



**B3MET**

The image features a 3D, metallic-style logo for 'B3MET' centered on a dark blue background. The letters are rendered in a bold, sans-serif font with a gradient from dark grey to light grey, giving them a three-dimensional appearance. A large, dark blue circular swoosh or ring partially encircles the text, starting from the top left and curving around the right side. The overall aesthetic is modern and industrial.

# **Электромагнитный метод: ретроспектива и тенденции развития.**



- 1. Этапы развития электромагнитного метода измерения расхода жидкостей в России и мире.  
Насколько ЭМ - метод «молодой» по сравнению с альтернативными методами измерения расхода?**
- 2. Современный уровень ЭМ-расходомеров для учета энергоресурсов и для технологических процессов в промышленности.**
- 3. Почему в России для учета тепла применяются ЭМР, а на Западе – УЗР ?**
- 4. Основные тенденции развития ЭМ-расходомеров.  
Главные проблемы и пути их решения.**



# Небольшой экскурс в историю расходомерии.

# Хронология

методов измерения расхода жидкостей.



## 1. Электромагнитный метод:

- 1831 г. - закон Фарадея,
- ок.1850 г. – измерение расхода р. Темза,
- конец 20-х г.г., Германия, KROHNE (1 в мире расходомер),
- 1952 г. Кроне, FOXBORO (первые серийные),
- 1954 первый коммерческий ЭМР (FOXBORO),
- 1954 г. ИПУ РАН СССР (первый советский).

## 2. Альтернативные методы:

- тахометрический (счетчик Вольтмана/Сименса) - 1865 г.
- переменного перепада (диафрагмы, сопла): конец 20-х г.г.  
Германия, конец 20-х г.г. – Германия.
- ультразвук ( 50-е г., Англия, нач.60-х - серийные приборы).
- вихревой (США, Япония, СССР нач. 60-х г.)

# Как ЭМР работает.



## 1. О полезном сигнале:

Основа – закон э.-м. индукции (закон Фарадея 1831 г.):

$$|\mathcal{E}| = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| \quad \Phi_B = \iint_{\Sigma(t)} \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{A} ,$$

$$\mathbf{E} = [\mathbf{B} \times \mathbf{V} \times \mathbf{D}] ,$$

где:  $\mathbf{B}$  - вектор индукции магнитного поля, Тл;

$\mathbf{V}$  – вектор средней по сечению скорости потока, м/сек;

$\mathbf{D}$  – расстояние между электродами, м.

**Оценим величину полезного сигнала  $\mathbf{E}$  на электродах ЭМР с Ду 100:**

$B \approx 1$  мТл,  $V = 1$  м/сек,  $D = 0,1$  м.  $E_{\text{эл}} = 10^{-4} = 100 \dots 150$  мкВ/м\*сек.

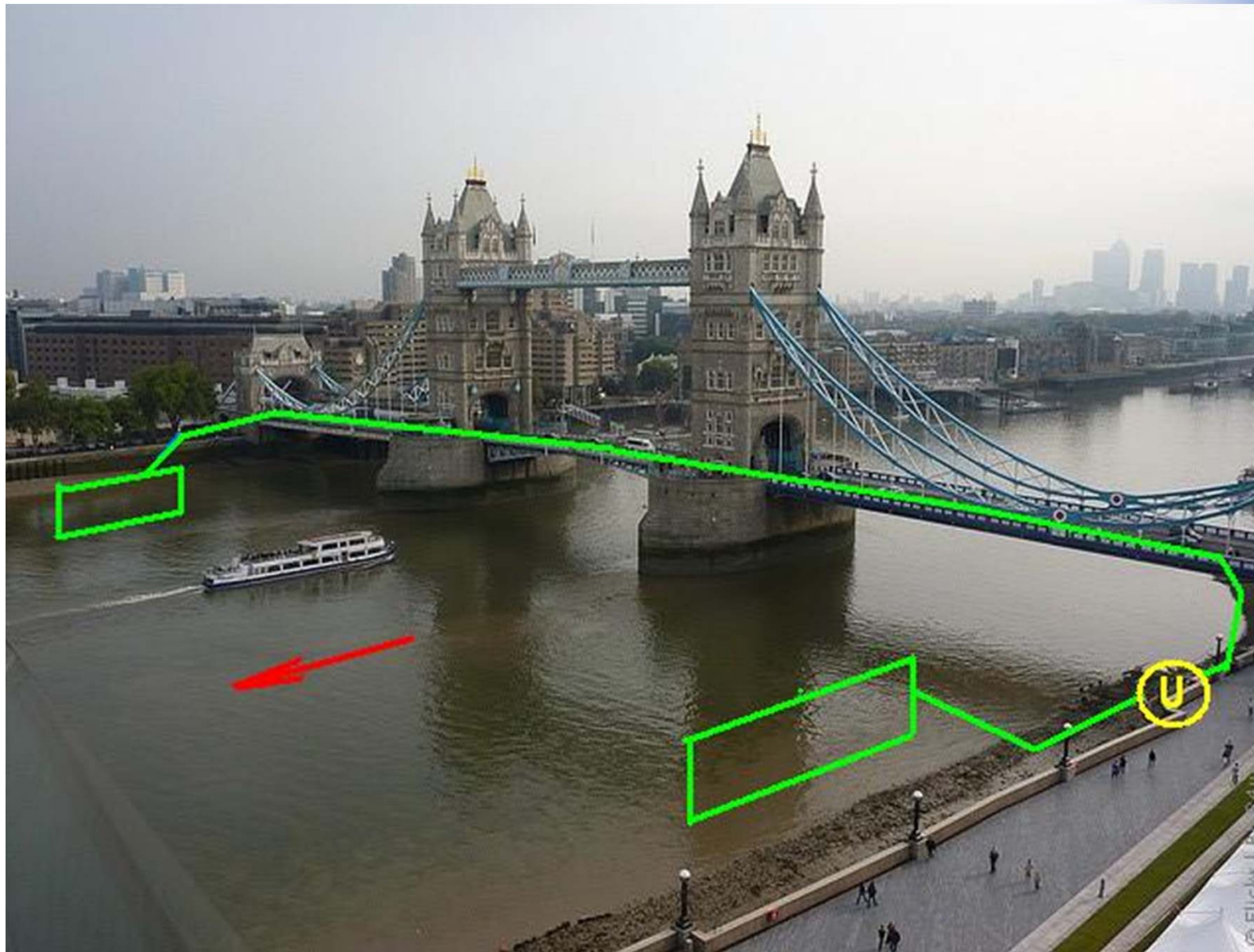
На нижней границе диапазона ЭРСВ-440  $E_{\text{эл}} = 5 \dots 6$  мкВ.

Сопротивление воды для Ду 300  $R_{\text{г}} \approx 20 \dots 100$  кОм, поэтому ток в цепи электродов ( $I=U/R$ )  $5 \cdot 10^{-11}$  А, а мощность сигнала  $P_{\text{эл}}$  составит доли фВт (1 фемтоВт =  $10^{-15}$  Вт)

**Вывод 1: Амплитуда полезного сигнала от единиц до сотен мкВ, при мощности ... (если здесь уместно это слово!)**

**Вопрос:** почему не удалось измерить расход в р. Темза э.-м. методом?

## Измерение расхода воды в р. Темза (около 1850 г.)



$V \approx 50$  мкТл  
 $M. \text{ скл.} = 11^\circ$   
 $Dy \approx 200$  м  
 $V \approx 1$  м/сек  
 $E_{\text{эл}} \approx 1 \dots 5$  мВ

# Развитие ЭМР, поколения.



## 1 поколение (50-е...90-е г.г.)

- магнитное поле – синус
- типичные представители: ИР-61 (Таллин), Индукция-51 (С.-Пб)  
P=270 Вт, 45 кг меди (Ду 400), приведенная погрешность во всем диапазоне расходов, поэтому нельзя применять в качестве счетчика, т.е. на коммерческом учете.

## 2 поколение (1987 г.)

- магнитное поле – прямоугольные импульсы, аналоговый
- типичный представитель MAGMASTER, KROHNE: отн. погрешность 2% в диапазоне расходов 50, P=25 Вт.

## 3 поколение (конец 90-х г.г.)

- магнитное поле – прямоугольные импульсы, микропроцессор, программная фильтрация сигнала, развитая автодиагностика, отн. погрешность до 0,15%, диапазон измерения до 1000, P от нескольких мкВт, устойчивость к влияющим факторам.

Пример: несколько десятков расходомеров «Взлет ТЭР» работают в электрическом поле с напряженностью свыше 20 000 А/м.



## Почему в России для учета тепла применяются ЭМР, а на Западе – УЗР ?



### Причина 1 (историческая).

#### **Запад:**

- в ЖКХ применялись «вертушки»;
- сетевая вода очень чистая;
- центральные системы теплоснабжения закрытые.

#### **Россия:**

- учет тепла практически отсутствовал;
- сетевая вода грязная, много воздуха;
- системы открытые с водоразбором.

#### **Следствие:**

На грязной воде с воздухом УЗР не работает, а для ЭМР условия идеальные.

### Причина 2 (техническая).

#### **Запад:**

- на смену «вертушкам» - УЗР с автономным питанием в обратке, бюджетные ЭМР (для ЖКХ) не выпускались.

#### **Россия:**

- бурный рост выпуска бюджетных моделей ЭМР в 90-е годы, быстрое насыщение рынка ЖКХ.



## Мировые тенденции развития ЭМ – метода измерения.



1. Имитационная поверка на месте эксплуатации без демонтажа расходомера с трубопровода.
2. Расходомер, не требующий поверки.
3. Расходомер с «честным» диапазоном измерения 1000 и более.
4. Возможен ли энергонезависимый расходомер. А нужен ли он?

**Вопрос:** почему ЭМР всегда калибруют и поверяют на проливных стендах?

# Проливная установка для калибровки и поверки ЭМР



# Почему ЭМР необходимо поверять на проливной установке.



## Первичная поверка:

- технологический разброс свойств и характеристик материалов конструкции и комплектующих изделий;
- стабилизация НСХ расходомера на начальном периоде эксплуатации.

## Периодическая поверка:

- смещение НСХ в процессе «старения» материала индуктора;
- изменение пространственного распределения магнитного потока;
- уменьшение переходного сопротивления цепей электродов и индуктора;
- влияние отложений, изменение геометрии канала.

## Плюсы проливного метода:

- универсальность (любая ПУ пригодна для всех типов ЭМР);
- максимально возможная точность калибровки;
- учитываются все факторы, влияющие на метрологию расходомера.

## Минусы проливного метода:

- значительные затраты на приобретение и эксплуатацию ПУ;
- необходимость демонтажа и транспортировки ЭМР на ближайшую ПУ.

# Имитационная поверочная установка «Поток Т»



## Заявленные характеристики:

- погрешность: 0,2 %;
- диапазон диаметров: от 25 до 3000 мм;
- обеспечивается поверка расходомеров следующих типов:  
РОСТ, СТЭМ, РЭМ, SKM, ТЭРМ, ИР, ТС, SA, VA, KM-5, ТЭМ



## Преобразователи магнитного поля установки «Поток Т».



Набор преобразователей магнитного поля для  
расходомеров с Ду от 25 до 800 мм

# Особенности имитационной поверочной установки «Поток».



## Достоинства:

- возможна поверка расходомера на узле;
- установка «Поток» дешевле ПУ;
- теоретически любые Ду с любым верхним пределом измерения расхода.

## Недостатки:

- необходим индивидуальный набор ПМП для каждого типа ЭМР;
- трудоемкая процедура определения «коэффициентов соответствия» для данного типа (сопоставительные испытания больших партий ЭМР каждого диаметра);
- для поверки необходим демонтаж расходомера;
- первичная поверка на проливной установке обязательна;
- при изменении конструкции первичного датчика ЭМР необходимы новые сопоставительные испытания;
- на практике – есть ограничения по диаметрам:  $50 < \text{Ду} < 250 \dots 300$  и по точности: погрешность установки  $0,3 \dots 0,5\%$  (заявлена  $0,2\%$ );
- затраты времени на поверку 1 прибора 20-40 мин;
- в поверке не участвует цепь электродов (обрыв цепи не обнаруживается).

## Перспективные методы поверки ЭМР:

- поверка на узле без демонтажа расходомера;
- неповеряемый расходомер (только первичная поверка).



### 1. Поверка без демонтажа:

В 90-е г.г. появились калибраторы ЭМР, например, AM-012 (Yokogawa)



**Назначение:** проверка и калибровка электронных блоков ЭМР методом воспроизведения сигнала первичного преобразователя расхода с заданной точностью (обычно 0,05...0,1%).  
В процессе проверки датчик не участвовал.

В середине 2000-х г.г. ряд фирм (E+H, KROHNE, ABB, Siemens) в развитие идеи калибратора предложили верификаторы (тестеры) ЭМР, которые проверяли также и датчик расхода. В период 2009-2012 г.г. тестеры были сертифицированы как имитационные поверочные установки.

В основе метода - очень простое предположение: в процессе эксплуатации геометрия датчика не меняется.



# Верификатор MAGFLO



Предназначен для поверки расходомеров серии SITRANS FM.

## Принцип действия тестера:

Тестер включается между первичным преобразователем и электронным блоком расходомера.



Поверка проходит в 3 этапа:

- проверка целостности цепей датчика, измерение переходных сопротивлений цепи питания магнитной системы и цепи электродов на корпус, измерение индуктивности и магнитного потока, поиск короткозамкнутых витков;
- подача тестового сигнала на вход электронного блока, измерение реакции и калибровка тракта при необходимости;
- сравнение измеренных параметров с эталонными значениями, записанными в память расходомера при первичной поверке.

Далее печатается протокол поверки.

## Неповеряемый расходомер.

Идея очень проста – межповерочный интервал равен сроку эксплуатации, требуется только первичная поверка при выпуске.

Реализация: на 1...2 года увеличить МПИ и сократить срок эксплуатации за счет уменьшения себестоимости и гарантированной возможности замены на новый прибор.



**О «честном» диапазоне расходов  
1000 и более.**

## Числа Re для расходомеров с Ду 10, 50 и 150 мм в диапазонах измерения 1000, 500 и 200.



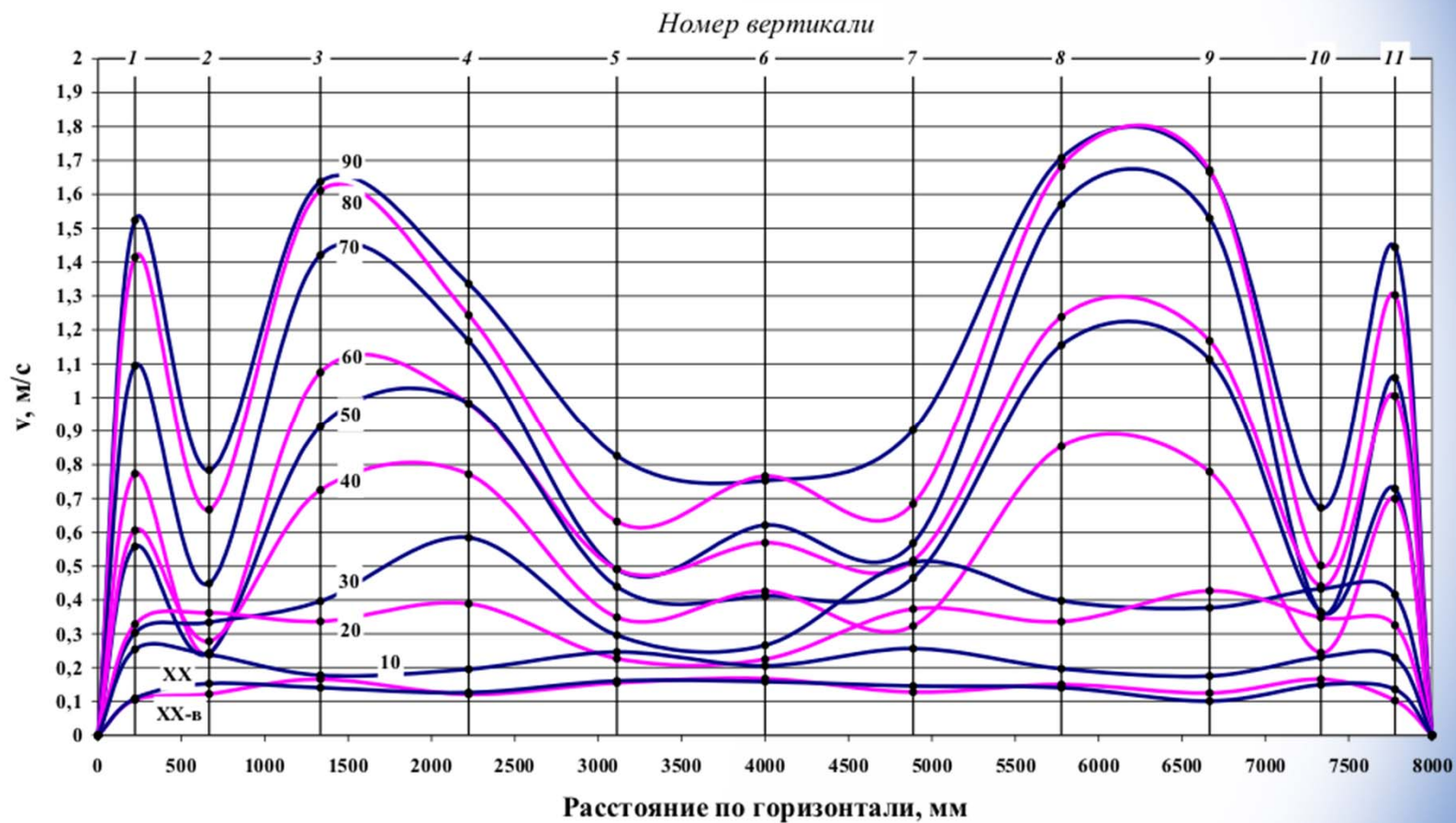
Ду, мм	Re при температуре											
	0 °С			20 °С			100 °С			150 °С		
	Диапазон расходов											
	1000	500	200	1000	500	200	1000	500	200	1000	500	200
10	57 143			121 951			370 370			526 316		
	57	114	286	122	244	610	370	741	1 852	526	1 053	2 632
50	285 714			609 756			1 851 852			2 631 579		
	286	571	1 429	610	1 220	3 049	1 852	3 704	9 259	2 632	5 263	13 158
150	857 143			1 829 268			5 555 556			7 894 737		
	857	1 714	4 286	1 829	3 659	9 146	5 556	11 111	27 778	7 895	15 789	39 474

Для расходомеров с верхним пределом измерения расхода,  
соответствующим скорости потока  $V_{\text{наиб}} = 10$  м/сек.  
Температура воды 0°, 20°, 100° и 150° °С, давление 0,5 МПа

В статье **«Диапазон 1000 ... так все таки он достижим?»**  
разбирается пример, когда возникает дополнительная погрешность  
из-за не зачищенного сварного шва на расстоянии 14 Ду от расходомера.

([www.vzljot.ru](http://www.vzljot.ru) /КОМПАНИЯ/ПУБЛИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ/стр.3)

# Пример реальных эюр скоростей. (Прямые измерения на водоводе ГЭС)



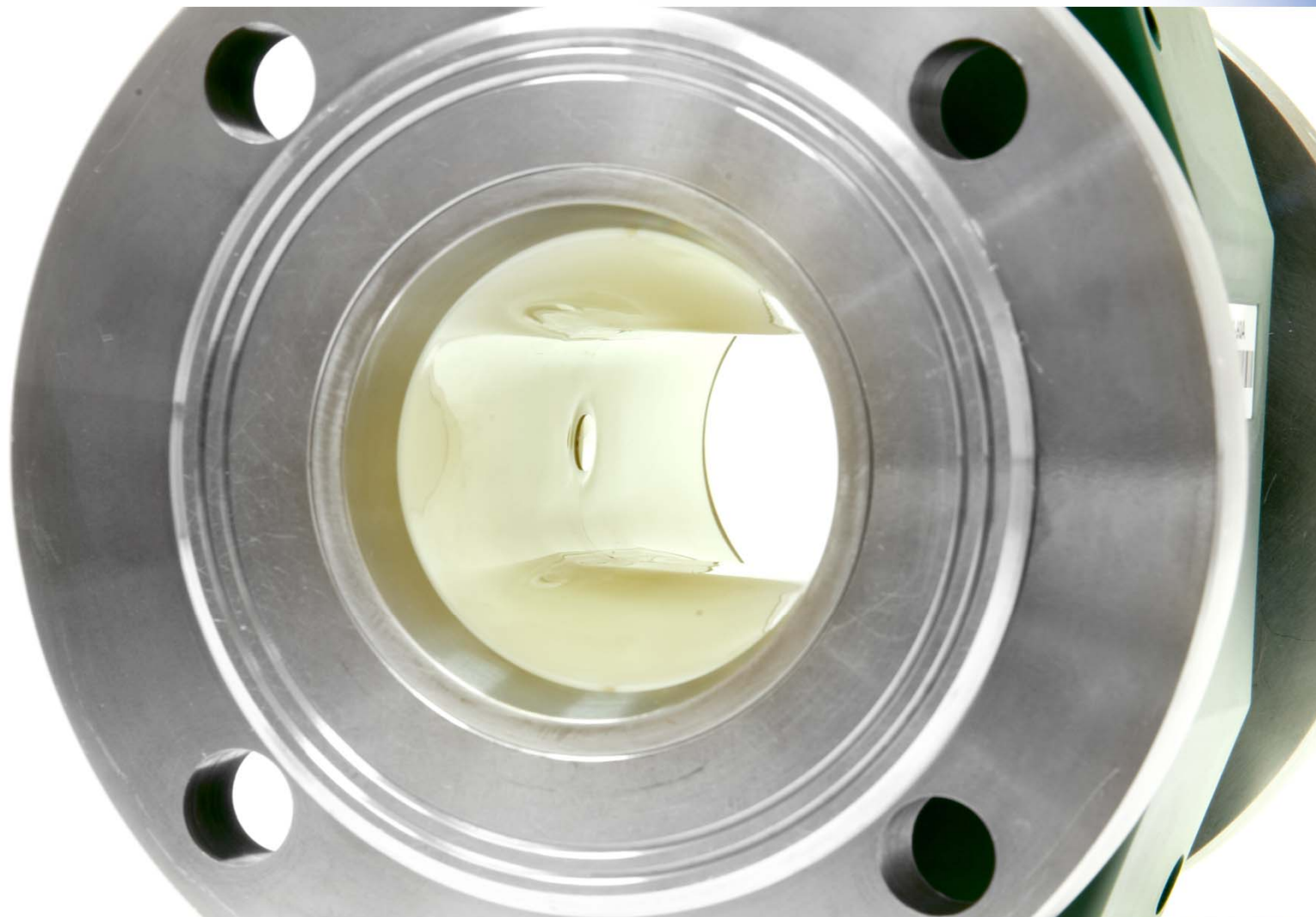
Агрегат №5. Эюры скоростей.  
Правый водовод. Горизонталь 9.

# Расходомер ПИТЕРФЛОУ тип РС80-90А





# Проточная часть серии L











**Возможен ли энергонезависимый расходомер.  
А нужен ли он?**

# Энергонезависимый ЭМР



**waterflux 2070**



## Раздел РАЗНОЕ:

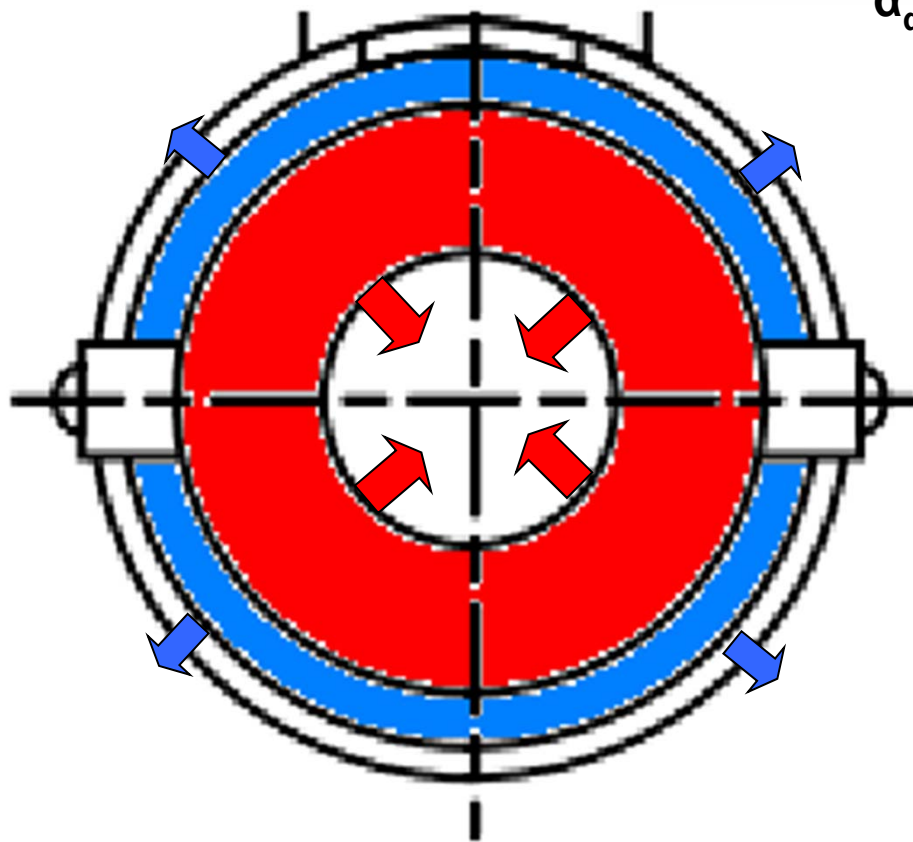
- о температурной погрешности расходомеров;
- влияют ли отложения на точность?

# К вопросу о температурной зависимости ЭМР



$$\alpha_{\text{сталь}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{\text{ф4}} = (8 \dots 10) \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$







**Спасибо за внимание!**



