

# ИЗМЕРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (часть 1)

Доцент кафедры АТПП  
Прахова М.Ю.

# ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ

Механическое бурение

- □ **осевая нагрузка на долото;**
- число оборотов и частота вращения долота;
- **крутящий момент на роторе;**
- скорость подачи бурового инструмента (средняя скорость проходки);
- **расход и давление промывочной жидкости**

Спуско-подъемные операции

- подача (положение) и скорость перемещения талевого блока

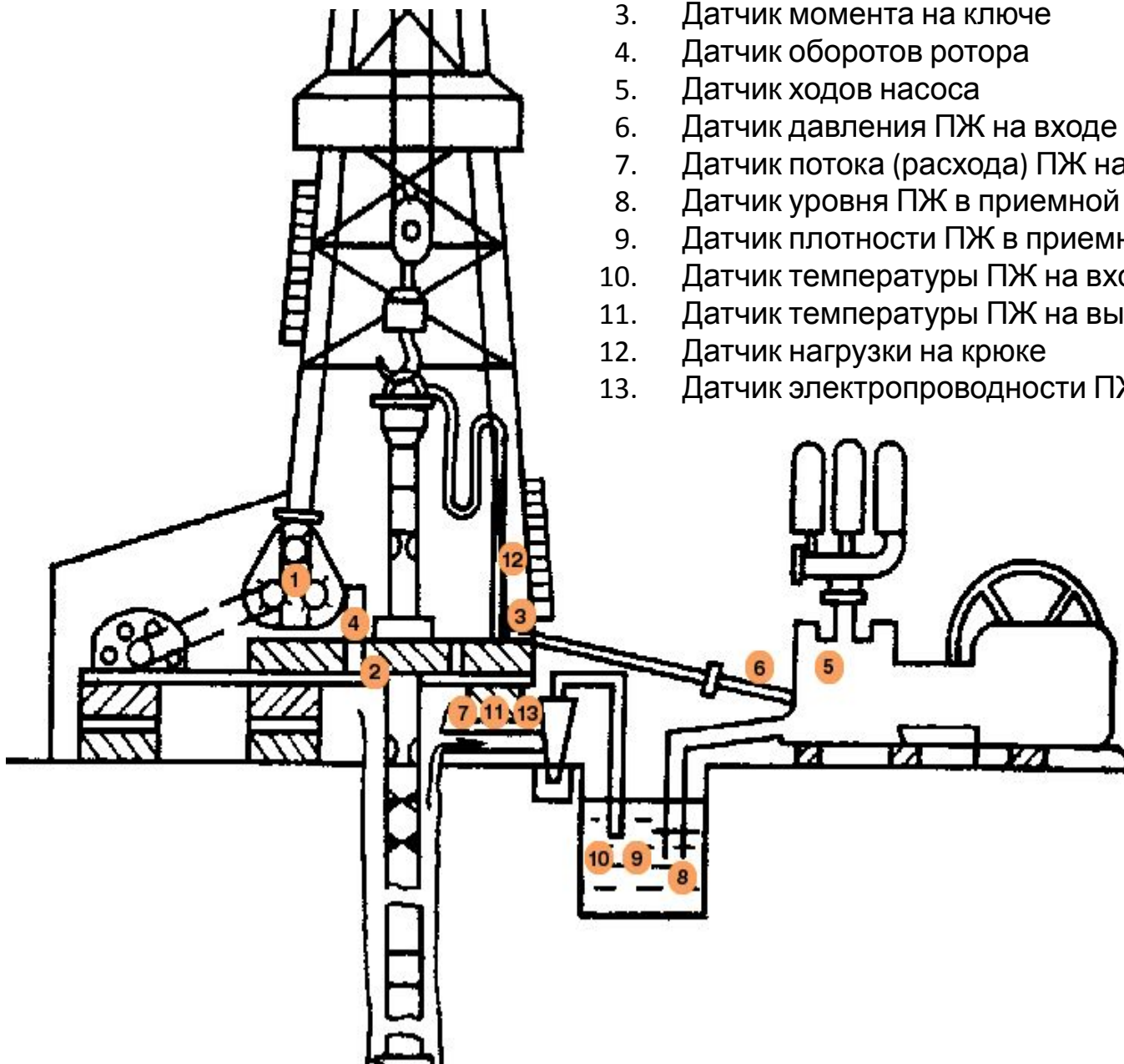
Промывка скважин

- □ расход, давление, температура, плотность и вязкость промывочной жидкости;
- уровень промывочной жидкости в приемных емкостях и в скважине

Цементирование скважин

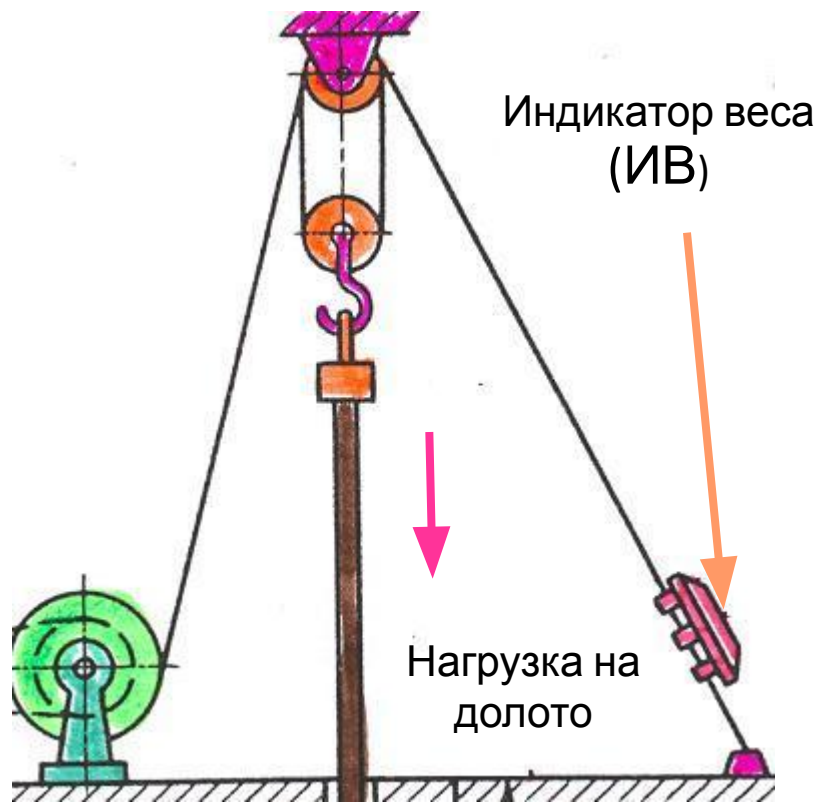
- □ расход и объем продажной жидкости и цементного раствора, его плотность;
- давление, при котором осуществляется закачка

1. Датчик глубины (датчик оборотов вала буровой лебедки)
2. Датчик крутящего момента ротора
3. Датчик момента на ключе
4. Датчик оборотов ротора
5. Датчик ходов насоса
6. Датчик давления ПЖ на входе
7. Датчик потока (расхода) ПЖ на выходе
8. Датчик уровня ПЖ в приемной емкости
9. Датчик плотности ПЖ в приемной емкости
10. Датчик температуры ПЖ на входе (в емкости)
11. Датчик температуры ПЖ на выходе
12. Датчик нагрузки на крюке
13. Датчик электропроводности ПЖ на входе



Подача инструмента - его вертикальное перемещение на поверхности, которое осуществляется опусканием ведущей трубы в ротор на некоторую величину в результате ослабления (оттормаживания) тормоза лебедки.

Погружение долота - глубина внедрения долота в породу в результате подачи инструмента.



# ИЗМЕРЕНИЕ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО

Осевая нагрузка



осевое усилие, воспринимаемое долотом при его внедрении в породу

Осевая нагрузка

=

сила веса буровой колонны, передаваемой на крюк, когда буровой инструмент приподнят над забоем (нагрузкой на крюк)

-

сила веса, передаваемой на крюк во время бурения

Вес колонны бурильных труб



индикатор веса, измеряющий натяжение неподвижного конца талевого каната

гидравлически  
е

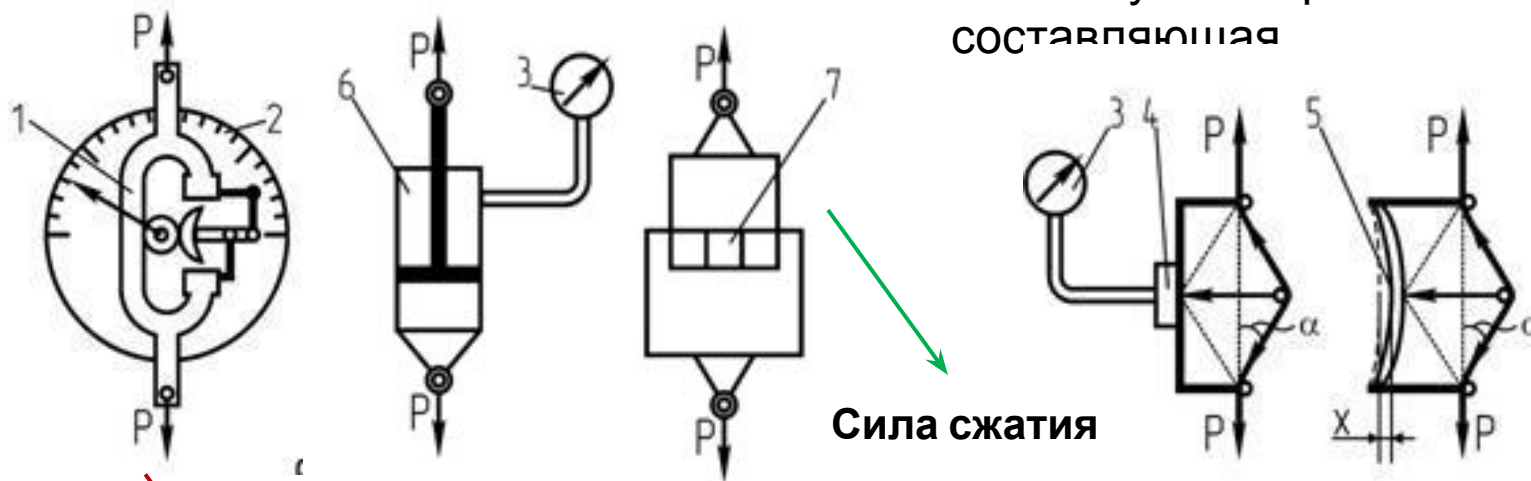
электрически  
е

# СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УСИЛИЯ В МЕРТВЫМ КОНЦЕ ТАЛЕВОГО КАНАТА

**Входной параметр**

Полное усилие, действующее на датчик

Усилие разлагается с помощью параллелограмма сил и используется горизонтальная составляющая

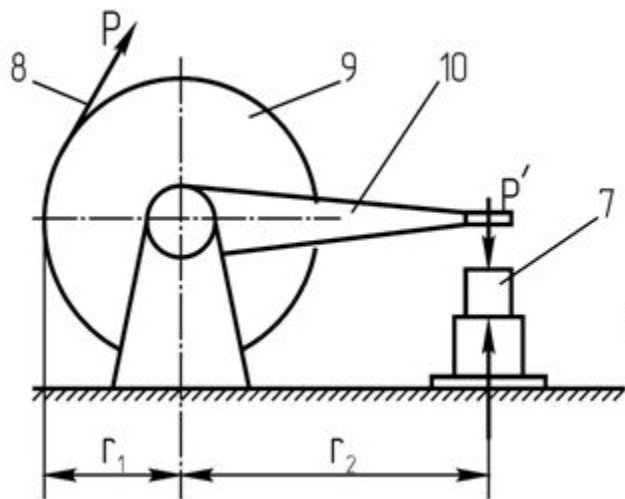


**Сила сжатия**

**Давление**

**Перемещение**

1 - упругий элемент; 2 - шкала; 3 - манометр; 4 - мессдоза; 5 - рессора; 6 - гидроцилиндр; 7 - магнитоупругий датчик; P – усилие в неподвижном конце каната



7 - магнитоупругий датчик; 8 - неподвижный конец каната талевой системы; 9 - барабан; 10 - рычаг; P – усилие в неподвижном конце каната; P' - усилие сжатия на магнитоупругий датчик

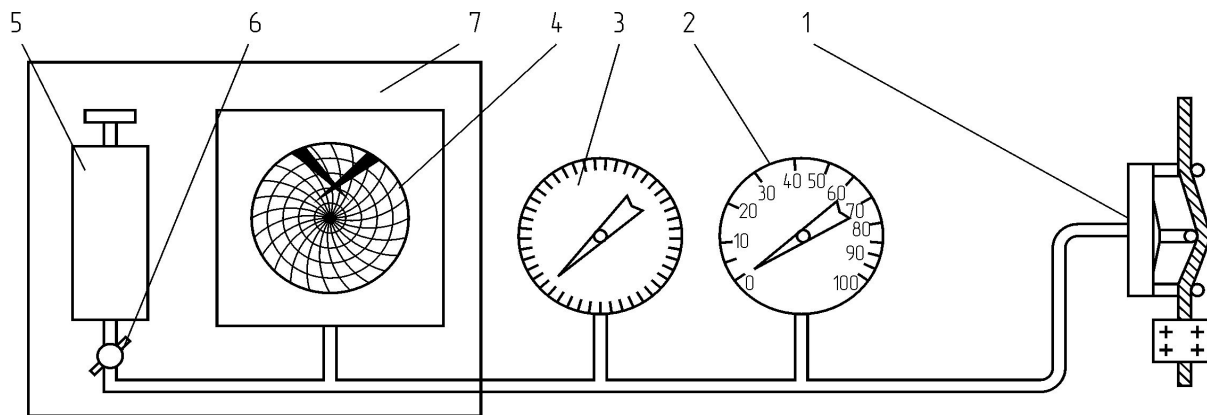
$$P' = P(r_1/r_2)$$



Сила сжатия

## Гидравлический индикатор веса ГИВ-6

Гидравлический индикатор веса ГИВ-6 предназначен в *принципе только для индикации и регистрации усилия в неподвижном конце каната талевой системы (т.е. усилия на крюке)* при бурении скважин, а по виду записи этого усилия, зная технологический процесс, судят о произведенных операциях во времени.

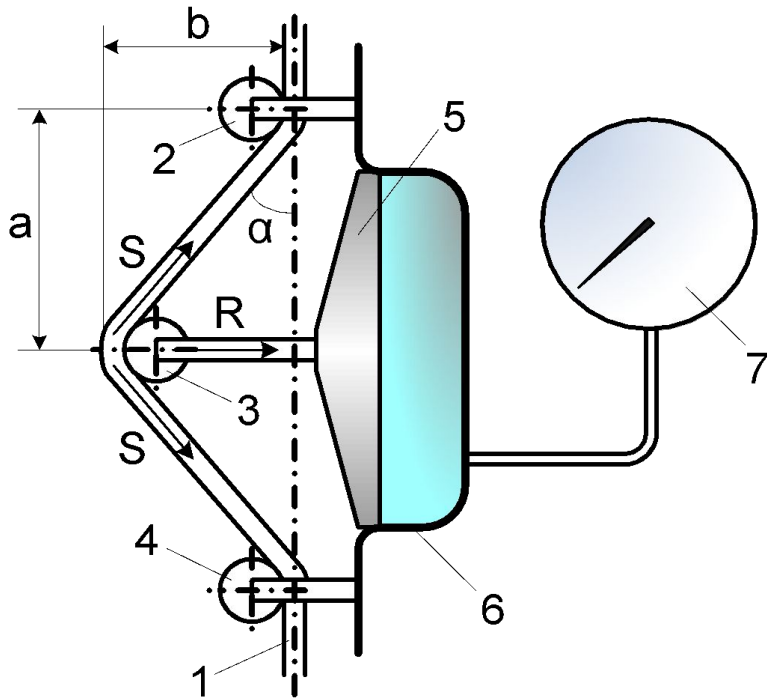


1 - трансформатор давления;  
 2 - основной указатель;  
 3 - верньерный указатель; 4 - регистратор;  
 5 - пресс-бачок;  
 6 - вентиль;  
 7- щит

# Устройство гидравлического индикатора веса

## Состав ГИВ

- трансформатор давления
- указывающий манометр с условной шкалой, градуированной на 100 делений и установленной на щите у поста бурильщика
- самопишущий манометр с круглой диаграммой, вращаемой часовым механизмом со скоростью 1 об/сут.



- 1 – талевый канат;  
 2, 3, 4 – ролики;  
 5 – тарелка;  
 6 – корпус;  
 7 – манометр

$$R = 2S \sin \alpha$$

$$N = PF$$

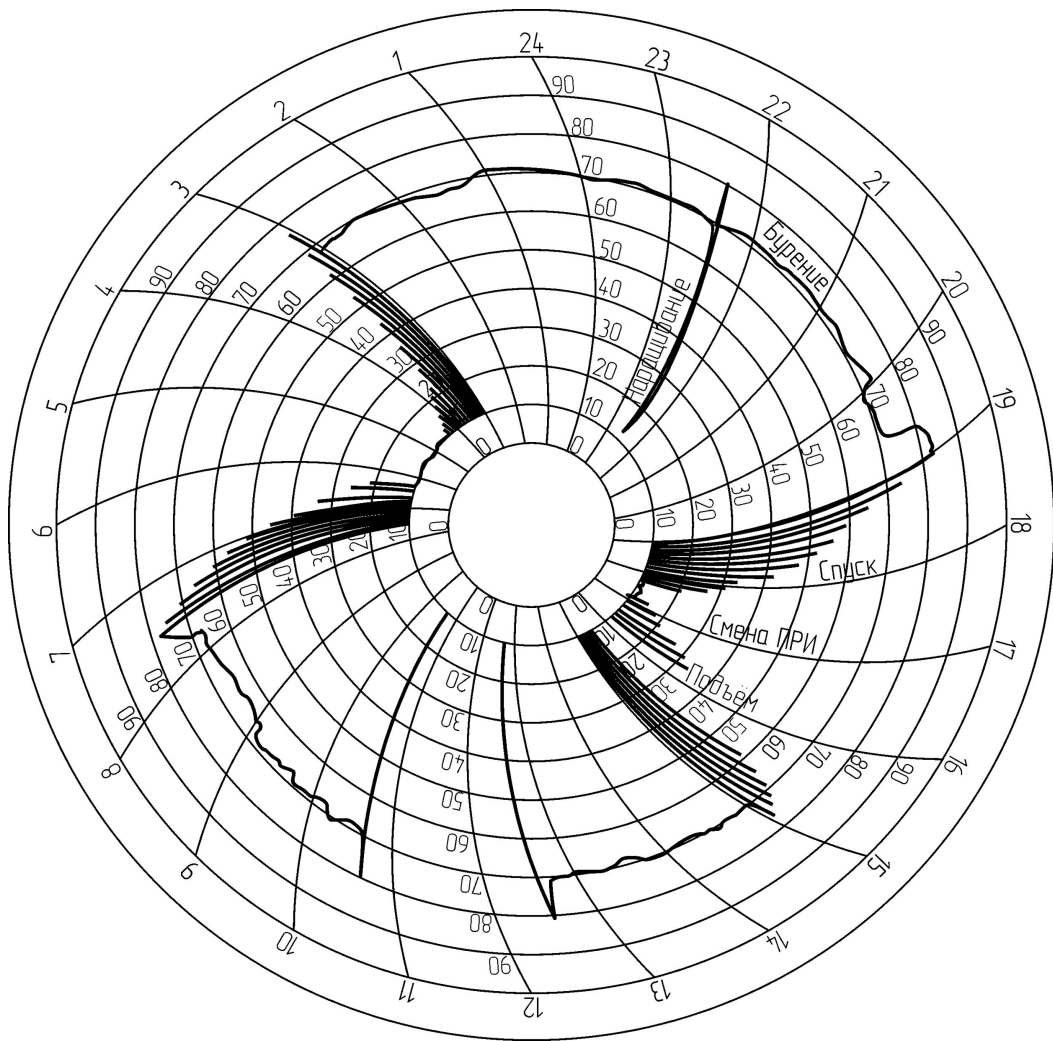
$$S = \frac{Fa}{2b} P$$

$$Q_{\text{сд}} = 2mS \frac{1}{\eta} = \frac{Fam}{b\eta} P = \tilde{n} \dot{D}$$

$m$  - число роликов талевого блока;  
 $\eta$  - КПД талевой системы



# Расшифровка индикаторной диаграммы



Спуск инструмента



ряд пиков, увеличивающихся по высоте и располагающихся примерно параллельно радиальным дугам

Количество пиков



количество опущенных свечей

Высота каждого пика



вес опущенного инструмента

Расстояние между точками начала и конца пика



время спуска свечи

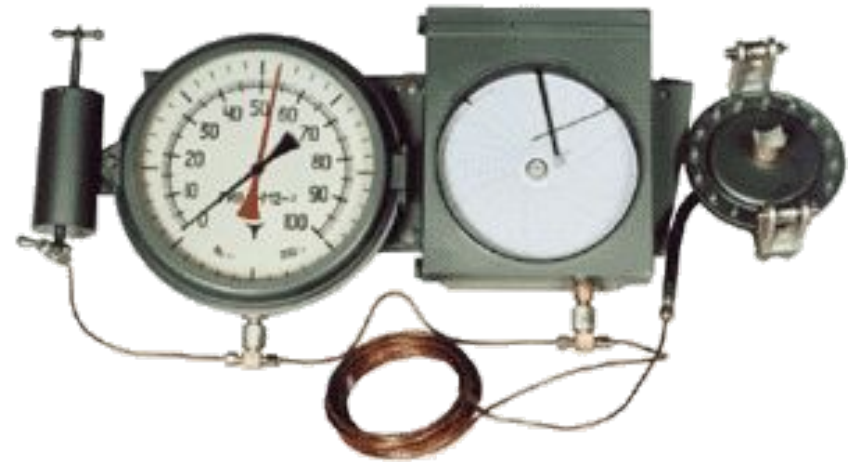
## Характеристики ГИВ

Пределы измерения 40-80 кН, 120-180 кН  
и 200-250 кН

Трансформаторы давления градуируют  
с канатами определенного диаметра  
Основная приведенная погрешность  
составляет  $\pm 2,5\%$

**Достоинства:** просты по конструкции,  
несложны в эксплуатации

**Недостатки:** не позволяют производить  
дистанционные измерения и регистрацию  
параметров, часто нарушается  
герметичность измерительных систем.

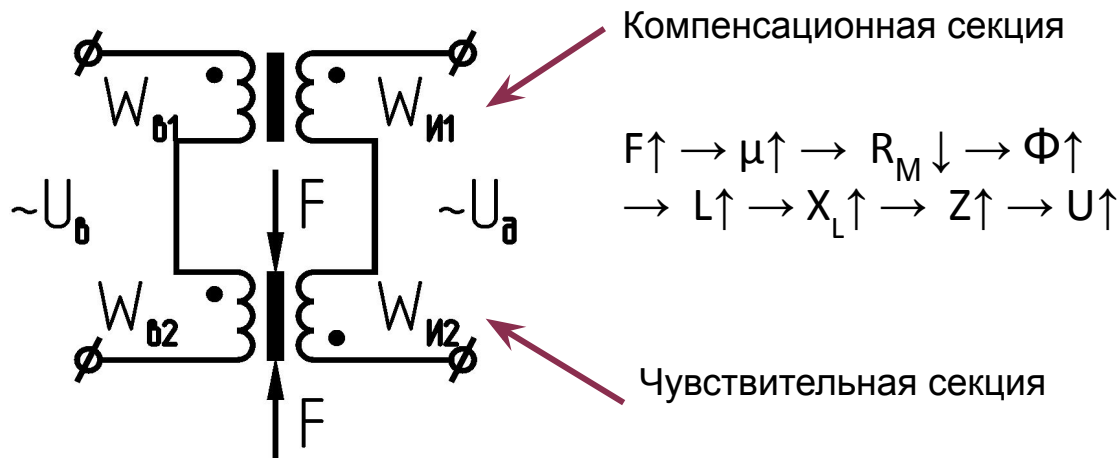


# МАГНИТОУПРУГИЙ КОМПЕНСАЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ НАГРУЗКИ МКН-1

## Назначение

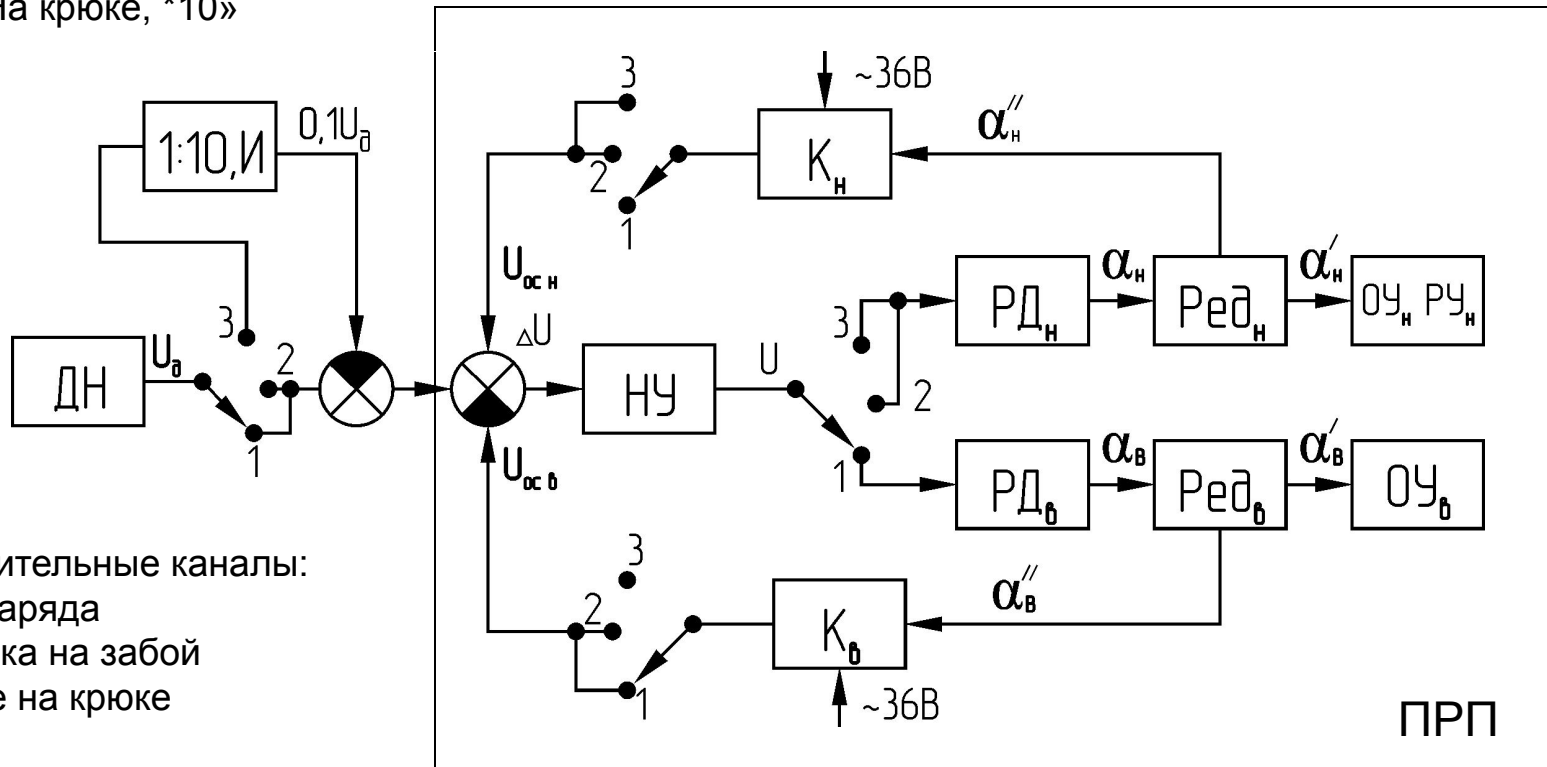
- визуальный контроль веса снаряда;
- визуальный контроль и регистрация осевой нагрузки в процессе бурения;
- визуальный контроль и регистрация усилия на крюке при спуско-подъемных операциях и аварийных работах

## Магнитоупругий датчик



- 1 – «Вес»
- 2 – «Нагрузка»
- 3 – «На крюке, \*10»

## Измерительная схема – автокомпенсатор переменного тока



- Режим 1  $U_D - U_{OCB} = 0$
- Режим 2  $U_D - U_{OCB} = 0$   
 $\Delta U = U_{OCH}$   
 $U'_D < U_D$   
 $U'_D + U_{OCH} - U_{OCB} = 0$   
 $U_{OCH} = U_{OCB} - U'_D$   
 $G_{OC} = G_{CH} - G_{KP}$
- Режим 3  $U_{OCH} - 0,1U_D = 0$

ПРП – прибор показывающий и регистрирующий  
 ДН – датчик нагрузки  
 НУ – нуль-усилитель  
 К – компенсатор  
 РД – реверсивный двигатель  
 Ред – редуктор  
 ОУ, РУ – отсчетное и регистрирующее устройства

# ИЗМЕРЕНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА РОТОРЕ

Контроль крутящего момента на шпинделе (роторе) бурового станка



Контроль загрузки бурового инструмента в наиболее опасном верхнем сечении



Возможность судить о загрузке привода и бурового станка, состоянии скважины (зашламование), резких искривлениях ствола, смене пород, степени износа породоразрушающего инструмента

Информативный сигнал



Параметр, пропорциональный крутящему моменту и измеряемый на звеньях в цепи силовой передачи (валах, шестернях, муфтах, цепных передачах, буровом инструменте)

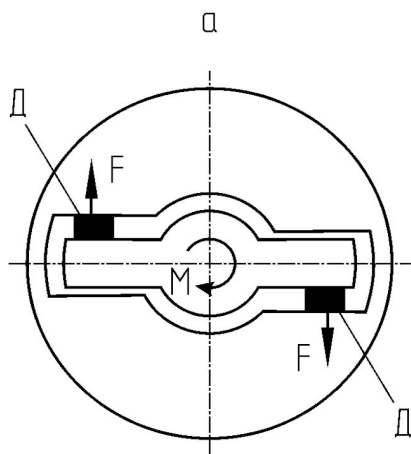
Потребляемая приводом (в частности электродвигателем) мощность или мощность на его валу

Крутящий момент  $M$  - произведение силы  $F$  на плечо  $r$ :

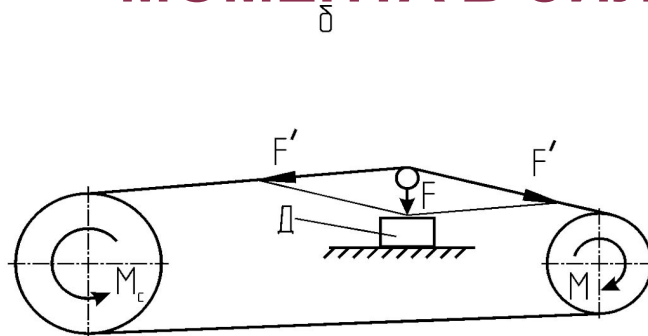
$$M = F \cdot r$$

Имея в кинематике передачи крутящего момента  $M$  элемент радиусом  $r$  (вал, шестерня), можно при постоянстве  $r$ , измеряя силу  $F$ , контролировать крутящий момент

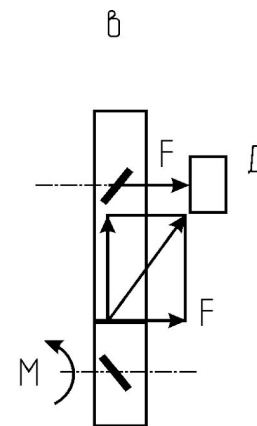
## СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА В СИЛУ



Датчик крутящего момента, встраиваемый в шлицевой вал



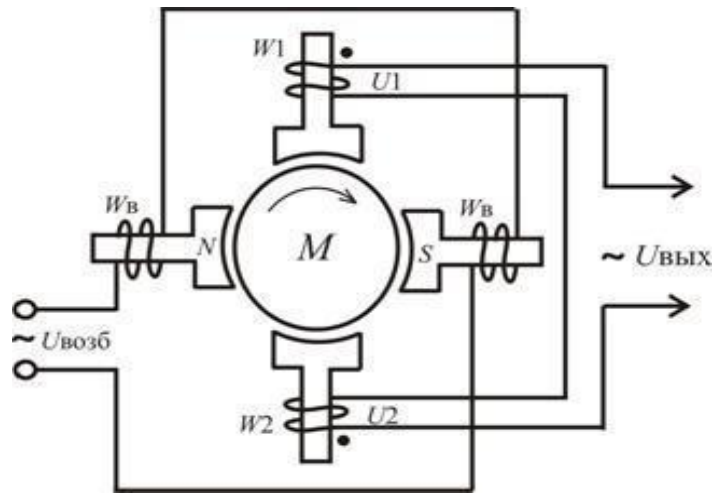
Измеритель момента ротора (ИМР)



Датчик с применением косозубой пары шестерен

# Магнитоупругий преобразователь момента

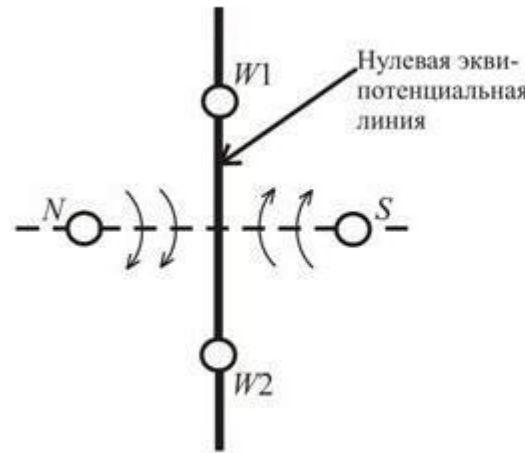
В магнитоупругих ДКМ используется свойство ферромагнитных материалов изменять свою магнитную проницаемость в направлении воздействия на них сил растяжения или сжатия (магнитоупругий эффект).



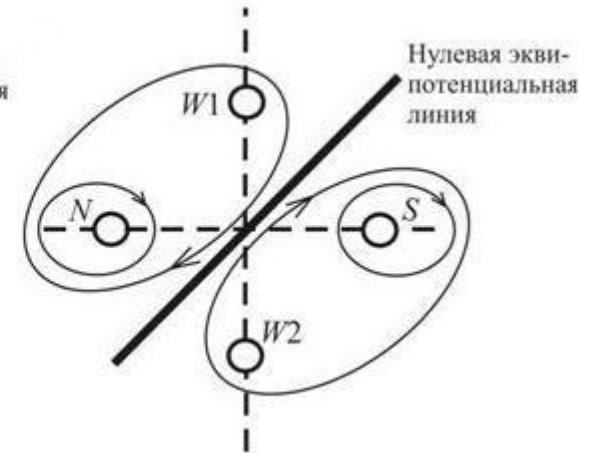
$W_{в}$  – обмотка возбуждения (первичная обмотка);  
 $W_1, W_2$  – измерительные обмотки (вторичные обмотки)

Вторичные обмотки  $W_1$  и  $W_2$  сдвинуты на  $90^\circ$  относительно полюсов обмотки возбуждения и соединены встречно

## Магнитное поле на поверхности вала

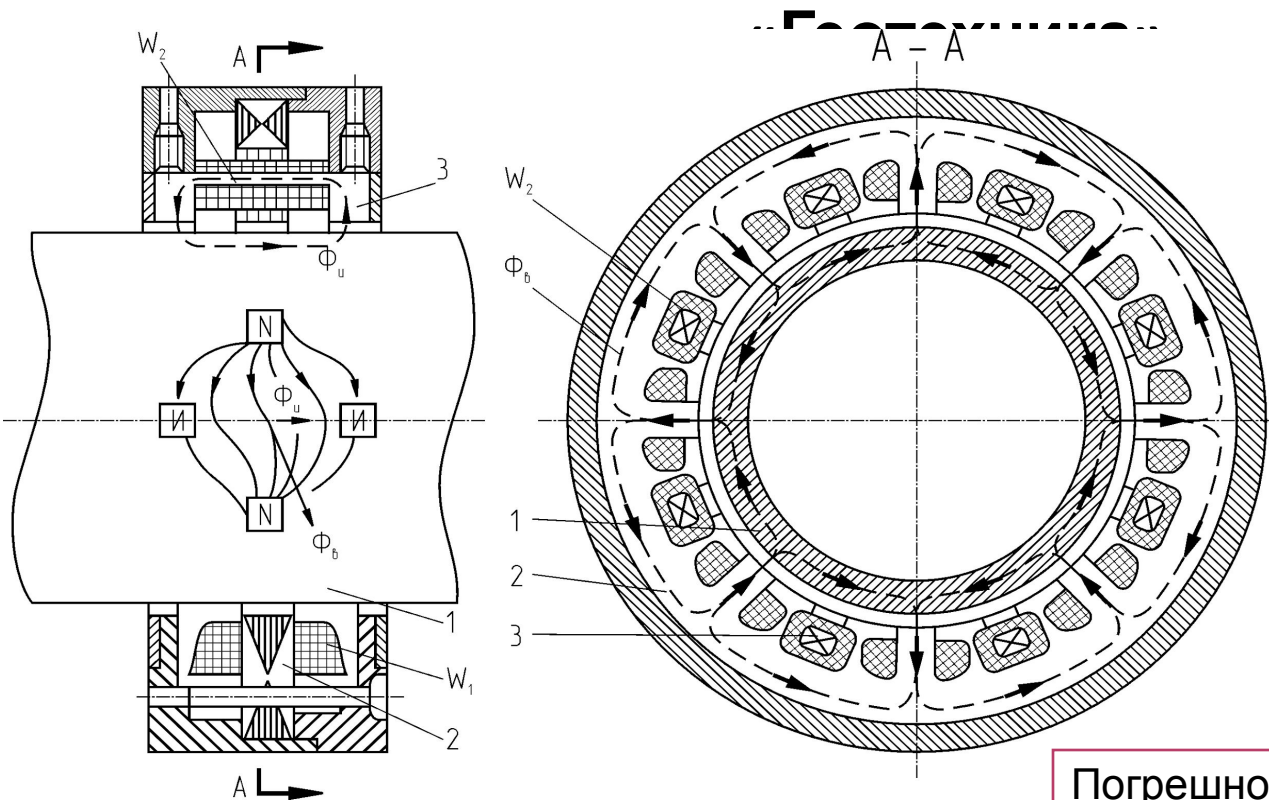


симметричное при ненагруженном вале ( $M = 0$ )



несимметричное (деформированное) при нагружении вала некоторым моментом

# Датчик момента ДМ конструкции СКБ НПО



- 1- участок рабочего вала;  
2- кольцевой многополюсный статор с последовательно соединенными катушками возбуждения  $W_1$ ;  
3- совокупность П-образных магнитопроводов с включенными последовательно измерительными катушками  $W_2$

Погрешность 2 %

Максимальная частота вращения вала до 100 ÷ 150 об/мин

Частота изменения момента до 250 Гц

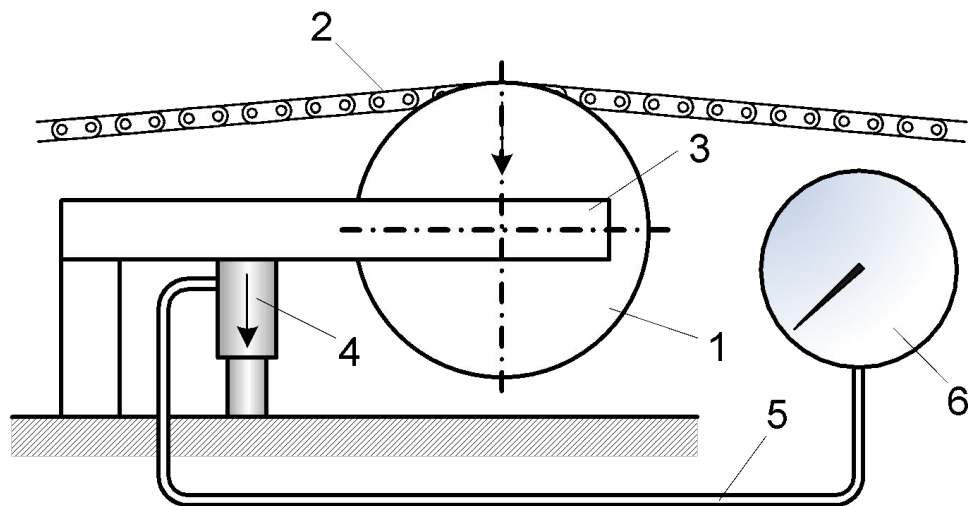
**Достоинство** - бесконтактный съем сигнала

**Недостатки:**

- зависимость коэффициента преобразования от частоты вращения вала;
- чувствительность к осевым усилиям, зависимость начального выходного сигнала (фона) от углового положения вала относительно электромагнитного преобразователя;
- жесткие ограничения по биению вала;
- необходимость врезки в кинематику силовой передачи чувствительного отрезка вала



# Измерение крутящего момента на роторе с цепным приводом



- 1 – зубчатое колесо;
- 2 – цепь;
- 3 – рычаг;
- 4 – цилиндр;
- 5 – трубка;
- 6 – пружинный манометр



# Измерение крутящего момента на роторе с электроприводом

$$M = \frac{N_{акт}}{n}$$

$$N_{акт} = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi,$$

$M$ - крутящий момент, кН·м;

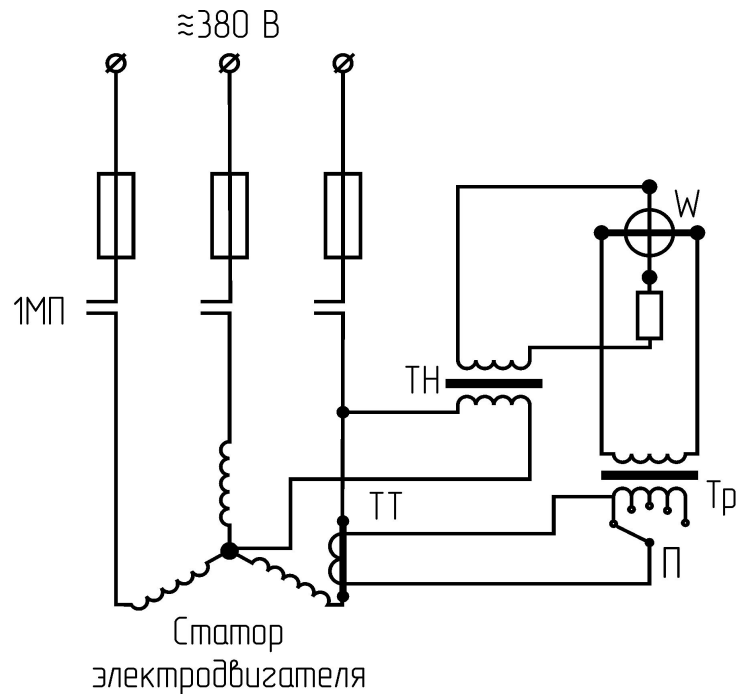
$N_{акт}$  - активная мощность, кВт;

$n$ - число оборотов в мин

$$M = 6,3 (N_p / n),$$

где  $N_p$  – полезная мощность на валу электродвигателя, кВт;

$n$  – частота вращения вала двигателя, об/мин.

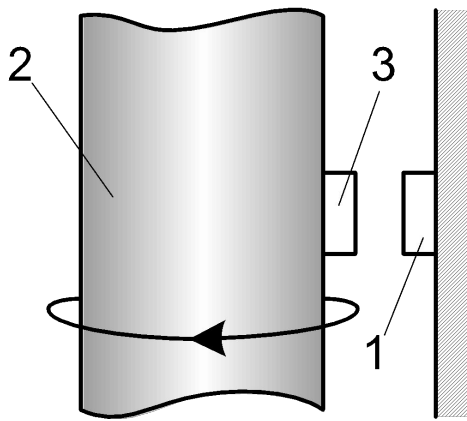


W-ваттметр;  
ТТ- трансформатор тока;  
ТН- трансформатор напряжения;  
П- переключатель;  
Тр1- вспомогательный трансформатор напряжения;  
1МΠ-контакты пускателя

# Измерение крутящего момента на роторе с электроприводом



# Измерение частоты вращения и числа оборотов ротора



- 1 – индуктивный датчик;
- 2 – вал ротора;
- 3 – металлический флажок



# ДАТЧИК ОБОРОТОВ ЛЕБЕДКИ ICS SR «ГЕОТЕК»



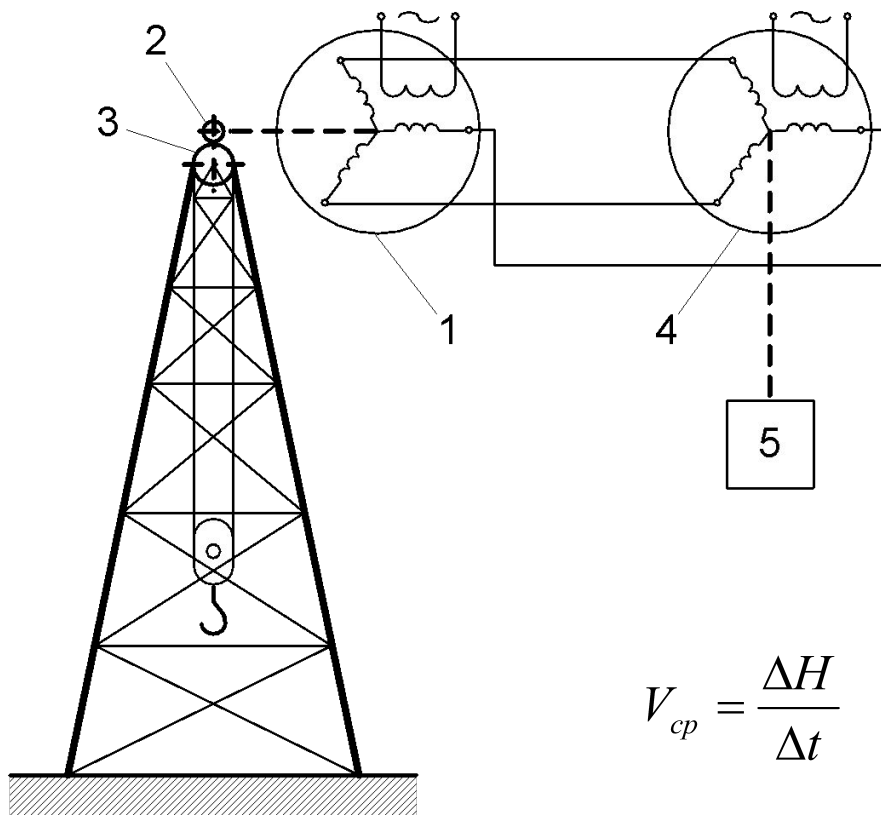
Датчик состоит из двух частей: первичного преобразователя (импульсного датчика) и микропроцессорного преобразователя сигнала

Модификация 01 - из двух частей: одна часть в виде ленты монтируется на механизм, перемещение которого необходимо измерять. Другая часть датчика - корпус, монтируемый на неподвижном основании в непосредственной близости от ленты.

Модификация 02 - в виде диска, монтируемого на вал лебедки под устройство подачи воздуха в тормозную систему лебедки.



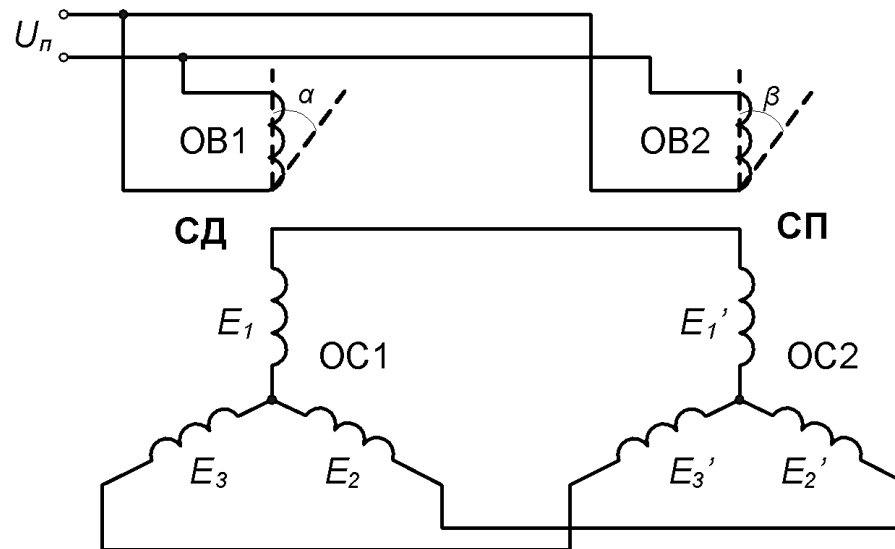
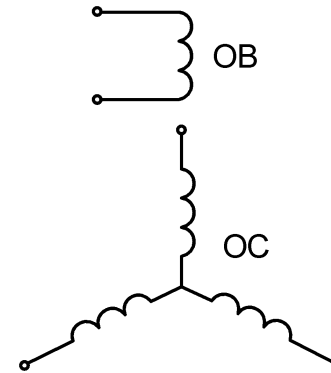
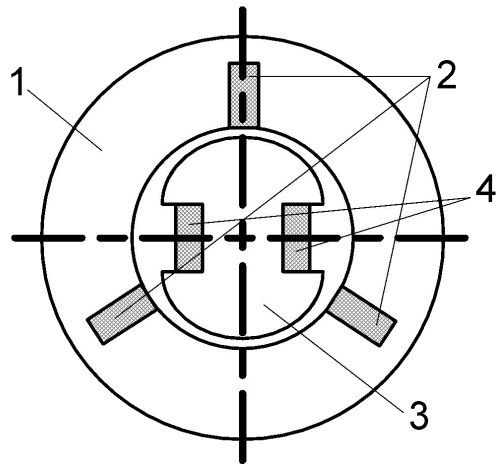
# Измерение подачи бурового инструмента и механической скорости бурения



$$V_{cp} = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$



# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СЕЛЬСИНА



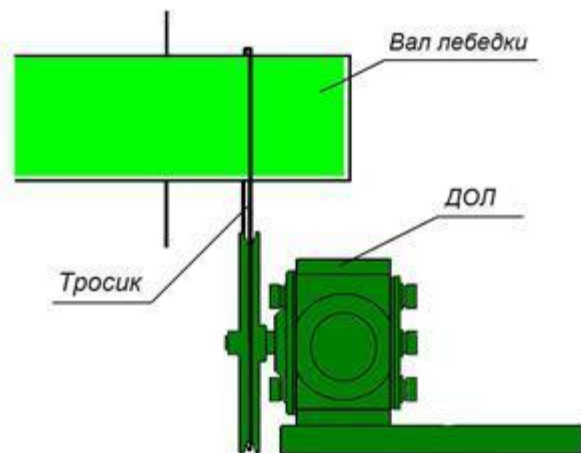
## Датчик глубины

(датчик оборотов вала буровой лебедки)

Предназначен для определения глубины скважины в процессе бурения.

Принцип действия - датчик преобразует угол поворота буровой лебедки в импульсы, прямо пропорциональные перемещениям крюкоблока.

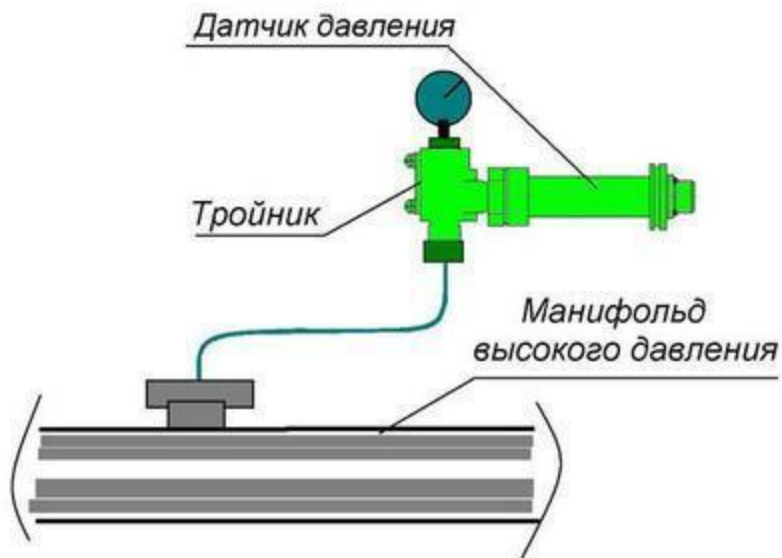
Крепление - датчик устанавливается на станине буровой лебедки. Произвести соединение шкива датчика с валом лебедки, тросиком, входящий в комплект датчика. Угол поворота буровой лебедки передается к датчику с помощью клиноременной передачи.





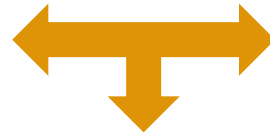
# ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БУРОВОГО РАСТВОРА

## Давлени е



# Расход

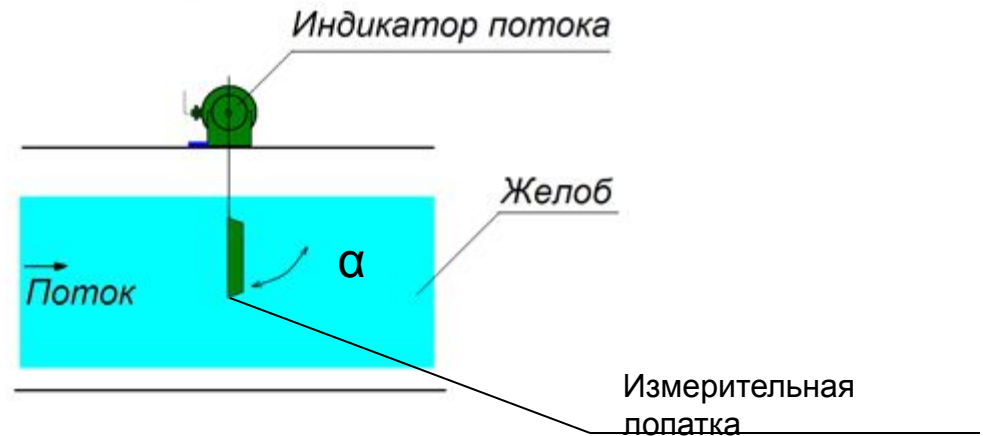
Обтекания (индикаторы расхода)



Ультразвуковые (расходомеры)

Электромагнитные (расходомеры)

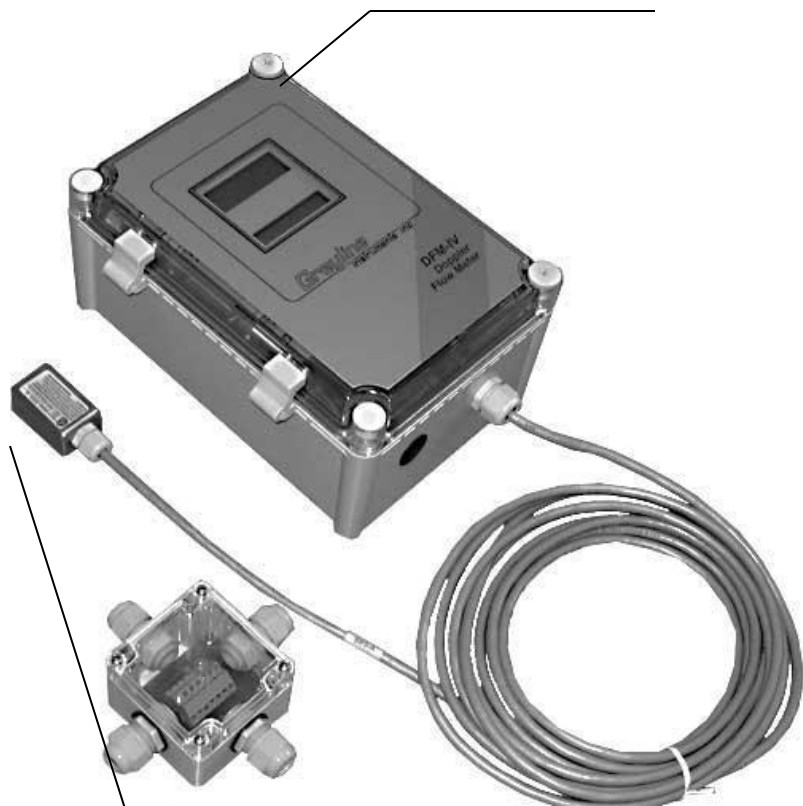
## Индикатор потока НПФ «Геофизика»



Диапазон измерения,  
л/с 0-50, 0-100

# ДАТЧИК РАСХОДА БУРОВОГО РАСТВОРА (УЛЬТРАЗВУКОВОЙ) ДРУ

Контроллер

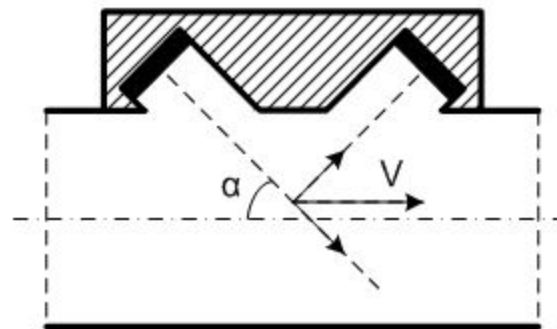


Бесконтактный  
ультразвуковой сенсор

Диапазон измерения скорости жидкости, м/с  
0,08...12,2

Диаметр труб (внутренний), не менее, мм 25

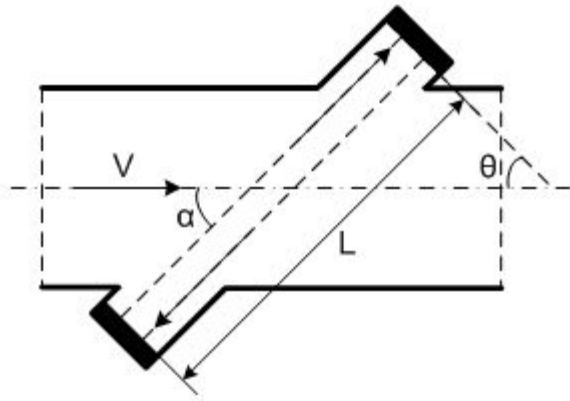
Погрешность измерения расхода, % 2



Эффект Доплера

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{2f_1 V \cos \alpha}{c}$$

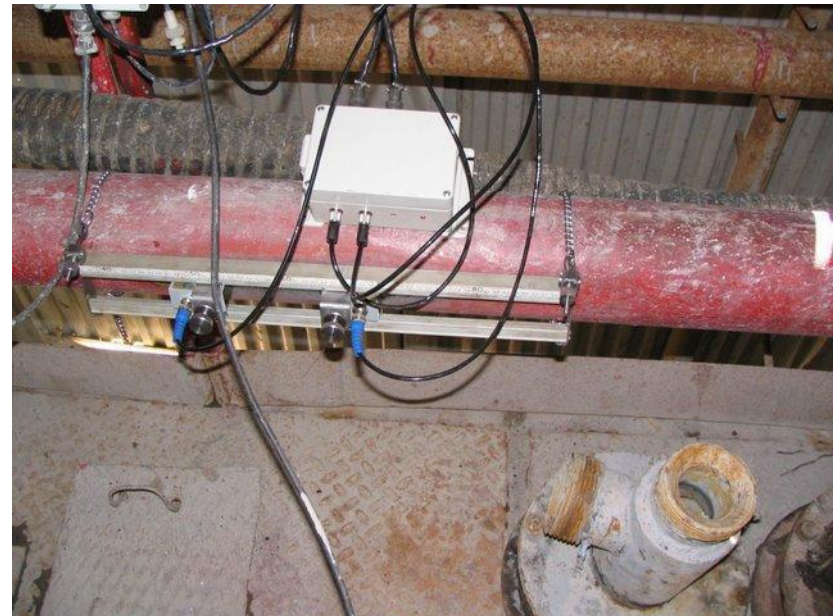
# ДАТЧИК РАСХОДА БУРОВОГО РАСТВОРА (РАСХОДОМЕР) ICS SQ «ГЕОТЕК»



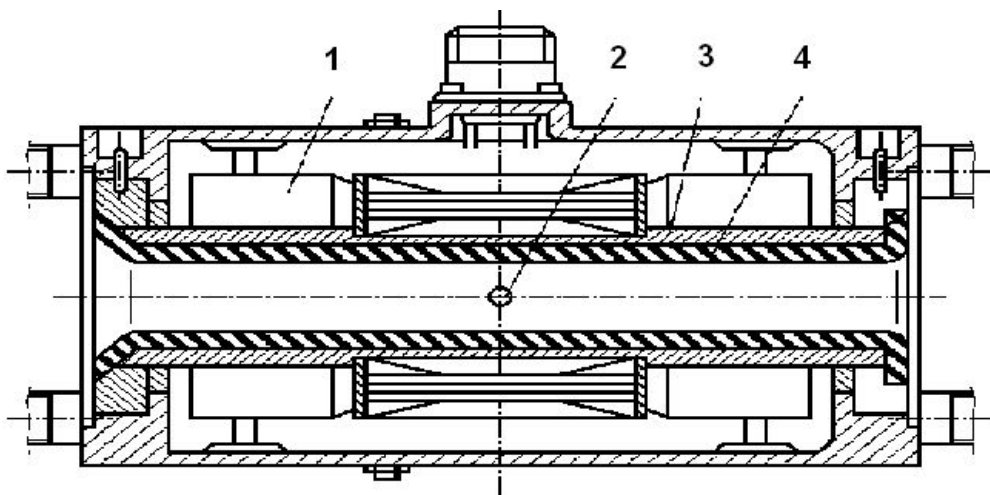
$$t_1 = \frac{L}{c + V \cos \alpha},$$

$$t_2 = \frac{L}{c - V \cos \alpha}$$

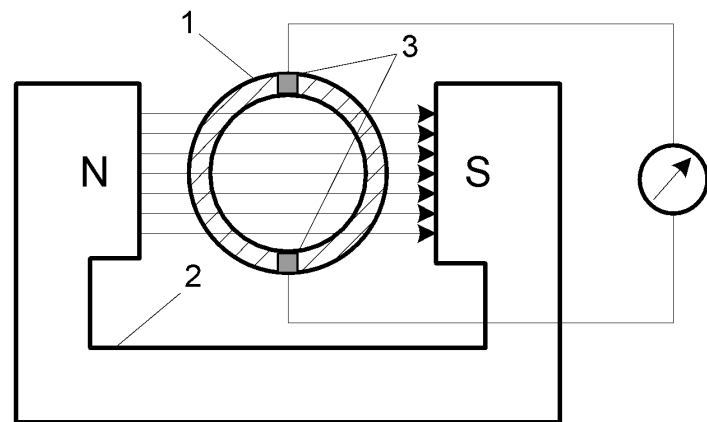
$$\Delta t = \frac{2LV \cos \alpha}{c^2 - V^2 \cos^2 \alpha}$$



# Электромагнитный расходомер



- 1- катушки возбуждения (2 шт.);
- 2- электрод (2 шт.);
- 3- трубопровод из неферромагнитной нержавеющей стали;
- 4- полиэтиленовая трубка



Диапазон измерения расхода: 0 - 100 л/сек  
Верхний предел рабочего давления: 40 МПа  
Максимальная приведённая погрешность: 2,5 %

$$E = BWd$$

$$E = \frac{4B}{\pi d} Q$$

# Уровень

Поплавковый уровнемер НПФ  
«Геофизика»

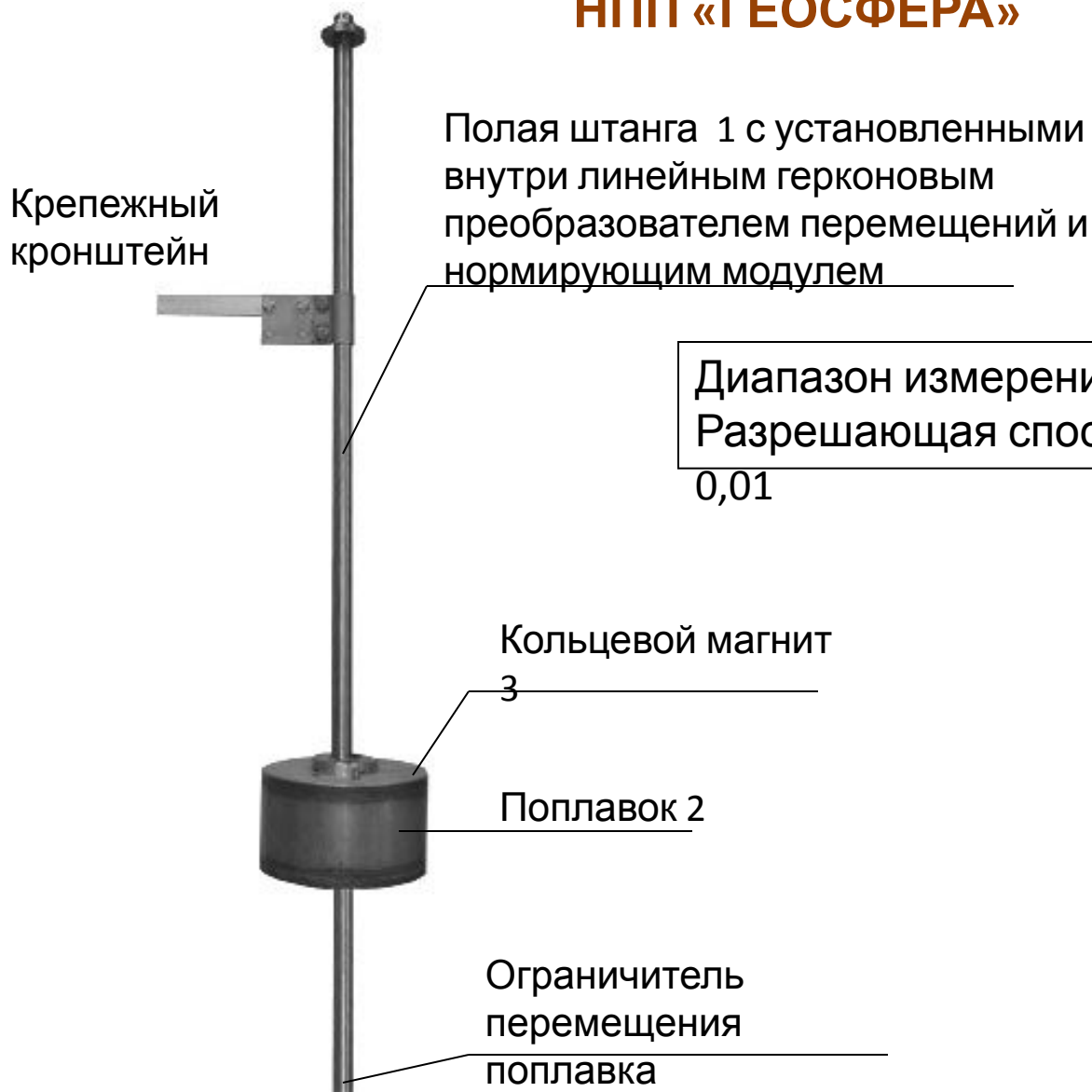


Уровень в емкости измеряется по углу отклонения штока с поплавком. Возможна перенастройка диапазонов измерений в широких пределах.

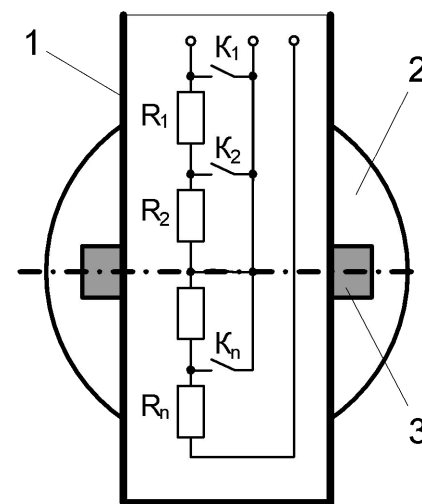
Диапазон измерения, м 0-2  
Предел допускаемой основной  
абсолютной погрешности  $\pm$   
(0,02+0,01X)



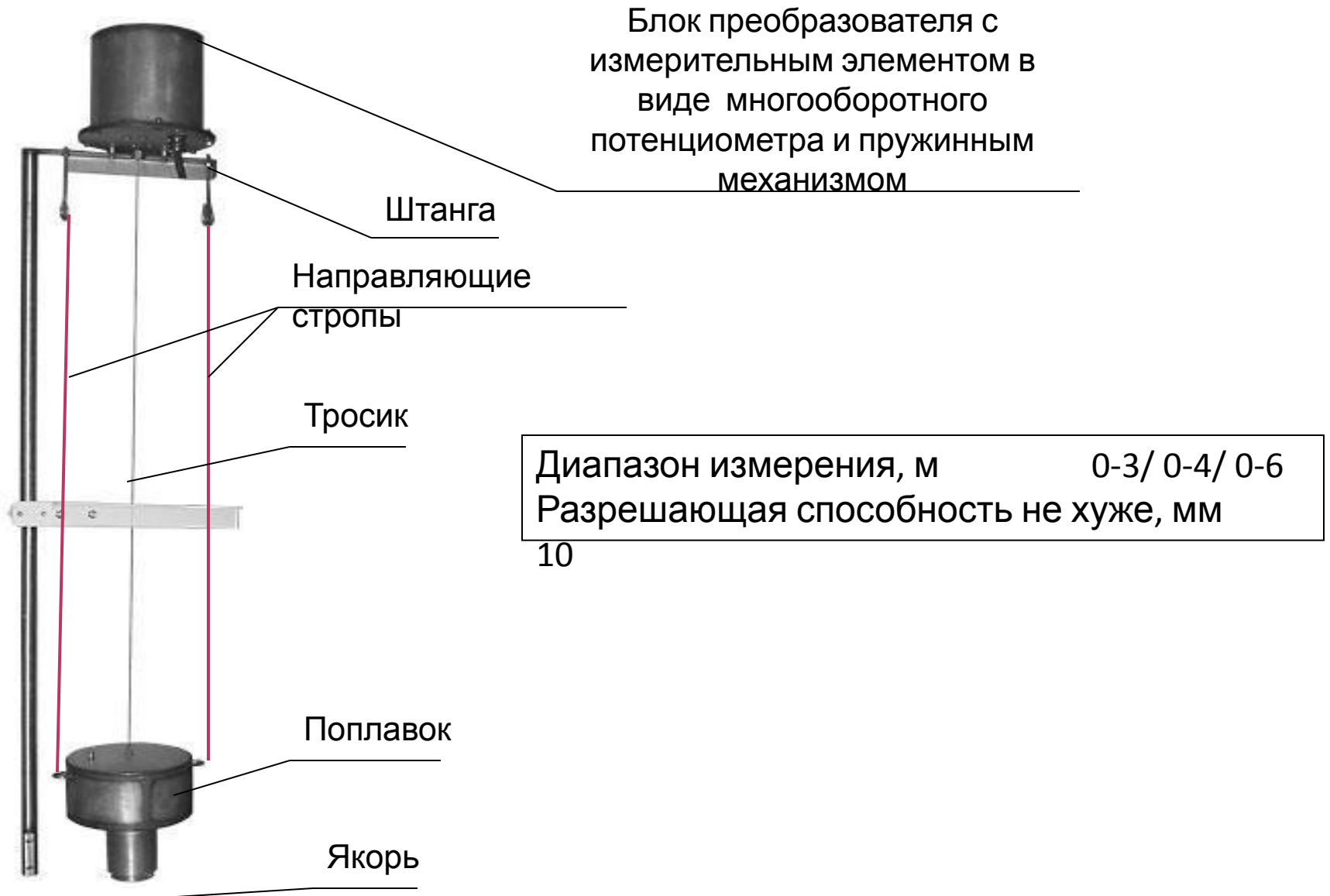
# ДАТЧИК УРОВНЯ БУРОВОГО РАСТВОРА (ГЕРКОНОВЫЙ) «ДУГ» НПП «ГЕОСФЕРА»



Диапазон измерения, м	0...2
Разрешающая способность, не хуже, м	0,01



# ДАТЧИК УРОВНЯ БУРОВОГО РАСТВОРА (ПОПЛАВКОВЫЙ, РЕЗИСТИВНЫЙ) «ДУР»





# УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ДАТЧИКИ УРОВНЯ БУРОВОГО РАСТВОРА ICS SL «ГЕОТЕК»

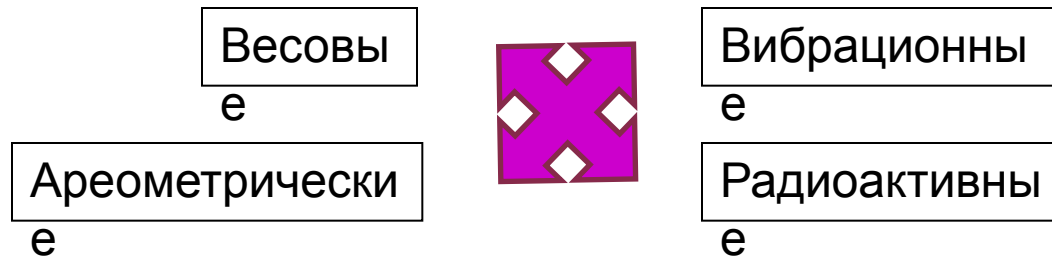


Диапазон измерений (расстояние от поверхности излучателя до отражающей поверхности), м от 0,35 до 6

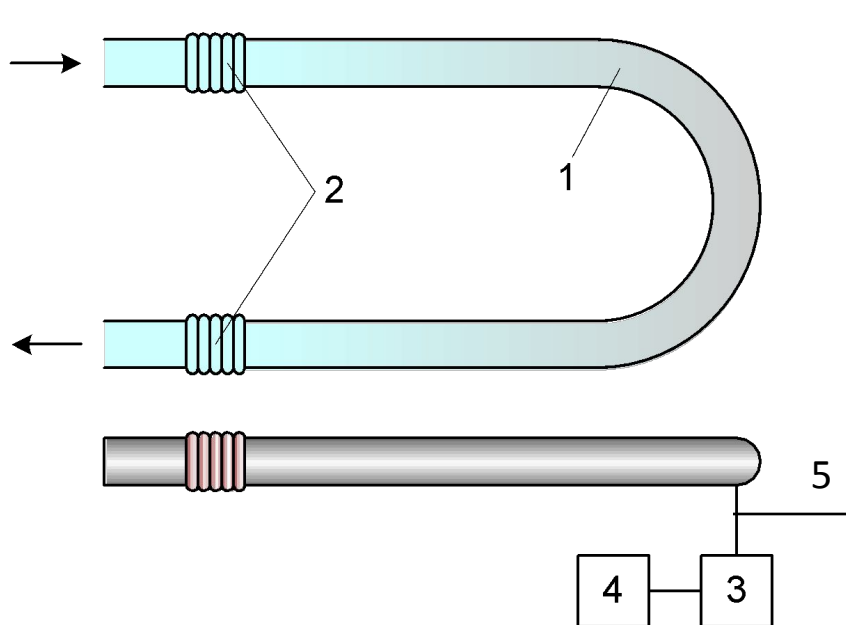
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности, м  $\pm 0,003$



# ПЛОТНОСТЬ



## Весовые плотномеры



- 1 - U-образная трубка, изготовленная из нержавеющей стали;
- 2 – сильфоны, соединенные с неподвижными патрубками для подачи анализируемой жидкости;
- 3 - силовой преобразователь;
- 4 - вторичный измерительный прибор;
- 5 - тяга

0,5 – 2,5 г/см<sup>3</sup> с выделением поддиапазона 0,05 – 0,3 г/см<sup>3</sup> в любой части основного интервала.  
Классы точности 1 – 1,5

## Ареометрический плотномер НПФ «Геофизика»



Гиря — Тензометрический датчик  
усилия (линейного  
перемещения)

Диапазон измерения, г/см<sup>3</sup> 0-2  
Предел допускаемой основной  
абсолютной погрешности  
±(0,01+0,01X)

## Вибрационный плотномер «ГеоТехнология»



Диапазон измеряемой плотности  
0.8 – 2.6 г/см<sup>3</sup>

Время запаздывания при  
измерении плотности не более  
2 с

Пределы допускаемой основной  
относительной погрешности при  
измерении плотности, %, не более  
0,5

Камертон

$$f = f_0 \sqrt{\frac{1}{1 + k\rho}}$$

# ДАТЧИК ПЛОТНОСТИ БУРОВОГО РАСТВОРА "ИПБ-1"

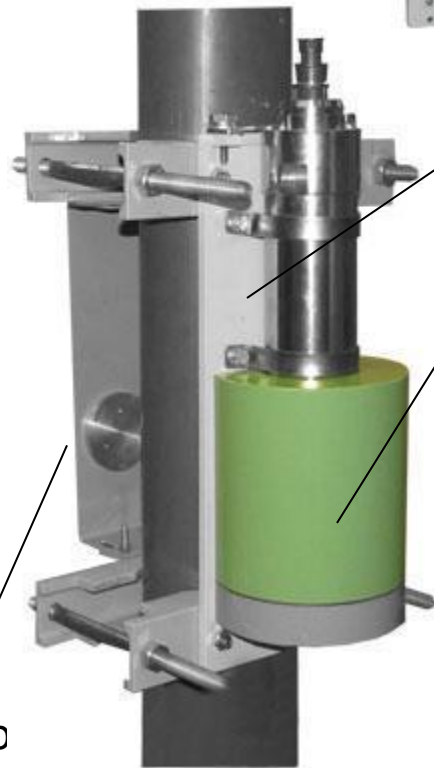
Блок  
обработки  
информации



Преобразование поступающей на его вход от блока детектирования средней частоты следования импульсов в стандартный аналоговый токовый выходной сигнал

Блок  
детектирования

Радионуклидный источник  
гамма-излучения -  
натрий-22 или хлористый  
калий



Детектор  
гамма-  
лучей

Преобразование поступающего потока  
гамма-излучения в пропорциональную  
ему среднюю частоту следования  
импульсов

Определение плотности бурового раствора осуществляется по калибровочной зависимости, учитывающей ослабление потока гамма-излучения через стенку манифольда (желоба).

Диапазон измерения плотности,  $\text{кг/м}^3$   
600...2200

Предел основной абсолютной погрешности  
измерения,  $\text{кг/м}^3$  15

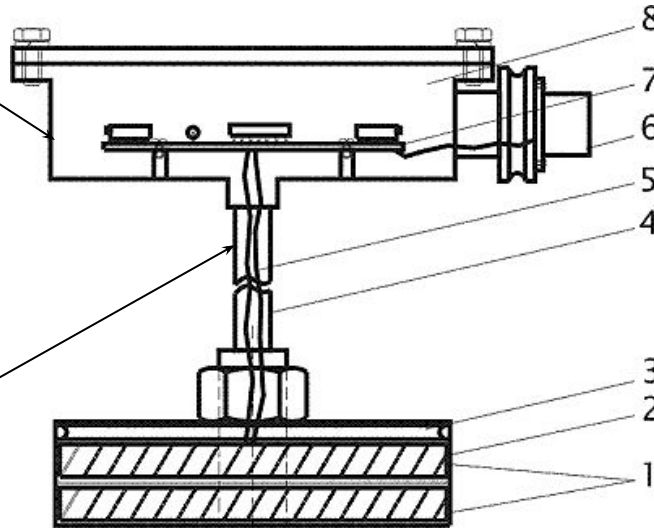
Время установления рабочего режима после  
включения, мин 30

# Электропроводнос

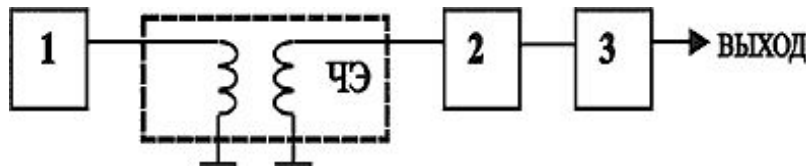
## Индукционный резистивиметр НПФ

«Геофизика»

Принцип действия датчика основан на измерении электропроводности жидкостного витка связи индукционным трансформаторным методом.



- 1 - катушки индуктивности (ферритовые кольца);
- 2- корпус из нержавеющей стали, залитый герметиком;
- 3- фторопластовая крышка, герметично закрывающая корпус с катушками;
- 4- металлическая трубка;
- 5- соединительные провода, защищенные экраном;
- 6- коммутационный разъем;
- 7- электронная плата;
- 8- герметичный металлический корпус



Диапазон измерения 0,1 – 10 См/м  
Предел допускаемой основной абсолютной погрешности  $\pm (0,05+0,02(50/X-1))$

Блок  
электроники



Измерительный  
преобразовате

- 1 – генератор высокочастотного синусоидального напряжения (100 кГц);
- 2 – нормирующий усилитель;
- 3 – прецизионный выпрямитель;

# ДАТЧИК УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ (РЕЗИСТИВИМЕТР) ICS SC «ГЕОТЕК»



Диапазон измерений:

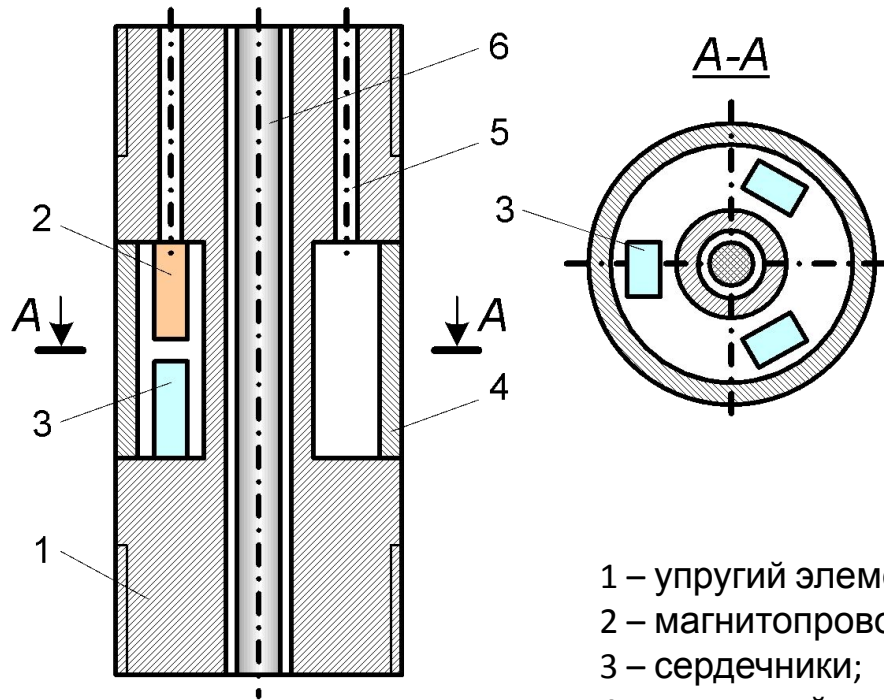
Удельного электрического сопротивления, Ом•м  
от 0,01 до 8,3

Удельной электрической проводимости, См/м  
от 100 до 0,12

Пределы допускаемой основной абсолютной  
погрешности измерений электрической  
проводимости, См/м  $\pm 0,1$



# Глубинное измерение осевой нагрузки на долото



- 1 – упругий элемент;
- 2 – магнитопроводы;
- 3 – сердечники;
- 4 – защитный кожух;
- 5 – канал;
- 6 – кабель

