

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к практическим занятиям и самостоятельной работе на тему
«Чувствительные элементы и датчики систем автоматического
регулирования и управления»**

**по дисциплинам
«Теория автоматического управления», «Автоматизированные
системы СЭУ» и «Автоматизация судовых энергетических
установок»**

**для студентов направления 1003 «Судовождение и
энергетика судов»
дневной формы обучения**

Севастополь
2005



УДК 629.12.03-52

Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе
/ Сост. В.Ф. Худяков, - Севастополь: Изд-во СНТУ, 2005. - 36с.

Методические указания предназначены для практических занятий и самостоятельной работы студентов по курсам «Теория автоматического управления», «Автоматизированные системы управления СЭУ» и «Автоматизация судовых энергетических установок».

Представлен справочный материал для проведения необходимого выбора элементов СЭУ в курсовом и дипломном проектировании. Методические указания идут в обеспечение компетентности по ПДНВ-78/95, раздел А-III/2, функция «Морская механика на уровне управления», пункт «Эксплуатация, наблюдение и оценка работы двигателя и его нагрузки»..

Методические указания утверждены на заседании кафедры ЭМСС _____ г.,
протокол № _____

Рецензент: Попов В.П., кандидат технических наук, доцент.

Допущено учебно-методическим центром и научно-методическим Советом СевНТУ (протокол №4 от 11 декабря 2002г.) в качестве методических указаний.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Классификация чувствительных элементов и основные требования, предъявляемые к ним	5
2. Чувствительные элементы и датчики температуры	6
3. Чувствительные элементы и датчики давления	11
4. Чувствительные элементы и датчики расхода	16
5. Чувствительные элементы и датчики уровня жидкости	22
6. Чувствительные элементы и датчики скорости вращения	26
7. Датчики угловых перемещений	29
8. Датчики измерения крутящего момента	31
9. Кислородомеры	33
10. Газоанализаторы	34
11. Солемеры	35
Библиографический список	36

ВВЕДЕНИЕ

При решении задач, связанных с автоматизацией современных судовых энергетических установок, необходимо учитывать возрастающие требования к точности работы системы автоматического регулирования (САР) и управления (САУ) СЭУ, повышение сложности систем автоматики, осуществляющих измерение, регулирования и контроль таких физических параметров, как температура, давление, расход, частота вращения и т.д., характеризующих работу теплоэнергетической установки. Для измерения этих величин используются чувствительные элементы. Чувствительный элемент, как правило, реагирует на отклонение регулируемой величины от заданного значения и преобразовывает это отклонение к виду, удобному для дальнейшего использования в САР и САУ. В большинстве случаев чувствительный элемент должен не только реагировать на отклонение, но и измерять величину этого отклонения, т.е. выполнять функцию измерителя. Поэтому часть чувствительных элементов относят к измерительным элементам.

Чувствительные элементы совместно с преобразователями, в которых измеряемые величины преобразуются в другие величины, более удобные для их передачи в цепь регулирующих устройств, называют датчиками. Однако очень часто в практике не делают различия между понятиями чувствительный элемент и датчик.

I. КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Чувствительные элементы и датчики относятся к основным элементам системы автоматического регулирования и управления. Они предназначены для измерения различных физических величин: температуры, давления, расхода, уровня жидкости, скорости вращения и т.д.

Основным показателем, характеризующим качество датчика, является его чувствительность. Под чувствительностью понимается отношение изменения выходной величины (y) или его приращения (Δy) к изменению входной величины (x) или (Δx), т.е.

$$\kappa = \frac{y}{x}; \text{ или } \kappa = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

Последнее соотношение можно записать в виде:

$$\kappa = \frac{dy}{dx}.$$

Чувствительные элементы весьма разнообразны по конструкции и принципу действия. Конкретно, конструкция и принцип действия чувствительных элементов определяется природой измеряемой величины и способом её измерения. Классифицировать чувствительные элементы удобнее всего по принципу измеряемого ими параметра. Например, чувствительные элементы температуры, давления, расхода, уровня жидкости, скорости вращения и т. д.

Есть и другие виды классификаций. Например:

- по роду энергии и рабочего тела (гидравлические, пневматические, электрические);
- по характеру модуляции сигнала (амплитудные, частотные, фазовые) и т.д.

Чувствительные элементы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- быть надёжными в работе во всех условиях;
- иметь требуемую чувствительность;
- иметь допустимые габариты и массу;
- обладать допустимой инертностью;
- быть малочувствительными по отношению к внешним явлениям;
- на выходе из чувствительного элемента сигнал должен быть достаточно большим, не требующим большого каскада усилений.

2. ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для измерения температуры в системах автоматического регулирования и управления СЭУ применяются различные чувствительные элементы, в основу которых положены тепловое расширение, изменение электрической проводимости, появление термоэлектродвижущей силы, изменение интенсивности излучения и т.д.

Температура измеряется в градусах Цельсия ($t^{\circ}\text{C}$), а абсолютная температура в градусах Кельвина (Т).

$$t = T - 273,15^{\circ}\text{C}.$$

В практике автоматизации СЭУ используются следующие чувствительные элементы и датчики температуры:

- жидкостные;
- биметаллические;
- дилатометрические;
- термоманометрические (жидкостные, парожидкостные и газовые);
- термометры сопротивления;
- термоэлектрические (термопары);
- терморadiационные (пирометры);
- фотоэлектрические.

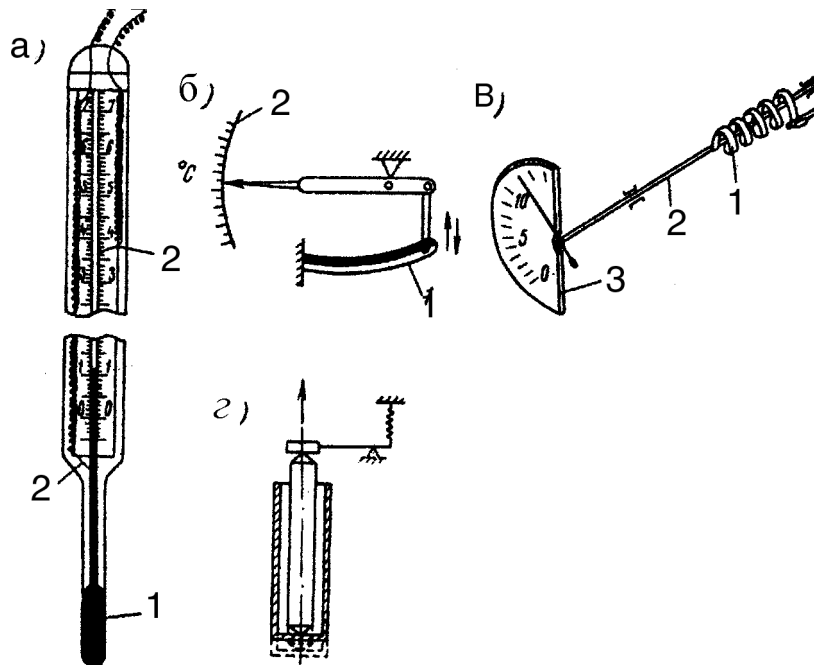


Рисунок 2.1 - Схемы термометров расширения:

- а)- жидкостно-стеклянный контактного типа: 1- баллон с ртутью; 2- контакты;
 б)- биметаллический с плоской пружиной: 1- пластины; 2- шкала;
 в)- биметаллический со спиральной пружиной: 1- спиральная пружина;

2- валик; 3- шкала;
 2)- дилатометрический

Принцип действия: основан на различии коэффициентов теплового расширения различных веществ.

Диапазон измеряемых температур: от 200 до 500 °С.

Термометрические жидкости: ртуть, толуол, спирт этиловый (96 %), пентан, технический пентан.

Термометрические стёкла: марка 600, типа 59, плавленое кварцевое стекло.

Область применения: судовые системы охлаждения, кондиционирования воздуха, холодильные машины.

Достоинства: низкая стоимость, сравнительно высокая точность.

Недостатки: инерционность, низкая ударность, сложность (практически) дистанционной передачи и регистрации показаний.

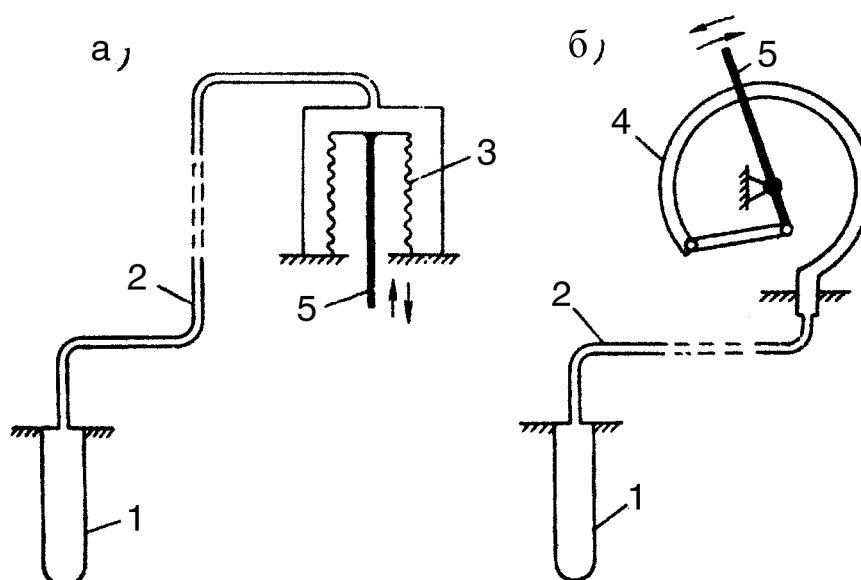


Рисунок 2.2 - Схемы термоманометрических чувствительных элементов:

а)- с сильфонным вторичным прибором;

б)- с вторичным прибором в виде спиральной трубчатой пружины

1- ампула с наполнителем; 2- капилляр; 3- сильфон; 4- спиральная трубка;
 5- выходной рычаг.

Принцип действия: основан на зависимости давления или объёма термометрического вещества от его температуры.

Диапазон измеряемых температур: от -130 до +550 °С.

Термометрическое вещество ампулы и капилляра:

ЖИДКОСТЬ (ртуть, ксилол);

ПАР - низкокипящая жидкость (хлорметил, хлорэтил, ацетон, бензол) для ампулы и вспомогательная жидкость (смесь глицерина с водой или спиртом) для капилляра и манометра;

ГАЗ- (азот, гелий).

Область применения: на судах в измерительных органах автоматических регуляторов и сигнализаторов температуры и в манометрических термометрах.

Достоинства: низкая стоимость, возможность дистанционной передачи и регистрации показаний (до 60 м.).

Недостатки: инерционность, невысокая точность.

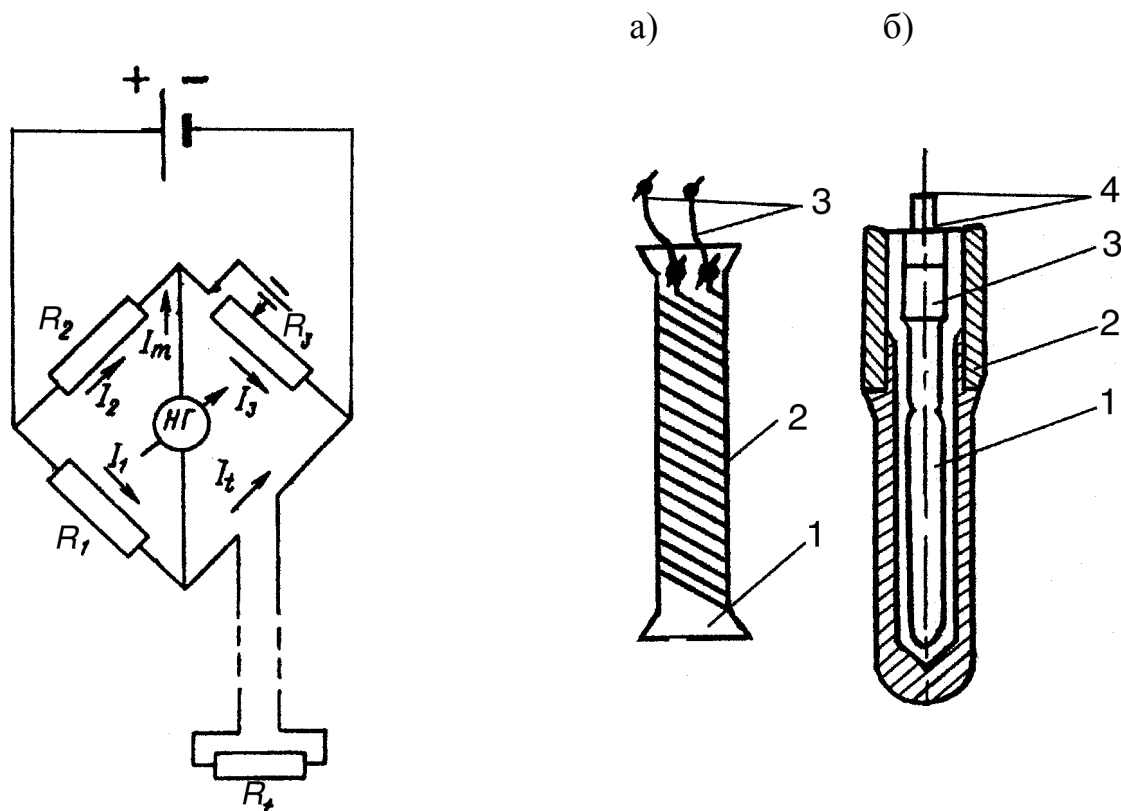


Рисунок 2.3 - Схема термометра сопротивления:

а) -чувствительный элемент платинового термометра сопротивления:

1-каркас; 2-платиновая проволока; 3-серебряные выводы

б)- защитный чехол:

1-чувствительный элемент; 2-корпус чехла; 3-фарфоровые бусы; 4-выводы.

R_1, R_2 - известные постоянные сопротивления;

R_3 - известное переменное сопротивление;

R_t - измеряемое сопротивление, зависящее от температуры.

Особенность работы измерительных мостов.

$$R_3 = \frac{R_2}{R_1} R_t - \text{условие равновесия моста, как видно из равенства, не зависит от}$$

колебаний напряжения источника, что обеспечивает высокую точность измерений.

Неуравновешенный измерительный мост имеет такую же принципиальную схему (рисунок 2.3.) и при постоянном напряжении источника сила тока в диагонали моста I_m есть функция измеряемого сопротивления R_t .

Достоинства неуравновешенного измерительного моста в сравнении с уравновешенным: простота и надёжность, но погрешность его выше, так как на точность показаний влияют колебания напряжений источника.

Область применения и типы:

На судах применяют термометры сопротивления с уравновешенным мостом: МПР2, ММП 02Т, МПР 12Т, АМ-140 и др.

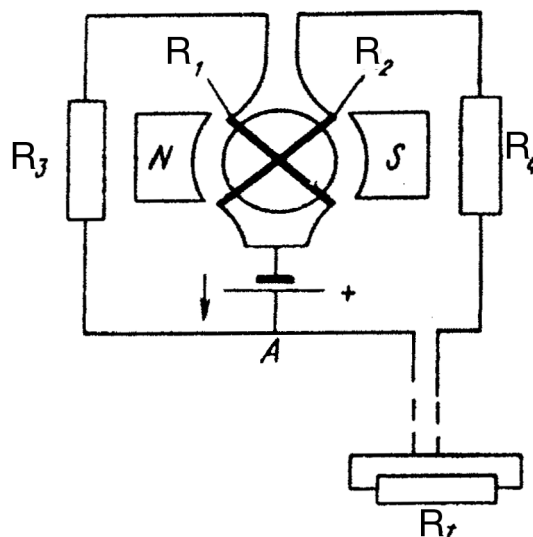


Рисунок 2.4 - Схема термометра сопротивления с логометром.

Принцип действия: логометр - электроизмерительный прибор, отклонение подвижной системы в котором определяется отношением 2-х токов в скрещенных рамках, находящихся в поле постоянного магнита.

Диапазон измерения: от -120 до $+550$ $^{\circ}\text{C}$.

Особенность включения: как правило, в судовой практике включается по схеме неуравновешенного моста.

Область применения: измерение температуры в различных судовых системах.

Достоинства: независимость показаний от напряжения источника питания, простота и надёжность измерений.

Недостатки: невысокая точность показаний (в сравнении со схемой уравновешенного моста).

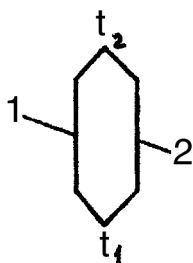


Рисунок 2.5 - Схема термопары:

1 и 2- проводники из разных материалов;

t_1, t_2 – температуры горячего и холодного спаев

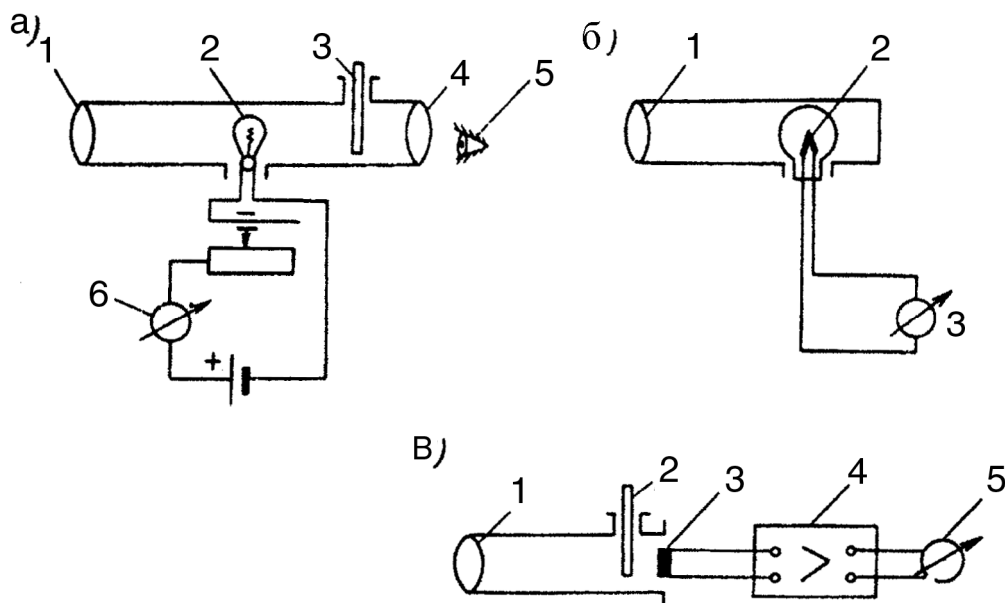


Рисунок 2.6 - Схемы пирометров излучения:

- а- оптического: 1- объектив; 2- лампа; 3- светофильтр; 4- окуляр;
5- глаз человека; 6- милливольтметр;
б- радиационного: 1- линза или вогнутое зеркало; 2- термоэлемент;
3- милливольтметр;
в- фотоэлектрического: 1- объектив; 2- светофильтр; 3- фотоэлемент;
4- усилитель; 5- вторичный прибор

Принцип действия пирометров и их типы:

а) **ОПТИЧЕСКОГО** - на использовании зависимости интенсивности монохроматического излучения от температуры в видимой части спектра и математически описывается формулой Планка ($E=f(\lambda, T)$ для $T < 3000$ K); типы-ОППИР-55 и др.;

б) **РАДИАЦИОННОГО** - на тепловом действии излучения нагретого измеряемого тела и математически описывается формулой Стефана-Больцмана; тип-РАПИР;

в) **ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО** - на зависимости возникающего в фотоэлементе тока от интенсивности падающего на него монохроматического излучения; тип-ФЭП;

Область применения: в основном на судах находят применение оптические пирометры, измеряющие температуру в топках котлов.

Достоинства: возможность измерения высоких температур (верхний предел шкалы практически неограничен), измерение температуры в случае, когда непосредственный контакт с нагретым телом невозможен.

Недостатки: оптические пирометры требуют непосредственного участия человека при измерении, точность радиационного и фотоэлектрического пирометров ниже, чем оптического.

3. ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

Давление жидкости, пара или газа определяется силой, действующей на единицу площади поверхности по направлению нормали к поверхности. Различают абсолютное $P_{абс}$, атмосферное $P_{атм}$, избыточное давление $P_{изб}$ и разрежение $P_{разр}$ и измеряется в $н/м^2$ (Па).

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{атм}; \quad P_{разр} = P_{атм} - P_{абс}.$$

Принцип действия датчиков давления (перепада давлений и разрежения) независимо от конструктивного исполнения состоит в том, что контролируемая среда воздействует непосредственно или через импульсные трубки на упругий чувствительный элемент, который при этом деформируется пропорционально приложенному давлению или разности давлений.

В зависимости от величины измеряемого параметра, а также конструктивного исполнения датчика, в качестве чувствительных элементов используются манометрические трубчатые пружины, мембраны, сильфоны и т.д.

В практике автоматизации судовых энергетических установок нашли широкое применение следующие чувствительные элементы и датчики:

- жидкостные;
- упругие (трубка Бурдона, сильфоны, мембраны);
- пьезоэлектрические;
- емкостные;
- индуктивные;
- потенциометрические;
- реостатные;
- магнитоупругие;
- световолоконные.

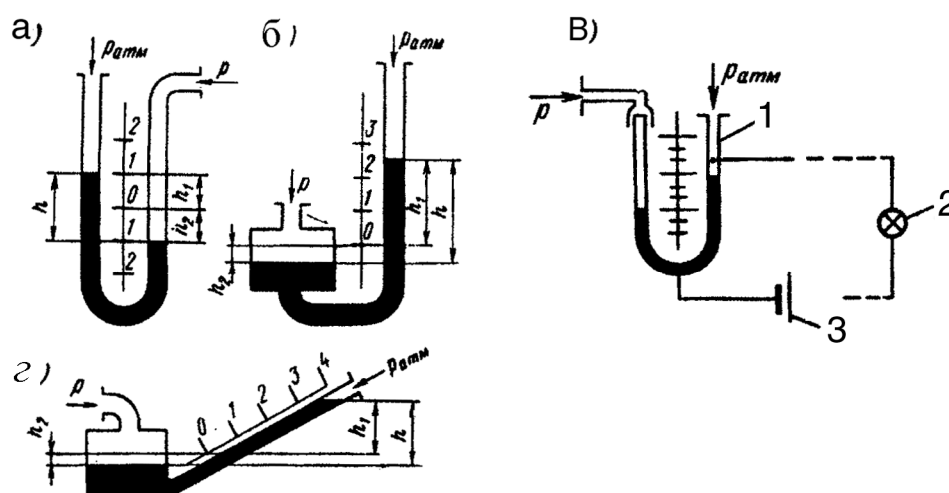


Рисунок 3.1 - Жидкостные манометры:

а) - U-образный; б) - чашечный; в) - с наклонной трубкой; г) контактный.
1-манометр; 2- сигнальная лампа; 3-источник тока

Принцип действия: измеряемое давление сопоставляется с давлением столба жидкости.

РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ: этиловый спирт, керосин, бензол, толуол, вода, глицерин (безводный), ртуть и др.

Область применения: судовые системы теплотехнического контроля при испытаниях судовых установок.

Основная погрешность: 1,6 % , 2,5 % .

Достоинства: простота, малая стоимость.

Недостатки: невозможность дистанционной передачи и регистрации показаний, малые измеряемые давления.

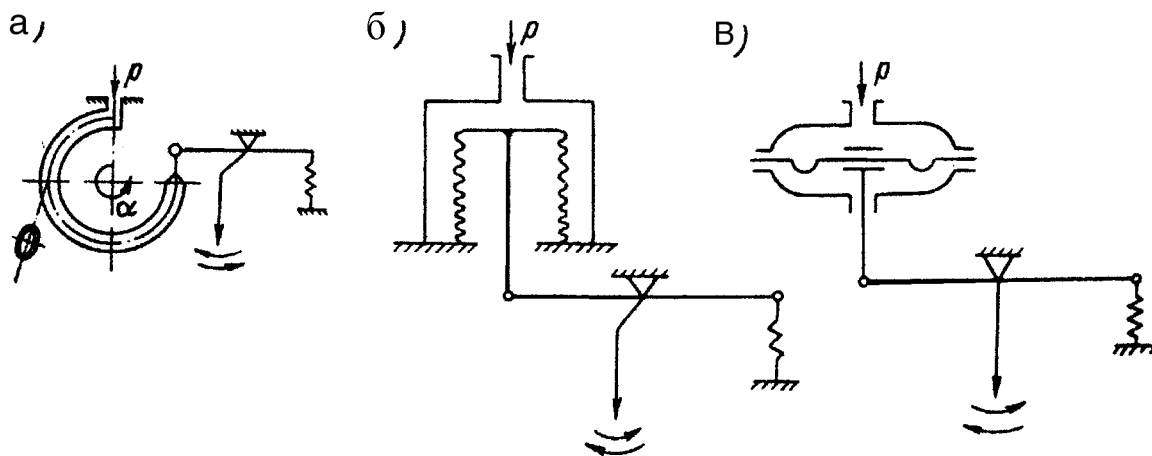


Рисунок 3.2 - Датчики электрических манометров:

а)- с одновитковой трубчатой пружиной; б)- с сильфоном; в) - с мембраной

Принцип действия: основан на зависимости деформации упругих чувствительных элементов от давления.

Диапазон измерения: с одновитковой трубчатой пружиной- до 1600 кгс/см^2 , (160 Мпа), сильфона- до 120 кгс/см^2 (12 Мпа), мембраны- до $1,5 \text{ кгс/см}^2$ ($0,15 \text{ Мпа}$).

Основные типы манометров с одновитковой трубчатой пружиной: ОБМ-100, МОШ-100, ОБМГ-100, МГ_нОШ-100, ОБМГ_у-100, ОБМ-160, МОШ-160,

Мановакуумметры- ОБМВ-100, ОБМВ-160, МВОШ-100, МВОШ-160, ОБВ-100, ОБВ-160, ВОШ-100, ВОШ-160 и др.

Основная погрешность: пружинных манометров: 1,6, 2,5 %.

Область применения: судовые системы теплотехнического контроля и измерительные органы автоматических регуляторов давления.

Достоинства: простота, малая стоимость, широкий диапазон измерения.

Недостатки: невозможность дистанционной передачи и регистрации показаний.

ПРИМЕЧАНИЕ- погрешность образцовых манометров существенно ниже и составляет 0,4 %.

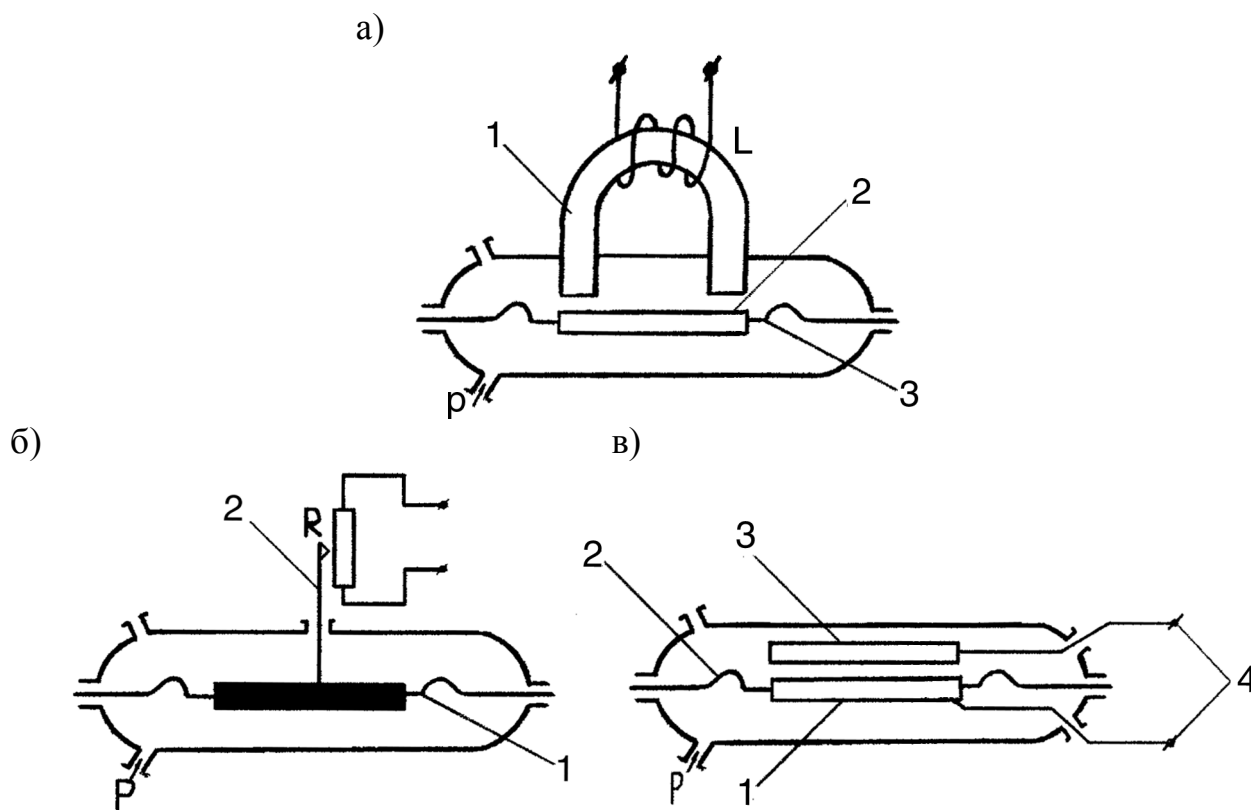


Рисунок 3.3 - Датчики электрических манометров:
а) - индуктивный; б) - реостатный; в) - емкостной

Принцип действия основан:

а) ИНДУКТИВНОГО-на изменение индуктивности от механического перемещения мембраны в зависимости от давления;

б) РЕОСТАТНОГО-на преобразовании механического перемещения мембраны от изменения давления в электрическое сопротивление или напряжение;

в) ЕМКОСТНОГО- на изменении емкости при механическом перемещении одной из пластин от изменения давления.

Основные типы корабельных датчиков давления: МПС-1, МДС-5М, ММС-3.

Диапазон измерения: 0,1.....40 Мпа.

Достоинства электрических манометров: возможность дистанционной передачи и регистрации показаний, удобство использования в системах автоматизированного дистанционного контроля.

Недостатки: относительная дороговизна и сложность по отношению к манометрам с упругими чувствительными элементами.

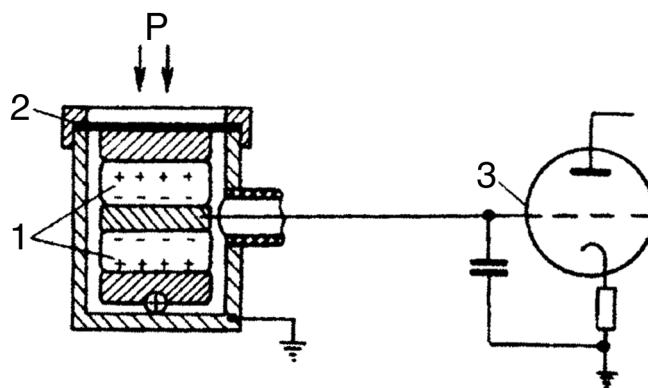


Рисунок 3.4 - Пьезоэлектрический чувствительный элемент:
1- кварцевая призма; 2- мембрана; 3- электронный усилитель

Принцип действия: основан на выделении электрических зарядов на поверхности кристалла кварца (и других кристаллов) при его сжатии или растяжении (пьезоэлектрический эффект).

Особенности работы и использования:

Заряды, возникающие в пьезоэлектрических чувствительных элементах, подвержены быстрой утечке в измерительной цепи. Поэтому их применяют главным образом при измерении давления в быстроменяющихся процессах.

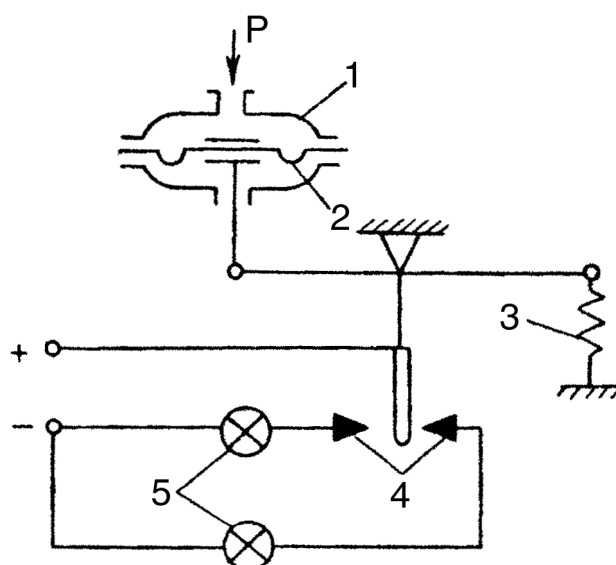


Рисунок 3.5 - Принципиальная схема сигнализатора давления:
1- корпус; 2- мембрана; 3- пружина; 4- контакты; 5- сигнальные лампы

Принцип действия: основан на преобразовании деформации упругого тела, вызываемой контролируемым давлением.

Область применения: для сигнализации о повышении или понижении относительного заданного значения давления масла, воды и т.п. в судовых системах.

Типы сигнализаторов: СД, РДК, СДК и др.

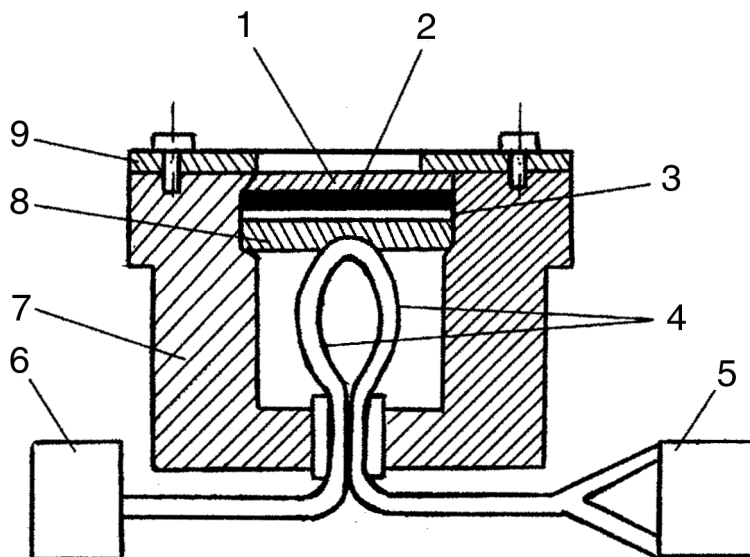


Рисунок 3.6 - Волоконно- оптический датчик давления мембранного типа:
 1- мембрана; 2- светопоглощающий слой; 3- прокладка; 4- световое волокно;
 5- приёмник излучения; 6- источник излучения; 7- корпус; 8- призма;
 9- крышка

Принцип действия: под воздействием давления на мембрану 1 происходит изменение зазора между слоем 2, поглощающим излучение, и основанием призмы 8, приводящее к нарушению полного внутреннего отражения на поверхности основания призмы. В результате на приёмник излучения 5 поступает излучение, промоделированное по интенсивности в соответствии с изменением величины зазора, а следовательно, и с изменением давления.

Достоинства: высокая чувствительность и точность, устойчивость к электромагнитным помехам и радиационным воздействиям, электрическая пассивность.

4. ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ДАТЧИКИ РАСХОДА

Под расходом понимается количество вещества, протекающего через поперечное сечение трубопровода в единицу времени. Различают мгновенный расход, и средний расход за определённый промежуток времени. Различают также объёмный Q , м³/с и массовый G , кг/с расходы, связанные соотношением

$$G = \rho \cdot Q,$$

где ρ - плотность вещества в потоке, кг/м³.

Измерение расхода жидкости, пара или газа осуществляется либо методом непосредственного измерения с помощью органов, устанавливаемых в трубопроводах, либо методом косвенного измерения, основанного на измерении падения давления на гидравлическом сопротивлении в трубопроводе. Наиболее широкое распространение в судостроении получил косвенный метод измерения, при котором в качестве чувствительных элементов датчиков расхода применяются суживающиеся устройства. Суживающиеся устройства выполняются в виде стандартных диафрагм, сопел и расходомерных трубок Вентури.

В системах автоматического регулирования судовых энергетических установок в качестве чувствительных элементов и датчиков расхода жидкости, пара и газа применяются:

- анемометрические;
- дроссельные;
- гидродинамические;
- ультразвуковые;
- электромагнитные;
- ротаметрические;
- калориметрические;
- световолоконные датчики.

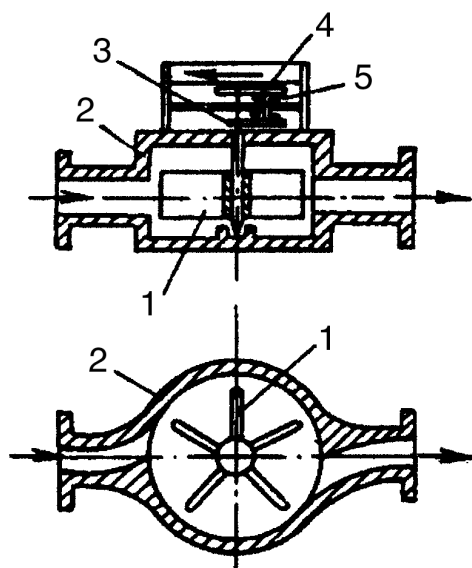


Рисунок 4.1 - Скоростной счётчик:

- 1- вертушка; 2- корпус; 3- передаточный механизм;
4- счётный механизм; 5- сальник

Принцип действия: основан на зависимости частоты вращения вертушки от скорости потока (расхода).

Типы судовых водомеров: РСК-50, дозатор РДК-75/90, СР2.

Пределы измерения: $10^{-4} \dots 30 \text{ м}^3/\text{с}$.

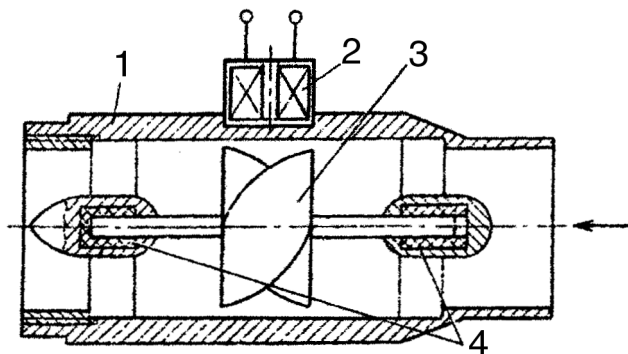


Рисунок 4.2 - Тахометрический турбинный расходомер:
1- корпус; 2- узел съёма сигнала;
3- турбина; 4- подшипники

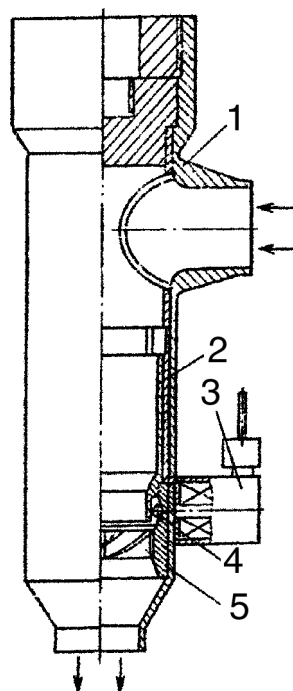


Рисунок 4.3 - Тахометрический шариковый расходомер ШТОРМ-32м:
1-корпус; 2-втулка; 3-магнитоиндукционный преобразователь (узел съёма сигнала);
4- шарик; 5- направляющий аппарат

Принцип действия тахометрического турбинного расходомера основан на измерении окружной скорости вращения тела, увлекаемого во вращательное движение потоком жидкости.

Основные достоинства: высокая точность, широкий диапазон измерения, малая инерционность.

Основные недостатки: ограниченный ресурс работы (1000...2000 ч) из-за наличия подшипника, зависимость показаний от параметров и теплофизических свойств среды.

Область применения: из-за малого ресурса работы используется, как правило, в экспериментальных измерениях.

Принцип действия тахометрического шарикового расходомера ШТОРМ-32м основан на измерении скорости закрученного потока по частоте вращения шара, помещённого в поток.

Основные достоинства: удовлетворительный ресурс работы (до 25000 ч), отсутствие импульсных трубок, широкий диапазон измерения, малая инерционность, простота и компактность конструкции.

Основные недостатки: наличие подвижного элемента, зависимость показаний от теплофизических свойств жидкости.

Основная погрешность- 1,5 %.

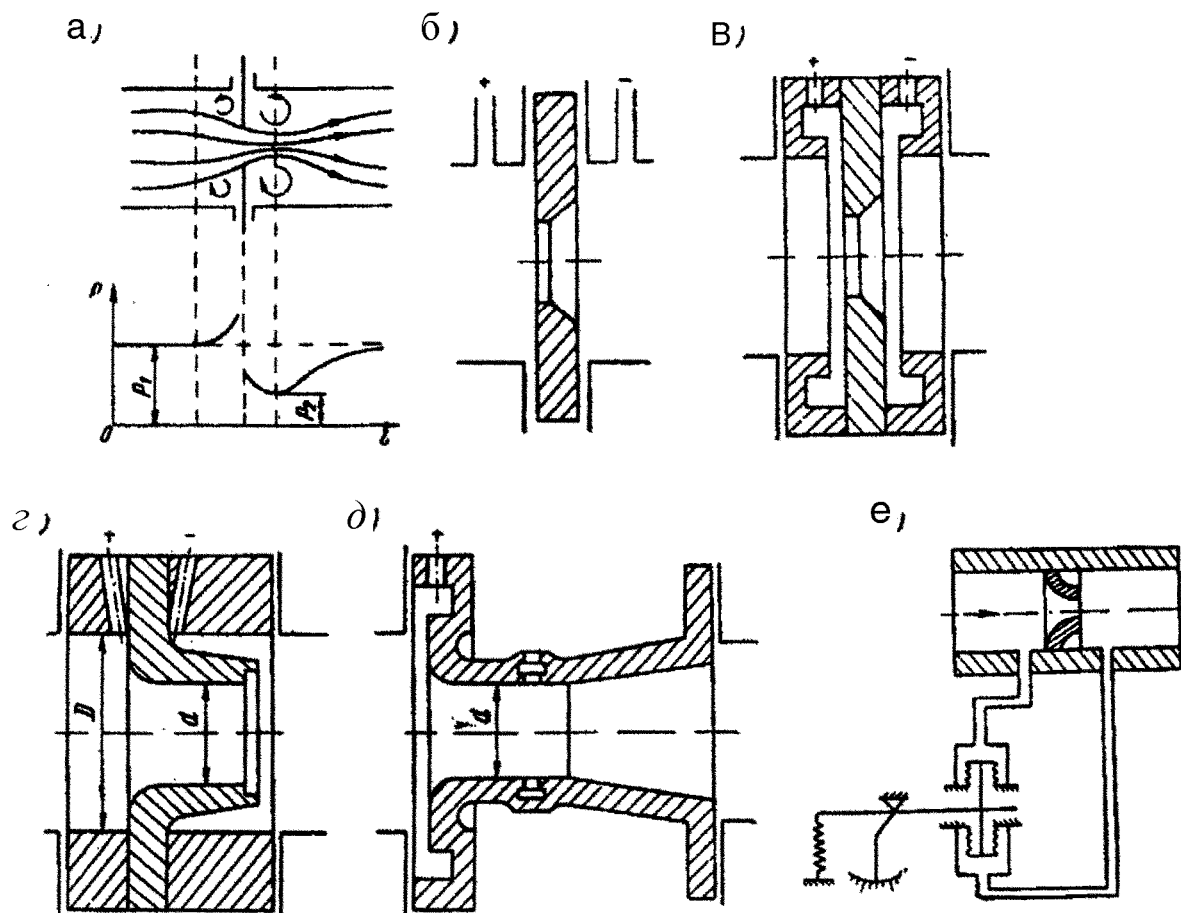


Рисунок 4.4 - Дроссельные чувствительные элементы:

а) - распределение струй жидкости и статического давления на стенку трубопровода в окрестности дроссельного устройства

(P -давление, ℓ - длина трубопровода);

б)- диафрагма дисковая; в) -диафрагма камерная; г)- сопло; д) трубка Вентури;

е)-схема дроссельного расходомера

Принцип действия: основан на зависимости мгновенного расхода от перепада давлений на установленном в трубопроводе сужающем устройстве.

Типы применяемых диафрагм: ДБ-2,5;ДБ-6;ДБ-10;ДБ-16;ДК-16;ДК-23;ДК-100.

Область применения дроссельных расходомеров на судах: системы автоматического регулирования и контроль расхода.

Достоинства: простота устройства, малая погрешность, надёжность в работе.

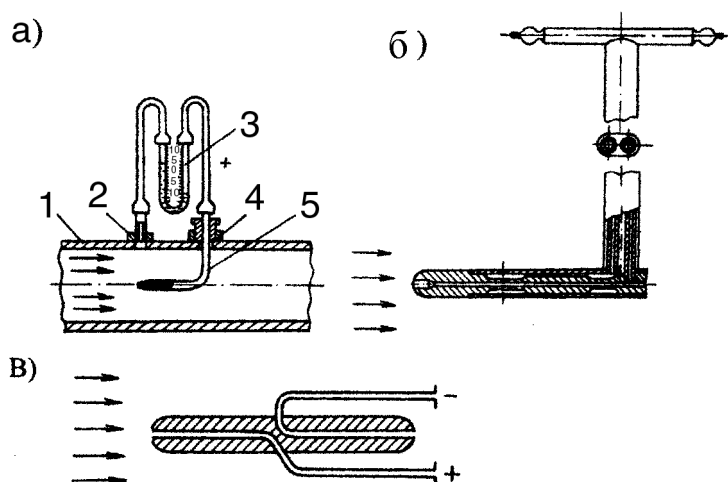


Рисунок 4.5 - Пневмометрические (гидродинамические) чувствительные элементы:

1- трубопровод; 2- штуцер; 3- дифманометр; 4- сальник;
5- трубка.

а)- трубка Пито; б)- трубка Прандтля; в)- трубка Клеве

Принцип действия: основан на зависимости мгновенной скорости потока в данной точке от разности между полным и статическим давлениями в этой точке.

Особенности применения: Гидродинамические чувствительные элементы определяют скорость лишь в одной точке потока и чтобы определить мгновенный объемный расход их размещают по сечению в нескольких точках.

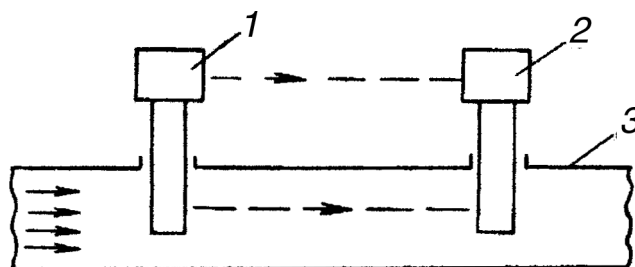


Рисунок 4.6 - Схема ультразвукового чувствительного элемента:

1- излучатель; 2- приёмник; 3- трубопровод

Принцип действия: основан на использовании зависимости сдвига фаз ультразвуковых колебаний, распространяемых в потоке и в воздушной среде (по направлению потока или против него), от скорости потока и, следовательно, от мгновенного расхода.

Типы расходомеров- на судах нашли применение ультразвуковые расходомеры типа УЗР, измеряющие расход жидкости в пределах 0...2 л/с с погрешностью $\pm 2\%$.

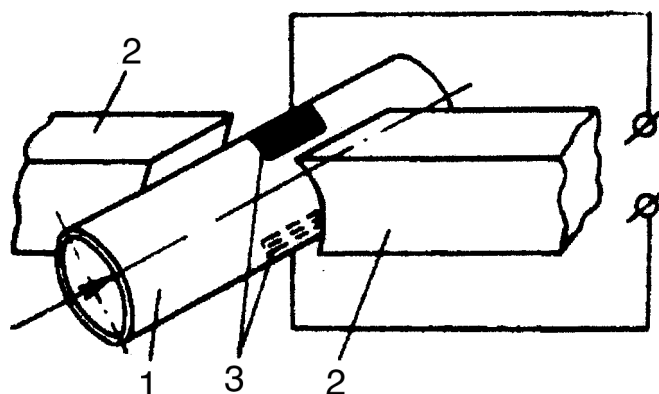
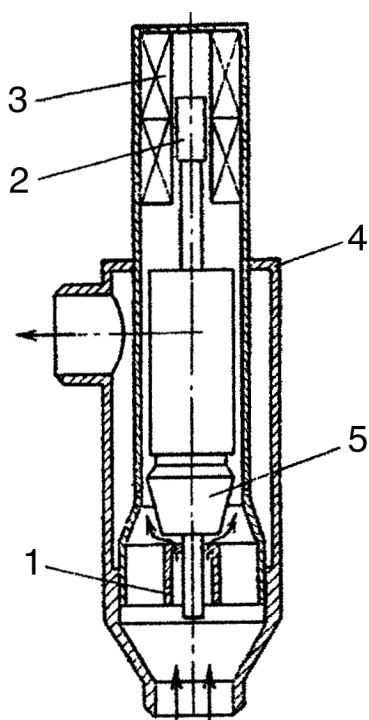


Рисунок 4.7 - Схема индукционного чувствительного элемента:
1- трубопровод; 2- полюса магнита; 3- контакты для съёма Э.Д.С.

Принцип действия основан на зависимости электродвижущей силы (Э.Д.С), наводящейся при движении потока проводящей жидкости между полюсами магнита, от скорости потока, однозначно связанной с мгновенным расходом.

Область применения и типы индукционных расходомеров: в системах контроля расходов электролитов, жидких металлов и других проводящих жидкостей; на судах нашли применение расходомеры типа 4-РИ с диапазоном измерения 0,1-100 л/с.



Поплавковый расходомер относится к расходомерам постоянного перепада давления.

Достоинства: простота устройства, достаточно равномерная шкала, значительный диапазон измерения.

Рисунок 4.8 - Поплавковый расходомер:

1-направляющие; 2- сердечник; 3- узел съёма сигнала; 4- корпус;
5- поплавок

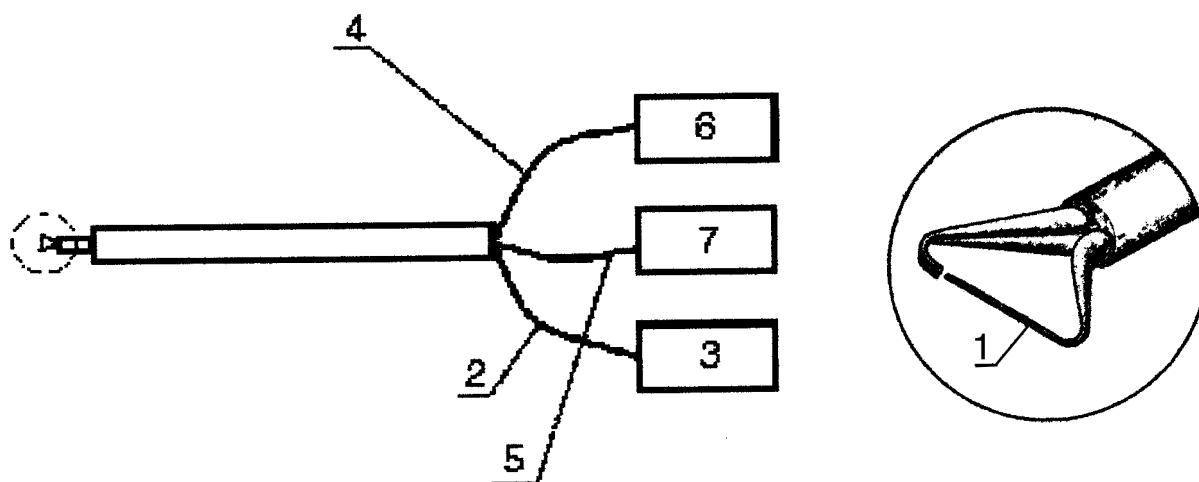


Рисунок 4.9 - Двухкомпонентный волоконно-оптический измерительный преобразователь скорости для прозрачных жидкостей (ДВОИПС-2):
 1- чувствительный элемент (светопровод); 2- светопровод; 3- источник света;
 4,5- приёмный светопровод; 6,7- приёмники света

Технические данные (ДВОИПС-2) :

Длина чувствительного элемента (ЧЭ) 1,1 мм;

Диаметр (ЧЭ)-8 мкм;

Собственная частота (ЧЭ)- 4500 Гц;

Полный диапазон- 0-5 м/с.

Принцип действия. Под действием вектора скорости жидкости чувствительный элемент прогибается, что влечёт за собой изменение величины светового потока, поступающего в фотоприёмники, а следовательно, и изменение сигналов фотоприёмников, которые усиливаются соответствующими усилителями.

Достоинства. Высокая чувствительность и точность, устойчивость к электромагнитным помехам и радиационным воздействиям, электрическая пассивность, термическая пассивность и коррозионная стойкость, так как волокна изготовлены из кварца.

5. ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ДАТЧИКИ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

Уровень жидкости (воды, топлива, масла и т.д.) в резервуарах определяется высотой, отсчитываемой от некоторой точки, принятой за начало отсчета и измеряется в единицах длины.

В системах автоматического регулирования и контроля судовых энергетических установок нашли применение следующие чувствительные элементы и датчики:

- поплавковые;
- мембранные;
- буйковые;
- емкостные;
- радиоактивные;
- термогидравлические;
- термостатные;
- световолоконные.

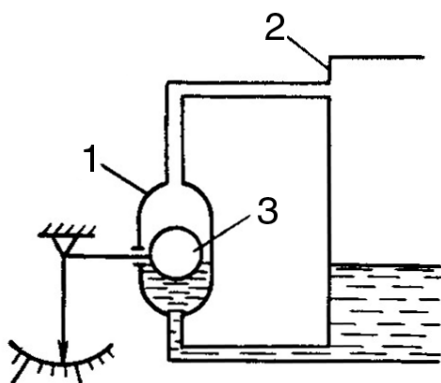


Рисунок 5.1- Поплавковый измеритель уровня жидкости:
1 – измерительная камера; 2 - объект измерения; 3 – поплавок

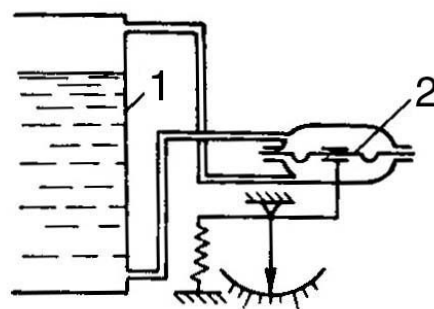


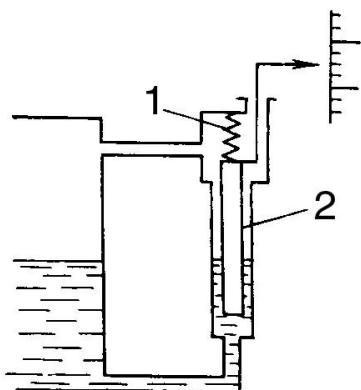
Рисунок 5.2- Мембранный измеритель уровня жидкости:
1 – объект измерения уровня;
2 – мембрана

Принцип действия поплавкового измерителя уровня жидкости (рисунок. 5.1): основан на поддержании полого тела силой Архимеда на поверхности жидкости, уровень которой измеряется.

Недостатки: ложность показаний при качке судна, низкая чувствительность из-за трения в рычажных сочленениях.

Принцип действия мембранного измерителя уровня жидкости (рисунок 5.2): основан на восприятии мембраной давления высоты столба жидкости в резервуаре, пропорционального уровню.

Достоинства: возможность установки чувствительного элемента на некотором расстоянии от контролируемого резервуара, скомпенсировано влияние качки судна на показания.



Принцип действия: основан на законе Архимеда (изменение выталкивающей силы при изменении уровня жидкости).

Достоинства: простота и надежность.

Недостатки: сложность дистанционной передачи показаний уровня.

Рисунок 5.3 - Буйковый измеритель уровня жидкости:

1 – пружина; 2 – боек

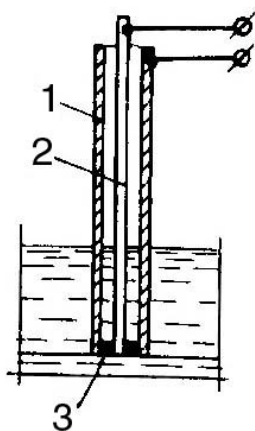


Рисунок 5.4 - Емкостный измеритель уровня жидкости:

1 – сосуд с жидкостью;
2 – стержень; 3 – изолятор

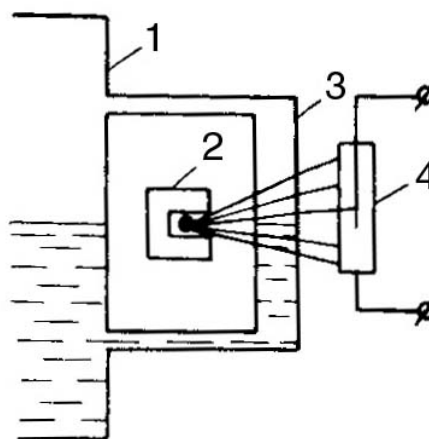


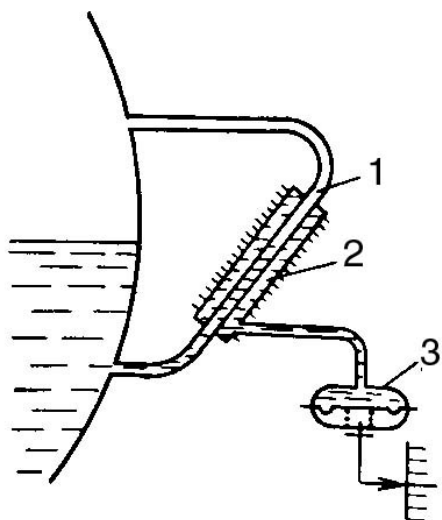
Рисунок 5.5 - Радиоактивный измеритель уровня жидкости:
1 – объект измерения уровня; 2 – источник гамма-излучения; 3 – сообщающийся сосуд; 4 – ионизационная камера

Принцип действия емкостного измерителя уровня (рисунок.5.4) основан на зависимости емкости конденсатора, пространство между пластинами которого частично заполнено жидкостью, от уровня этой жидкости.

Принцип действия радиоактивного измерителя уровня жидкости (рисунок.5.4) основан на использовании зависимости поглощения $\gamma(\alpha)$ –лучей от плотности среды, через которую они проходят.

Достоинства: достаточно высокая точность измерения, возможность дистанционной передачи показаний датчика уровня.

Недостатки: наличие радиоактивного изотопа.

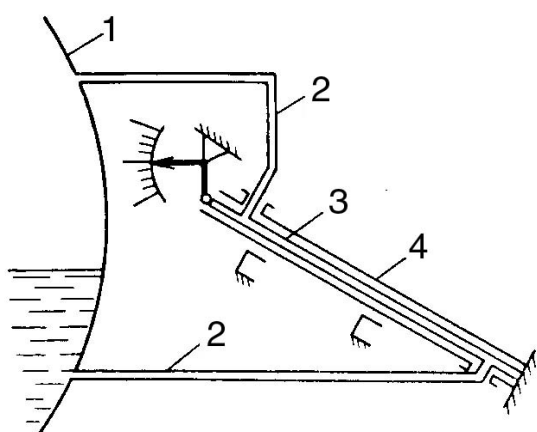


Принцип действия термогидравлического измерителя уровня жидкости:

В чувствительном элементе в зависимости от контролируемого уровня нагретой жидкости изменяется количество тепла, передаваемого в замкнутую полость, заполненную другой жидкостью, а следовательно, и давление в этой полости.

Рисунок 5.6 - Термогидравлический измеритель уровня жидкости:

1 – внутренняя полость термогенератора; 2 -внешняя полость термогенератора;
3 – мембрана



Принцип действия термостатного измерителя уровня жидкости: основан на зависимости температуры и, следовательно, теплового расширения заполненной нагретой жидкостью металлической трубки от уровня жидкости.

Рисунок 5.67- Термостатный измеритель уровня жидкости:

1 – паровой коллектор котла;
2 – сообщающие трубки;
3 – термостатная трубка

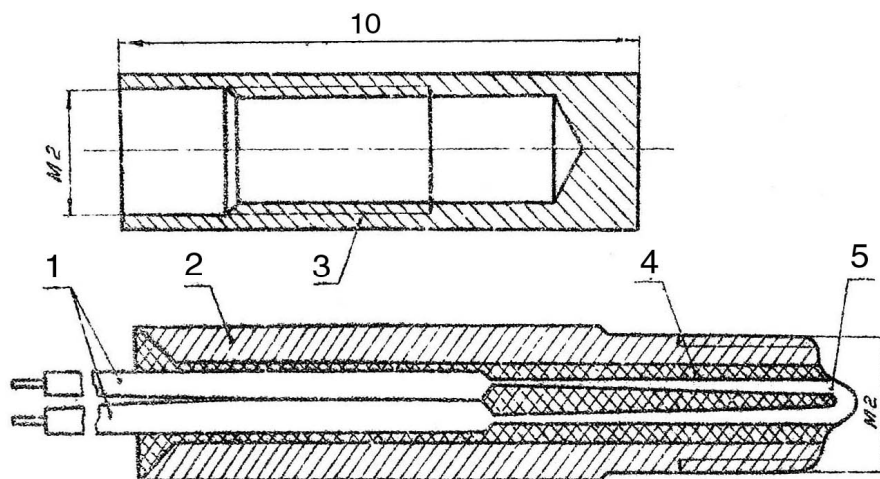


Рисунок 5.2 - Схема чувствительного элемента (ЧЭ) волоконно-оптического датчика уровня и индикатора газ-жидкость:

1 – оптическое волокно; 2 – корпус ЧЭ; 3 – защитный колпачок; 4 – клеевой наполнитель; 5 – рабочая поверхность ЧЭ

Принцип действия. Датчик работает в 2 – позиционном режиме («Да-нет») и основан на использовании эффекта нарушения полного внутреннего отражения излучения при «осушении» ЧЭ из жидкости.

Достоинства: устойчивость к электромагнитным помехам, малые габариты и инерционность.

Недостатки: неустойчивость работы при волнении и ряби на поверхности жидкости.

6. ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ДАТЧИКИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

Частотой вращения n называют число оборотов, совершаемых в секунду твердым телом, вращающимся вокруг неподвижной оси. Между частотой вращения n , об/с, угловой скоростью ω , рад/с и периодом T , с, существуют следующие зависимости:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n, \quad T = (1/n) = (2 \cdot \pi) / \omega.$$

В системах автоматического регулирования и контроля частоты вращения судовых механизмов находят применение следующие чувствительные элементы:

- механические центробежные;
- гидравлические центробежные;
- тахогенераторные;
- магнитоиндукционные;
- стробоскопические.

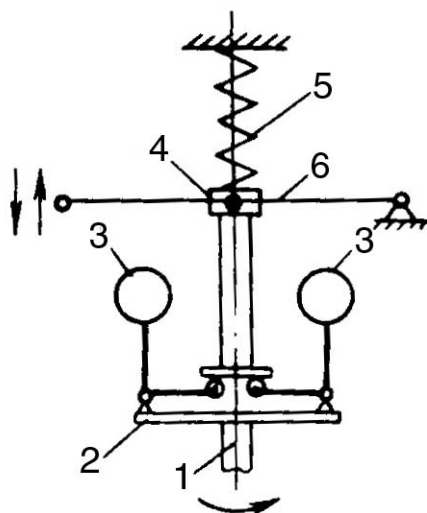


Рисунок 6.1 -

Центробежный маятник:

1 – валик; 2 – крестовина;

3 – грузы; 4 – муфта;

5 – пружина; 6 – рычаг

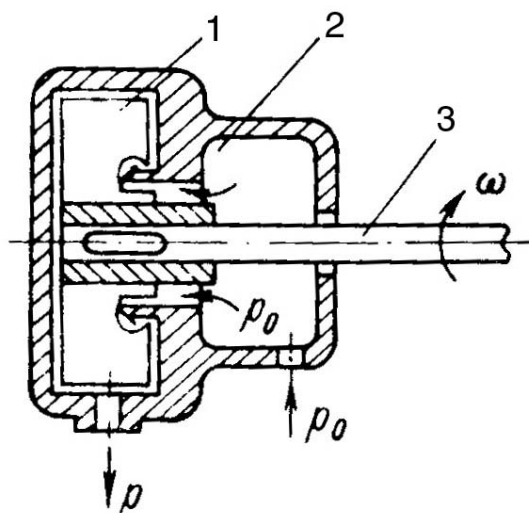


Рисунок 6.2 - Центробежный импеллер:

1 – крыльчатка; 2 – камера; 3 – вал

Принцип действия центробежного маятника (рисунок 6.1) основан на зависимости центробежной силы, действующей на вращающееся вокруг оси твердое тело, от частоты вращения.

Область применения – системы автоматического регулирования угловой скоростью судовых двигателей, защиты от предельного числа оборотов, стационарные и переносные тахометры.

Достоинства: высокая точность, отсутствие специального источника питания.

Недостатки: чувствительность к сотрясениям.

Принцип действия центробежного импеллера (рисунок 6.2): давление нагнетания его является функцией частоты вращения ротора.

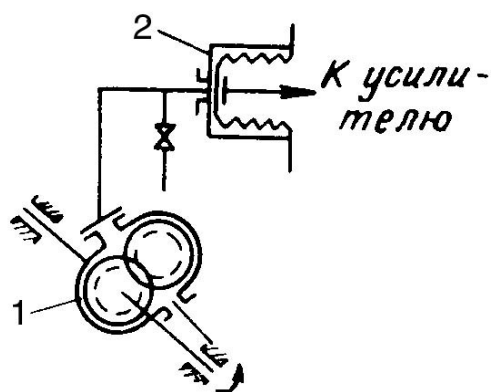


Рисунок 6.3 -
Шестеренный измеритель
частоты вращения:
1 – шестеренный насос; 2 –
сиффон

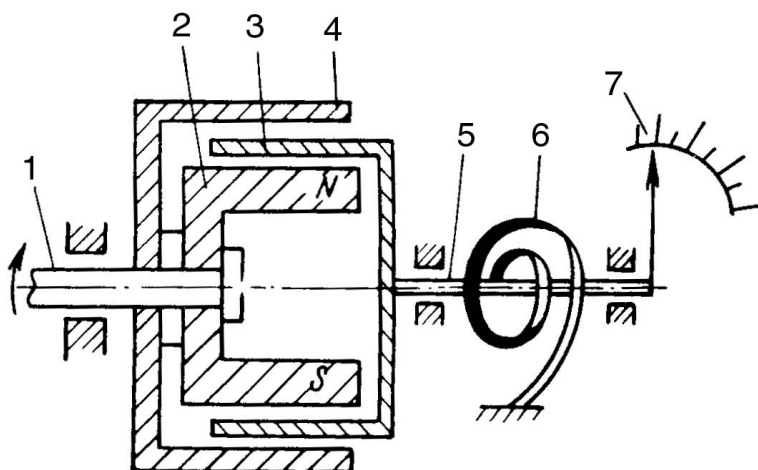


Рисунок 6.4 -
Магнитоиндукционный
элемент:

1 – вал; 2 – магнит; 3 – стакан;
4 – магнитопровод;
5 – ось; 6 – пружина; 7 – шкала

Шестеренный измеритель частоты вращения (рисунок 6.3): Рабочая жидкость – масло, как правило, от системы смазки подшипников.

Область применения – системы автоматического регулирования и защиты частоты вращения механизмов.

Достоинства: гидродинамические чувствительные элементы не подвержены воздействию сотрясений, удобство для дистанционной передачи выходного сигнала – давления масла.

Принцип действия магнитоиндукционного элемента (рисунок 6.4) основан на зависимости силы взаимодействия поля вращающегося постоянного магнита с индуцированным в металлическом стакане вихревыми токами от частоты вращения вала.

Типы. На судах нашли применение следующие модификации: ТКМ, ТКМС, ТЭ-204, ИТМ.

Достоинства: наличие равномерной шкалы, надежность в работе.

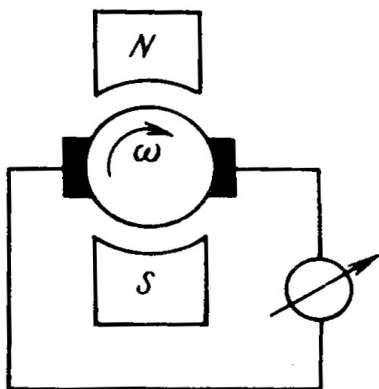


Рисунок 6.5 -
Тахогенератор

Принцип действия: основан на возникновении э. д. с. в проводнике при его движении в магнитном поле согласно закону электромагнитной индукции (т.е. это миниатюрный генератор переменного или постоянного тока, приводимый во вращение от вала, частота которого измеряется).

Область применения и типы.

Измерение частоты вращения гребных валов, синхроскопы. На судах нашли применение комплекты тахометров типы К16, К18.

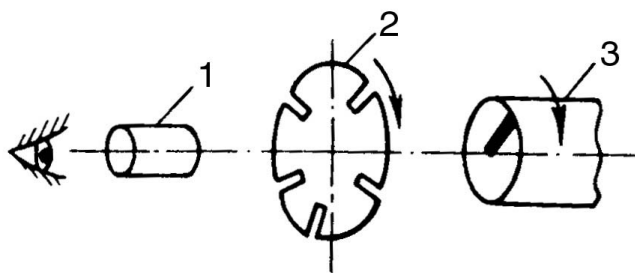


Рисунок 6.6 -
Стробоскопический
тахометр:
1 – окуляр; 2 – диск;
3 – вал

Принцип действия: основан на уравнивании измеряемой частоты вращения вала с известной частотой вращения диска путем наблюдений за прерывающимся световым потоком, поступающим от вращающегося вала.

Достоинства: высокая точность, возможность бесконтактного дистанционного измерения частоты вращения.

Недостатки: сложность кинематической схемы, необходимость непосредственного участия человека в процессе измерения.

7. ДАТЧИКИ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

В системах автоматического регулирования довольно часто приходится измерять угловые положения валов (задающего и исполнительного) или углы рассогласования между ними. Для этой цели наибольшее распространение получили индукционные сельсиновые датчики.

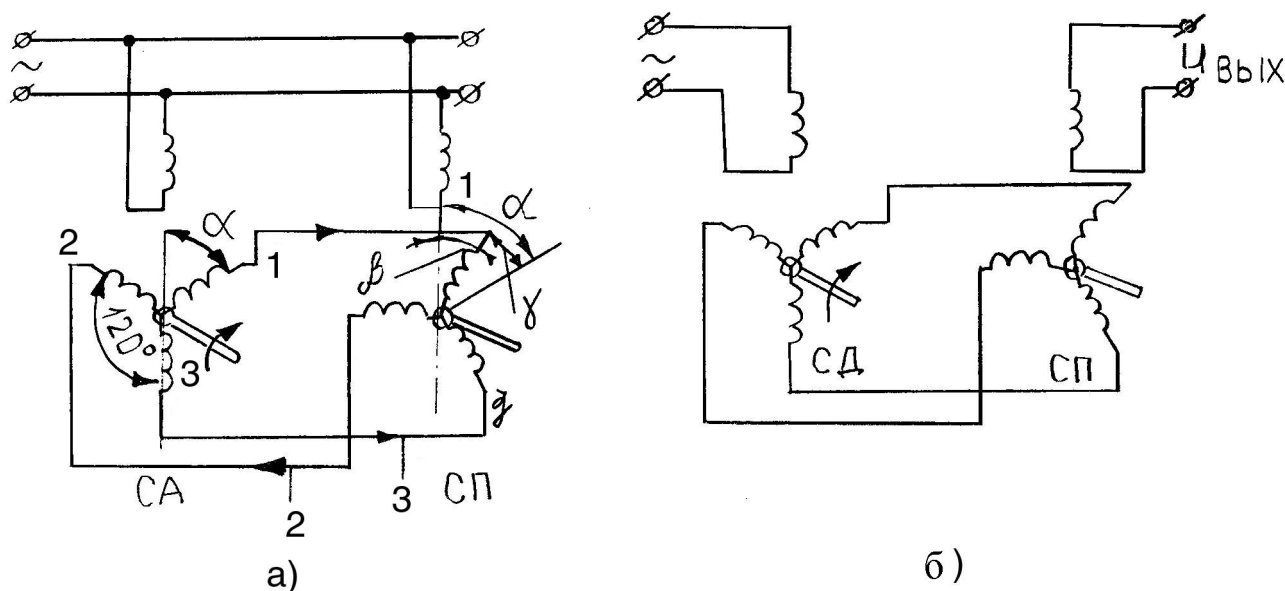


Рисунок 7.1 - Сельсины:

а) – индикаторный режим; б) – трансформаторный режим

Принцип действия. Сельсин – электромеханическое устройство, предназначенное для преобразования угловых и линейных перемещений в модулированное напряжение; выполнен в виде миниатюрной электрической машины переменного тока.

- а) В индикаторном режиме статорные обмотки обоих сельсинов получают питание от одного источника переменного тока, роторные обмотки соединены попарно (звездой). Статорные обмотки создают пульсирующие магнитные потоки, которые индуцируют соответствующие ЭДС в роторных обмотках. При одинаковых положениях валов соответственные ЭДС в фазах будут равны по величине и противоположны по направлению и уравнивающие токи в соединяющих линиях отсутствуют. При рассогласовании сельсина – датчика (СД) с сельсином – приемником (СП) на какой-то угол $\theta = (\alpha - \beta)$ в цепи синхронизации появятся уравнивающие токи, которые взаимодействуя с магнитными потоками СП, создают синхронизирующий момент, благодаря которому СП приходит в согласованное с СП положение.
- б) В трансформаторном режиме питающее напряжение подается только на один из статоров (обычно СД), роторные обмотки соединены тоже звездой. С обмотки статора СП снимается выходное напряжение $U_{\text{вых}}$. Оно равно нулю при разности углов поворота роторов 90° , т.к. результирующий поток в этом случае

не будет пересекать витков обмотки статора СП. Это положение и принимается за нулевое. Любое рассогласование сопровождается появлением, $U_{\text{вых}}$ величина которого является функцией синуса угла рассогласования θ .

Достоинства: Высокая точность и удобство для совместной работы с микро-ЭВМ.

Область применения на судах: Гирокомпасы, авторулевые, телеграфы, указатели положения органов регулирования, системы автоматического регулирования.

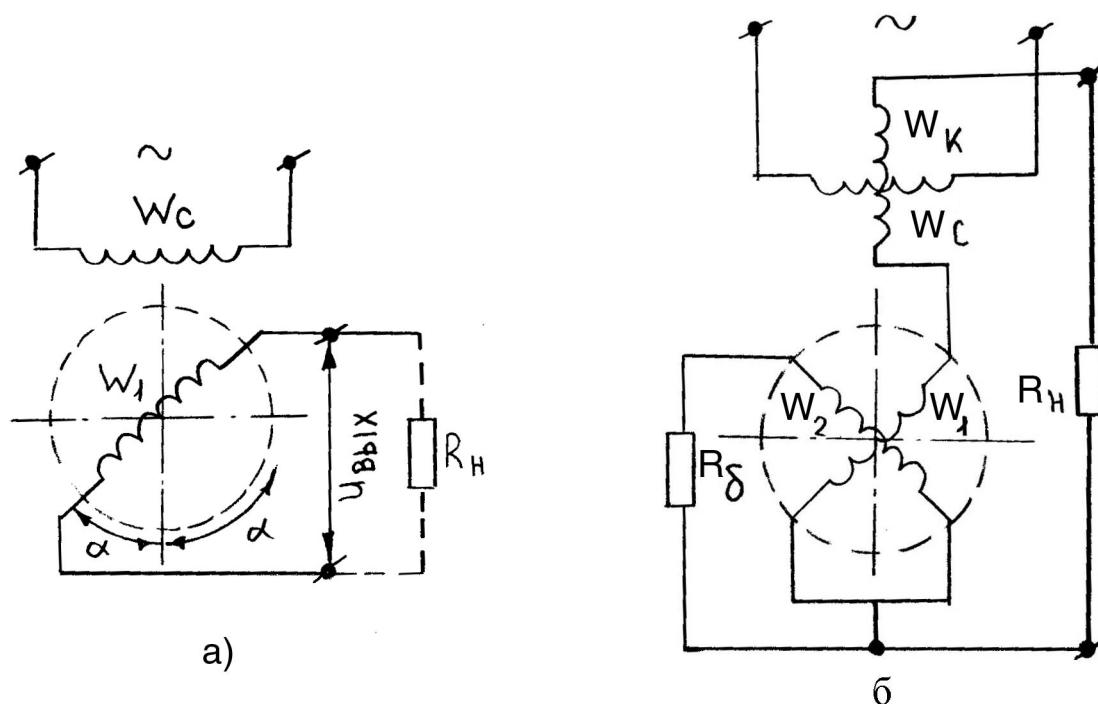


Рисунок 7.2 - Схемы вращающихся трансформаторов:
А))- двухобмоточный; б)- четырехобмоточный

Принцип действия. Вращающийся трансформатор (ВТ) представляет собой малогабаритную однофазную машину переменного тока.

а) Двухобмоточный ВТ. В сетевой обмотке возбуждения W_c создается пульсирующий магнитный поток, во вторичной обмотке индуцируется ЭДС. Коэффициент трансформации ВТ является синусоидальной функцией от угла поворота α . При отсутствии нагрузки ($R_n = \infty$).

$$U_{\text{вых}} = U_c \cdot (W/W_c) \cdot \sin \alpha = K_{\text{вт}} \cdot \sin \alpha$$

Недостатки. При подключении нагрузки синусоидальная зависимость искажается поперечной реакцией якоря. Этот недостаток устраняется в трех и четырехобмоточных ВТ.

б) В четырехобмоточном ВТ обмотка W_2 служит для компенсации поперечной составляющей реакции якоря, статорная обмотка W_k - квадратурная, обеспечивающая линейность статической характеристики $U_{\text{вых}} = f(\alpha)$ в пределах от 0 до 60° .

Область применения. Гирокомпасы, системы управления курсором,...

8. ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Крутящий момент совместно с частотой вращения однозначно определяют мощность, передаваемую вращающимся валом.

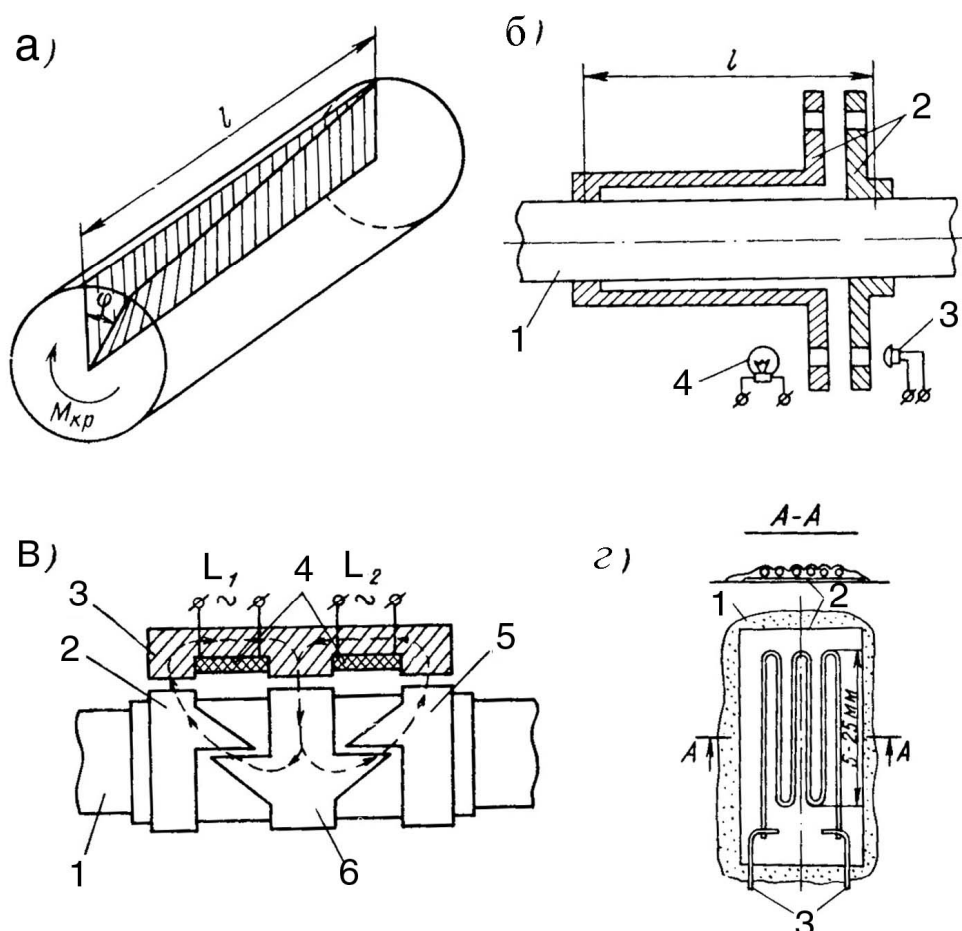


Рисунок 8.1 - Торсиометры:

а) – скручивание вала при передаче крутящего момента;

б) – фотоэлектрический датчик торсиометра:

1 – вал; 2 – диски с отверстиями; 3 – фотоэлемент; 4 – электролампа;

в)- индуктивный датчик торсиометра:

1-вал; 2,5,6-магнитопроводы; 3-сердечник; 4-индуктивная катушка

г) – проволочный тензодатчик:

1 – клей; 2 – бумага; 3 – выводы

При передаче мощности вращающимся валом происходит скручивание вала. Величина угла скручивания φ между сечениями вала, расположенного на расстоянии ℓ друг от друга, пропорциональна крутящему моменту:

$$\varphi = \frac{\ell}{E \cdot I} \cdot M_{кр},$$

где E - модуль упругости материала, из которого изготовлен вал; $I = \pi \cdot D^2 / 32$ - полярный момент инерции сечения круглого вала.

Для измерения величины угла скручивания вала между двумя его сечениями, характеризующими крутящий момент, наиболее часто применяют следующие датчики: фотоэлектрические, индуктивные, тензометрические (проволочные).

Принцип действия:

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО основан на зависимости интенсивности светового потока, идущего от источника к фотоэлементу, от угла скручивания вала и, следовательно, от крутящего момента;

ИНДУКТИВНОГО основан на изменении сопротивления катушек, включённых в измерительную электрическую сеть, являются функциями угла скручивания вала;

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО (проволочного) основан на зависимости электрического сопротивления проволочного проводника от его деформации, пропорциональной углу скручивания вала.

Торсиометры с фотоэлектрическими датчиками.

Датчик этого торсиометра (рисунок 8.1б) имеет диски с отверстиями, насаженные на вал на расстоянии ℓ друг от друга. Через отверстия в дисках проходит световой поток от электролампы к фотоэлементу. При передаче крутящего момента вал скручивается, отверстия в дисках смещаются друг относительно друга, ввиду чего изменяется интенсивность светового потока, падающего на фотоэлемент. Сила тока, вырабатываемая фотоэлементом, является функцией крутящего момента и служит выходным сигналом датчика, поступающим через усилитель на вторичный прибор.

Индуктивные датчики торсиометров (рисунок 8.1 в).

Прибор состоит из закреплённых на вращающемся валу 1 магнитопроводов 2,5 и 6 и индуктивных катушек 4, питаемых переменным током, витки которых уложены в неподвижном сердечнике 3. При неподвижном вале, зазоры в парах магнитопроводов 2,6 и 5,6 одинаковы, индуктивности L_1 и L_2 катушек равны при вращении вал скручивается, названные зазоры становятся разными по величине, что приводит к различию индуктивных сопротивлений катушек, воспринимаемому электрической сетью. Разность $L_1 - L_2$, являющейся функцией частоты вращения вала, служит выходным сигналом.

Проволочные тензодатчики торсиометров (рисунок 8.1 г).

Проволочный тензодатчик изготавливается из проволоки диаметром 0,02 – 0,05 мм, материал которой имеет высокое удельное сопротивление (константан, нихром, маганий). Проволока приклеивается зигзагообразно к полоске папиросной бумаги, сверху заклеивается вторым листом папиросной бумаги, и всё это наклеивается на деталь, малая деформация которой измеряется, в данном случае – на вал. Прямолинейные участки проволоки размещаются по направлению измеряемой деформации. Скручивание вала вызывает растяжение проволочного тензодатчика, ввиду чего электрическое сопротивление возрастает.

Достоинства: широкий диапазон измеряемых крутящих моментов, сравнительно высокая точность.

Недостатки: сложность в настройке и тарировке датчиков.

9. КИСЛОРОДОМЕРЫ

Кислородосодержание воды определяется количеством растворенного в ней кислорода и измеряется в миллиграммах кислорода, содержащегося в 1л воды.

Приборы для измерения кислородосодержания называют кислородомерами.

Электрический кислородомер, воспринимающий парциальное давление кислорода в среде, соприкасающейся с водой.

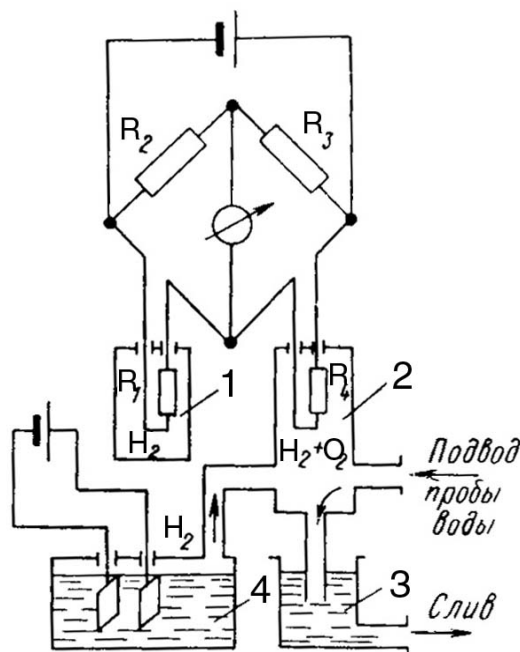


Рисунок 9.1 - Принципиальная схема электрического кислородомера:

1 – глухая камера с водородом; 2 – камера с водородом, поступающим из электролизера, и кислородом, выделяемым из пробы воды; 3 – гидравлический затвор на сливе пробы воды; 4 – электролизер с раствором КОН

Принцип действия: основан на зависимости концентрации кислорода в воде от парциального давления его в среде, соприкасающейся с водой. К одной из диагоналей неуравновешенного измерительного моста подводится ток от источника постоянного напряжения, в другую включён милливольтметр, шкала которого градуирована в миллиграммах кислорода на литр воды. Сопротивления R_2 , R_3 изготавливают из манганина, R_1 и R_4 – из платины. Глухая камера 1 заполнена чистым водородом, камера 2 заполняется водородом, непрерывно поступающим из электролизёра 4. При наличии в камере 2 кислорода теплопроводность от сопротивления R_4 к стенкам камеры ухудшается, т.к. теплопроводность кислорода в 7 раз меньше теплопроводности водорода, в результате повышения температуры сопротивление R_4 будет увеличиваться с увеличением кислорода.

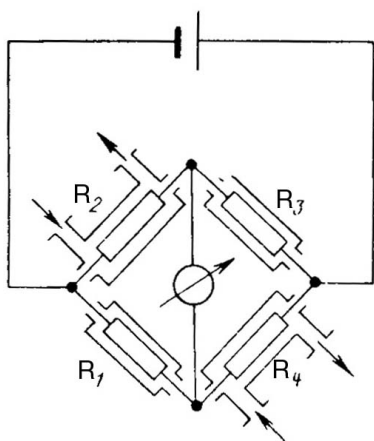
Область применения и типы: на судах для измерения кислородо-содержания в питательной воде нашли применение кислородомеры типа АКК.

10. ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

Анализ состава дымовых газов позволяет судить об экономичности процесса горения. Приборы для определения состава дымовых газов называют газоанализаторами. Они позволяют определить коэффициент избытка воздуха, содержание в дымовых газах продуктов неполного сгорания и т.д.

Наиболее точно и полно состав дымовых газов может быть определен путем химических анализов; для этой цели применяют специальные приборы-химические газоанализаторы. Однако операции, которые необходимо выполнить при использовании этих приборов, не поддаются автоматизации. Для автоматического анализа состава дымовых газов применяют различные электрические газоанализаторы.

а)



б)

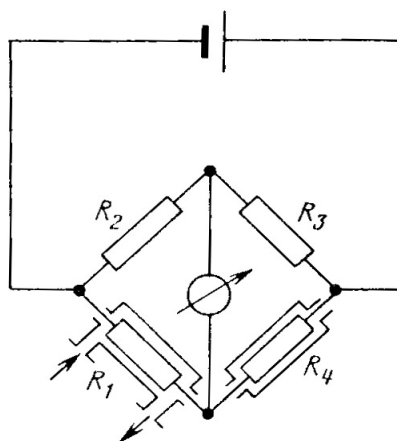


Рисунок 10.1 -Принципиальные схемы электрических газоанализаторов:

а) – газоанализатора на CO_2 ; б) – газоанализатора на $\text{CO}+\text{H}_2$

Принцип действия:

а)– основан на изменении теплопроводности газовой смеси с включением измерительного элемента в плечи неуравновешенного моста;

б)– измерительный чувствительный элемент, воспринимающий повышение температуры при сгорании CO и H_2 в присутствии катализатора, включается в одно из плеч неуравновешенного моста.

Достоинства. Возможность автоматического анализа состава газов.

Недостатки. Достаточно высокая погрешность по сравнению с химическим анализом посредством специальных приборов.

11. СОЛЕМЕРЫ

Соленость воды определяется общим количеством содержащихся в ней хлористых солей и является важным показателем качества технической воды. Приборы, служащие для измерения солености воды, называют солемерами.

Наиболее точно солёность воды может быть определена на основе химических реакций путём подсчёта химических реактивов, участвовавших в реакции. Однако химические способы измерения трудно автоматизировать.

Электрический солемер на переменном токе с неуравновешенным измерительным мостом:

Принципиальная схема солемера представлена на рисунке 11.1.

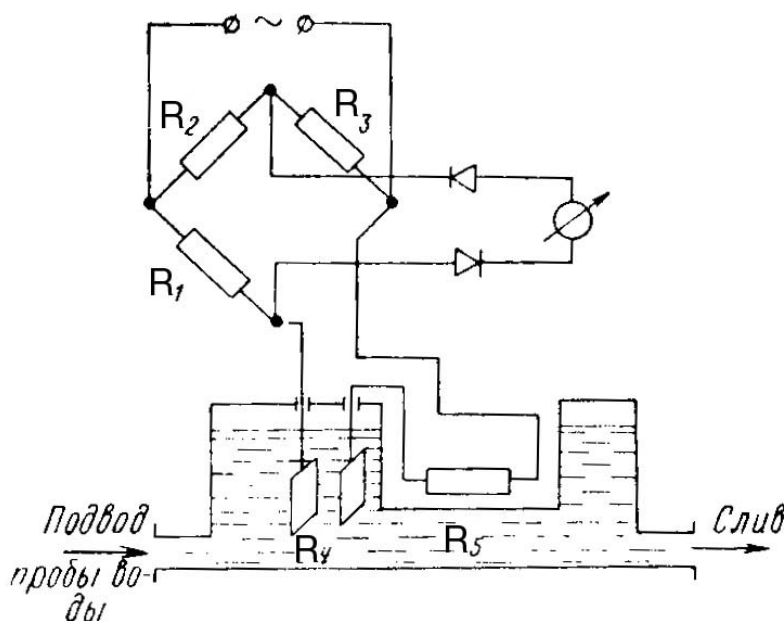


Рисунок 11.1 - Принципиальная схема электрического солемера с температурной компенсацией и неуравновешенным измерительным мостом в качестве вторичного прибора

К одной диагонали неуравновешенного измерительного моста подводится переменный ток, в другую, через полупроводниковые выпрямители включён магнитоэлектрический милливольтметр. Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 обычно изготавливают из манганина, R_4 — из меди. Сопротивление R_4 с ростом температуры уменьшается, а R_5 увеличивается. Эти сопротивления подбираются так, чтобы их сумма при изменении температуры в определённом диапазоне не изменялась. Сопротивление R_4 с увеличением концентрации раствора уменьшается. Аналогично устроены электрические солемеры с автоматическими уравновешенными измерительными мостами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Элементы судовой автоматики: Справочник / Под ред. Р.А.Нелепина.-Л.: Судостроение, 1976.-365с.
2. Бирюков Б.В. Средства испытаний расходомеров / М.А. Данилов, С.С. Кивилис.- М.: Стандарты, 1987.- 113 с.
3. Волоконная оптика и приборостроение. – М.: Машиностроение, 1987.- 327 с.
4. Расходомеры постоянного перепада давления. –М.:Машиностроение,1980.-387с.
5. Приборы для измерения и регулирования уровня жидкостей и сыпучих материалов: Номенклатурный каталог.- М.: 1985.-42 с.
6. Приборы для научных исследований: Номенклатурный каталог.- М.: 1985.-180 с.
7. Приборы для определения состава и свойств газов, жидкостей, твёрдых и сыпучих веществ: Номенклатурный каталог.- М.:1984.-120 с.
8. Регулирующие и исполнительные устройства, датчики-реле: Номенклатурный каталог.М: 1985.-тт.1-3.
9. Приборы для измерения и регулирования температуры: Номенклатурный каталог.- М.: 1985.- 184 с.
- 10.Приборы для измерения и регулирования давления, перепада давления и разряжения: Номенклатурный каталог.- М.:1984.- 124 с.
- 11.Термометры стеклянные жидкостные, ртутные и нертутные: Каталог.-М.: 1978.- 104 с.
- 12.Средства измерения и регулирования температуры: Номенклатурный каталог.- М.:1978.-160с.
- 13.Приборы для измерения расхода и количества жидкостей и газов: Номенклатурный справочник.-М.:1985.- 56 с.
- 14.Одинец С.С.Средства измерения крутящего момента / Г.Е. Топилин .- М.:Машиностроение,1977.-160 с.
- 15.Обзор по электронной технике. Волоконно-оптические датчики.1984.- 255 с.
- 16.Электромеханические аппараты автоматики.-М.:Высш. шк.,1988.- 302 с.