модуле проводится сравнение полученного входного значения (32 кг/с) с заданной константой (40 кг/с), при отклонении более допустимого предела, модуль формирует выходной сигнал на регулируемую арматуру. В данном примере – на открытие

4. Регулирующий клапан получает сигнал на открытие из АСУ ТП. Данный сигнал может быть дискретного характера (открыть на 2%), либо вида «открывать до получения иного сигнала»

5. За счет открытия клапана расход в трубе увеличивается. Датчик измеряет новое значение, которое по шагам 1-2-3-4 формирует новое управляющее воздействие

# Вопросы для повторения материала



- Перечислите основные теплотехнические измерения на АЭС
- Какие места вывода показаний датчиков существуют на АЭС?
- Какие виды сигнализации существуют на АЭС? Чем они отличаются?
- Что такое уставка? Для чего они используются?
- Опишите логику работы контура автоматического регулирования

# Спасибо за внимание

**Филиппов А.А.**

Ведущий инженер-проектировщик  
АО «Атомэнергопроект» — СПБАЭП

**Санкт-Петербург, Россия – Пакш, Венгрия**

