

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАСПИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И  
ИНЖИНИРИНГА им. Ш. ЕСЕНОВА

Кафедра «Морская техника и технологии»

**Кабылбекова В. В.**

**Автоматизация судовых энергетических установок**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов очного и заочного обучения  
по специальности 5В071500 «Морская техника и технологии»*

Актау, 2011г

УДК

Под редакцией к.т.н., старшего преподавателя В. В. Кабылбековой

Автоматизация судовых энергетических установок: методические указания/Сост. В. В. Кабылбекова. - Актау: Изд-во КГУТиИ им. Ш. Есенова, 2011. - 49с.

Рассматриваются измерители уровня температуры, частоты вращения, расхода, уровня жидкости. Показана автоматизация судовых систем: санитарной, осушительной, балластной, топливной, грузовой и других. Даны варианты задания для выполнения контрольной работы.

Для студентов очного и заочного обучения по специальности 5В071500 «Морская техника и технологии».

Рекомендовано к изданию решением Учебно-методического совета Каспийского Государственного Университета Технологий и Инжиниринга им. Ш. Есенова.

© КГУТиТ им. Ш. Есенова, 2011г.

### **Условные обозначения**

АПС - аварийно-предупредительная сигнализация  
АСР - автоматическая система регулирования  
АСУ - автоматизированная система управления  
ВРШ - винт регулируемого шага  
ВФШ - винт фиксированного шага  
ГД - главный двигатель  
ГРЩ - главный распределительный щит  
ДАУ - дистанционное автоматизированное управление  
ДВС - двигатель внутреннего сгорания  
ДГ - дизель-генератор  
ЖОС - жесткая обратная связь  
ЗУ - задающее устройство  
ИО - исполнительный орган  
ИОС - изодробная обратная связь  
КИП - контрольно-измерительные приборы  
МКО - машинно-котельное отделение  
МПУ - местный пост управления  
ОР - объект регулирования  
ОУ - объект управления  
СМ - сервомотор  
СУ - сравнивающее (счетное) устройство  
СЭУ - судовая энергетическая установка  
ТНВД - топливный насос высокого давления  
УУ - управляющее устройство  
ЦПУ - центральный пост управления  
ЧЭ - чувствительный элемент

## 1. Измерительные органы

Неотъемлемой составной частью технических средств автоматического регулирования, контроля и защиты является измерительный орган, именуемый в дальнейшем измерителем. Измерители служат для выработки информации о значениях различных параметров или их отклонений от заданных значений. Сущность измерения состоит в сравнении истинного значения параметра  $x$  с заданным  $x_3$ .

Любой измеритель (рис. 1) функционально состоит из *чувствительного элемента, задающего и сравнивающего (счетного) устройств*. Непосредственно соприкасаясь с исследуемой средой, ЧЭ преобразует измеряемый параметр в сигнал, удобный для сравнения. Аналогичный сигнал формируется в ЗУ со значением, определяемым уставкой задания  $R$ .

Сигналы ЧЭ и ЗУ в виде усилия, перемещения, электрического тока или другого параметра поступают на вход СУ. В случае рассогласования этих величин на выходе СУ появляется выходной сигнал измерителя  $u_d$ .

Если с изменением значения измеряемого параметра  $\Delta x$  однозначно меняется значение выходного сигнала СУ  $\Delta u_d$ , то такой измеритель является *аналоговым*. Аналоговые измерители, преобразующие измеряемую физическую величину в параметр другой физической величины, называются *датчиками*.

Если с изменением измеряемого параметра до определенного порогового значения выходной сигнал СУ меняется ступенчато (релейно), то такой измеритель является *дискретным* и называется *сигнализатором*.

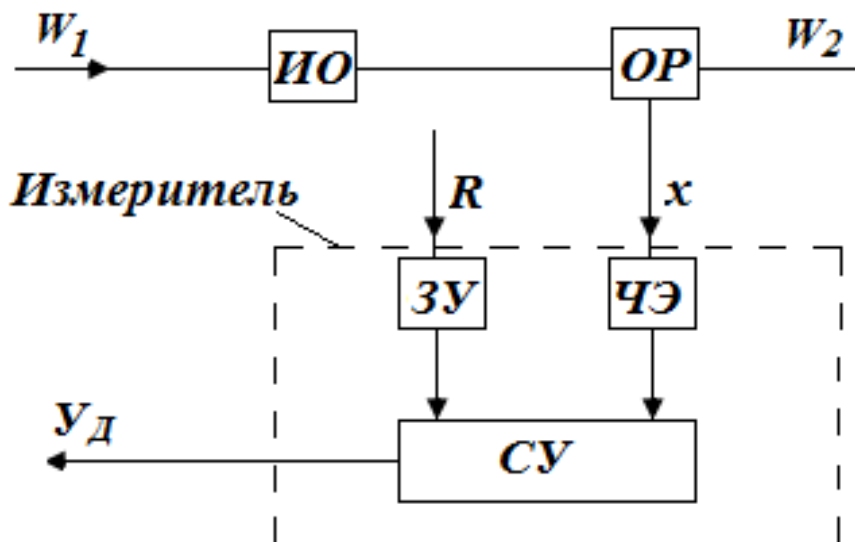


Рис. 1. Структурная схема измерителя

Все измерители различаются по роду измеряемого параметра, принципу действия и конструктивному исполнению.

## 2. Измерители давления и перепада давления

В СЭУ приходится измерять давления в очень широком диапазоне. ЧЭ для измерения давлений, как правило, являются упругие и эластичные элементы, деформирующиеся под действием силы, вызванной давлением среды. Эта сила обычно уравнивается силой действия пружины на весовой системе СУ измерителя. Для измерения малых давлений применяются плоские эластичные и жесткие мембраны (рис. 2, а). Эластичные мембраны изготавливаются из азростатной ткани или дюритовой резины. Ограниченное распространение получили жесткие мембраны, изготовленные из нержавеющей стали и бериллиевой бронзы, недостатком которых является малый диапазон перемещений. Для увеличения хода мембраны изготавливают с гофром, направленным вогнутостью в сторону измеряемого давления (рис. 2, б).

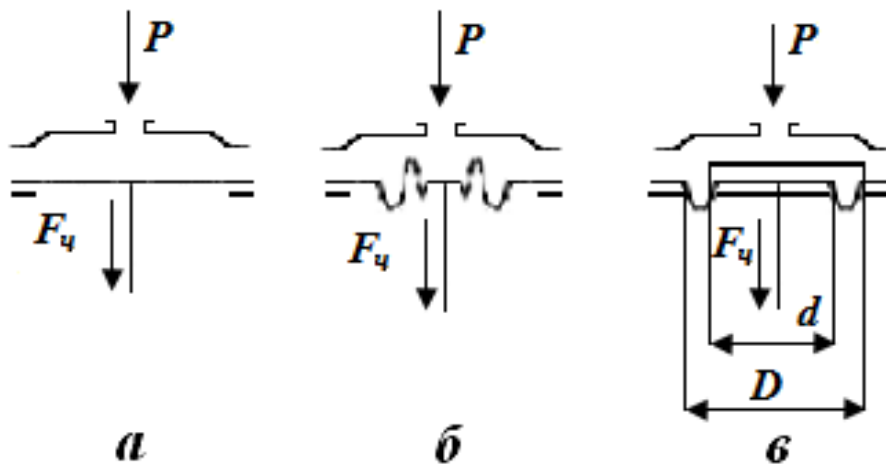


Рис. 2. Мембранные чувствительные элементы давления:  
а - с плоской мембраной; б - с гофрированной мембраной; в - с жестким центром

Давление измеряемой среды  $P$  преобразуется мембранным ЧЭ в усилие

$$F_q = P f_a,$$

где  $f_a$  - часть площади мембраны, передающая усилие и называемая *активной площадью*.

Увеличить усилие, развиваемое мембраной, можно применением жесткого центра (рис. 2, в), тогда ее активная площадь будет определяться как

$$f_a = \frac{\pi}{12} (D^2 + Dd + d^2),$$

где  $d$  - диаметр жесткого центра (не должен превышать  $0,8D$  - максимальный диаметр подвижной поверхности мембраны).

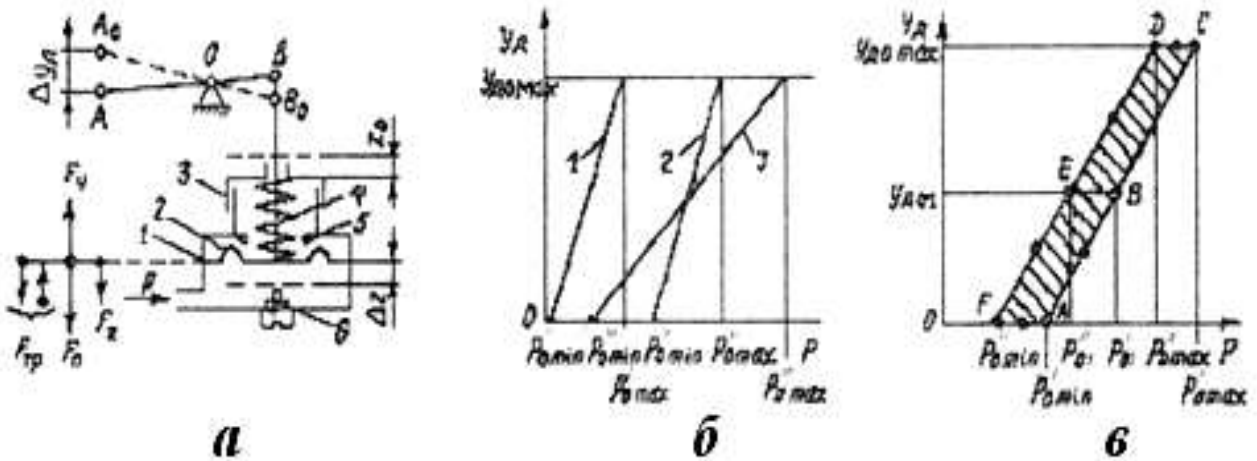


Рис. 3. Мембранный измеритель давления и характеристики:  
 а - принципиальная схема; б - статические характеристики идеального измерителя;  
 в - статическая характеристика с учетом нечувствительности

Закономерность работы измерителей в статических и динамических режимах выясним на примере мембранного измерителя давления. Входным сигналом измерителя 1 (рис. 3, а) является значение давления измеряемой среды  $P$ , а выходным - положение рычага  $AB$ , определяемое перемещением  $\Delta u_d$  точки  $A$ . При установившемся режиме сила  $F_{\text{ч}}$ , действующая на мембрану от давления среды (поддерживающая сила), уравнивается суммой сил действия пружины  $4F_{\text{п}}$  (восстанавливающей силой) и сухого трения в звеньях измерителя  $F_{\text{тр}}$ .

$$F_{\text{ч}} = F_{\text{п}} \pm F_{\text{тр}}.$$

Силы сухого трения стремятся затормозить движение звеньев, действуя с положительным знаком при увеличении силы  $F_{\text{ч}}$ , и с отрицательным при ее уменьшении. Для упрощения в дальнейшем будем пренебрегать влиянием сил сухого трения. Тогда соотношение между поддерживающей и восстанавливающей силами для момента страгивания жесткого центра мембраны 2 с упора б можно представить как

$$P_{\text{min}}^0 f_a = cz_0,$$

где  $P_{\text{min}}^0$  и  $f_a$  - давление страгивания и активная площадь мембраны;  
 $c$  и  $z_0$  - жесткость и предварительный натяг пружины.

Жесткость  $c$  определяется силой, необходимой для деформации пружины на единицу длины. Для цилиндрических пружин жесткость постоянна и зависит только от геометрических размеров, числа работающих витков и упругости материала.

Предварительный натяг  $z_0$  пружины 4 устанавливается вращением регулировочной гайки 3 относительно корпуса измерителя 1.

Из полученного соотношения следует, что для каждого измерителя давление

страгивания мембраны с ограничительного упора пропорционально предварительному натягу пружины  $z_0$ .

$$P_{min}^0 = \frac{c}{f_a} z_0.$$

С увеличением давления  $P_{min}^0$  на величину  $\Delta P$  появляется движущая сила, определяемая разностью между поддерживающей и восстанавливающей силами, которая вызывает перемещение мембраны  $\Delta z$ . Согласно второму закону Ньютона эта разность сил уравнивается силой инерции движущихся масс измерителя  $F_j$ :

$$F_j = F_{\check{c}} - F_{\text{н}}.$$

*Сильфонные измерители давления* (гармониковые мембраны) (рис. 4) представляют собой гофрированные упругие металлические трубки, закрытые с одного конца доньшком, образующим активную площадь. Давление измеряемой среды  $P$  действует на доньшко с силой  $F_{\check{c}} = f_a P$ , где  $f_a \approx \frac{\pi}{4} \left( \frac{D+D}{2} \right)^2$  - активная площадь сильфона. В измерителе, показанном на (рис. 4, б) эта сила уравнивается суммой сил упругости сильфона (за счет его собственной жесткости) и дополнительной пружины. Выходным сигналом измерителя является перемещение штока  $\Delta u_{\text{д}}$ .

Сильфонные датчики применяются для измерения давлений различных сред в широком диапазоне  $\left[ (0,098 - 98) \cdot 10^5 \text{ Па} \left( 0,1 - 100 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \right) \right]$ .

При измерении малых давлений пружина может отсутствовать. В этом случае действующая сила полностью уравнивается за счет упругости самого сильфона. Жесткость сильфона зависит от его геометрических размеров, материала числа гофров и числа слоев. Для измерения высоких давлений необходимо увеличивать толщину стенки сильфона, что приводит к повышению его жесткости. В этом случае жесткость можно снизить, сделав сильфон двух-трехслойным в зависимости от *необходимой прочности*.

Изготавливают сильфоны из тампака и полутампака для низких и средних давлений бериллиевой бронзы и нержавеющей стали для высоких давлений.

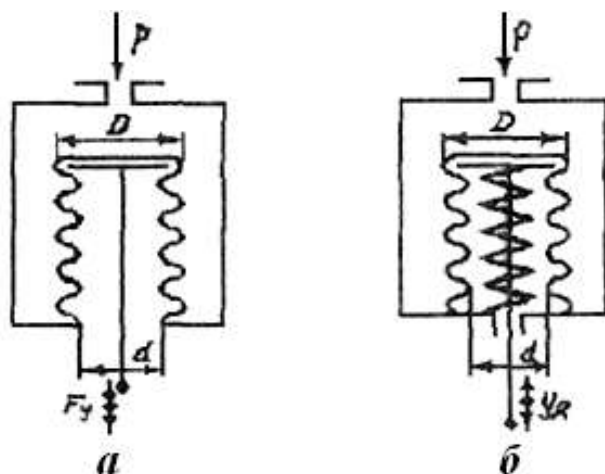


Рис. 4. Сильфонные измерители давления:  
 а - без дополнительной пружины; б - с дополнительной пружиной

Крепятся сильфоны с помощью пайки или сварки. Пайка выполняется оловянистыми припоями без применения кислоты. Допускается применение кислоты при предварительном облуживании поверхностей с последующей промывкой теплой водой.

*Манометрическая трубка*, или *трубка Бурбона* (рис. 5, а), представляет собой упругую металлическую трубку эллиптического или прямоугольного сечения, согнутую по радиусу. К неподвижно закрепленному концу трубки подводится измеряемое давление  $P$ , которое действует на ее внутренние поверхности, имеющие разные площади, и создает усилие, направленное в сторону поверхности с большей площадью. Это усилие уравнивается силой упругости самой трубки. Выходной сигнал измерителя в виде перемещения свободного конца трубки  $\Delta u_d$  пропорционален изменению давления  $\Delta P$ . При повышении давления трубка выпрямляется, а при снижении - сгибается.

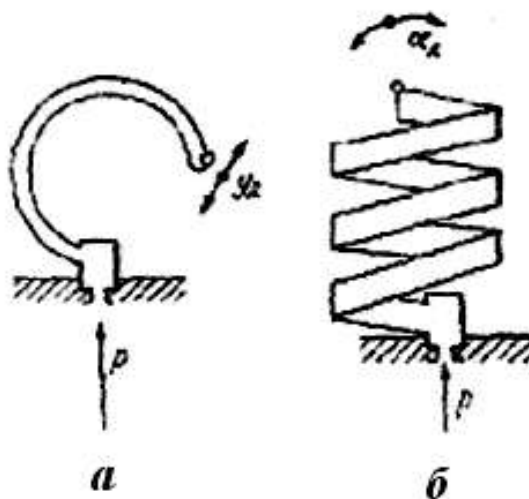


Рис. 5. Трубчатый измеритель давления:  
 а - трубка Бурбона; б - геликоидальная пружина



Достоинством трубки Бурдона является ее большая механическая прочность, простота конструкции и широкий диапазон измеряемых давлений при линейной характеристике, что позволяет широко использовать ее в контрольно-измерительных приборах и приборах автоматических устройств. Металлические мембраны и трубки Бурдона в рабочей зоне обладают свойствами пружин и практически не имеют остаточной деформации (отсутствует петля гистерезиса). Диапазон измеряемых давлений на линейном участке характеристики определяется пределом упругости трубчатой пружины, значение которого зависит, прежде всего, от отношения осей сечения трубки, толщины ее стенок, механических свойств материала и радиуса закругления пружины. Превышение предельных измеряемых давлений вызывает остаточную деформацию пружины, что недопустимо в эксплуатации.

Для измерения давлений до  $98 \cdot 10^5$  Па ( $100$  кгс/см<sup>2</sup>) трубчатые пружины изготавливают из латуни или бронзы, для более высоких - из стали.

Геликоидальная пружина (рис. 5, б) представляет собой упругую металлическую трубку эллиптического сечения, закрученную по спирали. К неподвижно закрепленному концу трубки подводится измеряемое давление  $P$ . Принципы действия геликоидальной пружины и трубки Бурдона аналогичны. Выходным сигналом измерителя является угловое перемещение  $\Delta a_d$  свободного конца трубки. Геликоидальные пружины применяются в случаях, когда требуется получить большие перемещения выходного звена измерителя при малых изменениях давления.

Перепад давлений  $\Delta P = P_1 - P_2$  часто измеряется для определения расхода жидкости или газа, а также сопротивления участка трубопровода. При измерении малых перепадов давлений от  $98$  до  $1570$  Па (от  $10$  до  $1600$  мм вод. ст.) используются ЧЭ в виде эластичных мембран из аэростатной ткани, дюритовой резины или фольги (рис. 6, а). Измеряемые давления  $P_1$  и  $P_2$  подводятся в полости датчика с обеих сторон мембраны, на жестком центре которой создается усилие  $F_q$ , пропорциональное их разности и направлению в сторону меньшего давления. Это усилие через шток передается на весовую систему СУ измерителя. Выходной шток уплотняется в корпусе сальником или сильфоном. Во втором случае приведенная активная площадь мембраны со стороны штока будет меньше на величину активной площади уплотнительного сильфона.

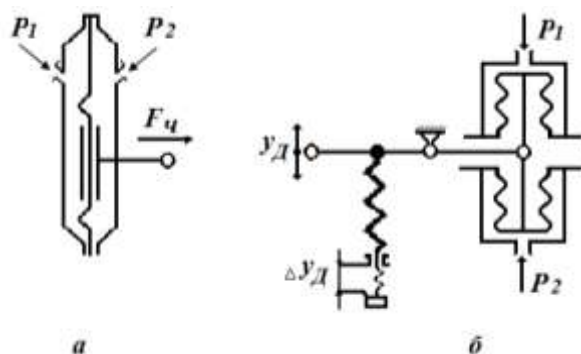


Рис. 6. Измерители перепада давлений:  
а - мембранный; б - сильфонный

Широкое распространение получили сильфонные измерители перепада давлений (рис. 6, б), измеряемый диапазон которых значительно шире, чем у мембранных. Датчик состоит из двух сильфонов с одинаковой активной площадью, преобразующих измеряемые давления в силы, направленные в противоположные стороны. Разность сил, приведенная к соединительному штоку, уравнивается силами действия пружины и упругости самих сильфонов. Выходным сигналом измерителя является перемещение рычага весовой системы  $\Delta u_d$ , пропорциональное изменению перепада давлений  $\Delta(P_1 - P_2)$ . Двухсильфонные и двухмембранные измерители обладают высокой чувствительностью из-за отсутствия сил сухого трения в уплотнениях штоков.

### 3. Измерители уровня

Для измерения уровня жидкости применяются различные измерительные устройства в зависимости от типа объекта и характера протекающих процессов. Наиболее простым является *поплавковый измеритель уровня* (рис. 7, а). Изменение уровня жидкости  $\Delta h$  в резервуаре приводит к изменению положения поплавка 1. Выходным сигналом ЧЭ является перемещение  $\Delta u_c$  свободного конца рычага 2, разворачивающегося относительно опоры 3.

*Мембранный измеритель уровня* (рис. 7, б) получил широкое распространение на судах отечественной постройки при автоматизации паровых котлов. ЧЭ уровня воды в барабане котла является мембрана 5, разделяющая корпус измерителя на две полости. К жесткому центру мембраны подвешен груз 6. Нижняя полость корпуса через дроссельный клапан 7 соединена с конденсационным сосудом 2, уровень в котором поддерживается постоянным за счет обратного слива конденсата в котел через перепускную трубу, и на мембрану снизу действует столб воды  $h_0$ . Верхняя полость соединена с водяным пространством барабана котла 1: на мембрану сверху действует столб воды  $h_1$ .

Сила, действующая на мембрану от перепада уровней воды  $h = h_0 - h_1$ , уравнивается суммой сил от массы груза 6 и настроечной пружины 3:

$$h\rho qf_a = F_M + a_1 cz_0,$$

где  $\rho$  - плотность воды;

$q$  - ускорение силы тяжести (ускорение свободного падения);

$f_a$  - активная площадь мембраны;

$F_M$  - сила действия массы груза;

$a_1$  - передаточный коэффициент;

$c$  и  $z_0$  - жесткость и предварительный затяг настроечной пружины.

Груз 6 подвешивают к жесткому центру мембраны для уменьшения статической неравномерности измерителя и снижения влияния крена судна. Обычно массой груза уравнивают 80% силы от перепада уровней, а остальные 20% силы компенсируют действием пружины 3. Статическую настройку измерителя на заданное значение уровня производят изменением ее предварительного затяга  $z_0$ .

Изменение уровня воды в котле  $\Delta h$  приводит к нарушению равенства сил, действующих на мембрану, ее прогибу, развороту рычага 4 и пропорциональному

перемещению  $\Delta u_d$  его выходного конца.

Достоинством мембранных измерителей является их высокая чувствительность и отсутствие тепловой инерционности. На работу этого измерителя не влияет изменение давления в котле, так как оно действует на мембрану с обеих сторон. Влияние качки на работу измерителя можно снизить установкой на импульсные каналы дроссельных шайб 7.

*Термогидравлический измеритель уровня*, стоящий из ЧЭ (рис. 7, в) и измерителя давления, применяется в паровых котлах. ЧЭ уровня представляет собой генератор, состоящий из стальной трубки 2, закрепленной внутри кожуха 3 с ребрами. Верхний конец трубки 2 соединен с паровым, а нижний - с водяным пространством пароводяного барабана котла 1, поэтому согласно свойству сообщающихся сосудов уровень воды в них всегда одинаков. Пространство между трубкой 2 и кожухом 3 заполнено конденсатом и соединяется трубкой 4 с измерителем давления или мембранным сервомотором, управляющим питательным клапаном котла. ЧЭ устанавливается так, чтобы угол наклона его к горизонтальной оси барабана котла был равен приблизительно  $30^\circ$ , а его середина соответствовала нормальному уровню воды в барабане.

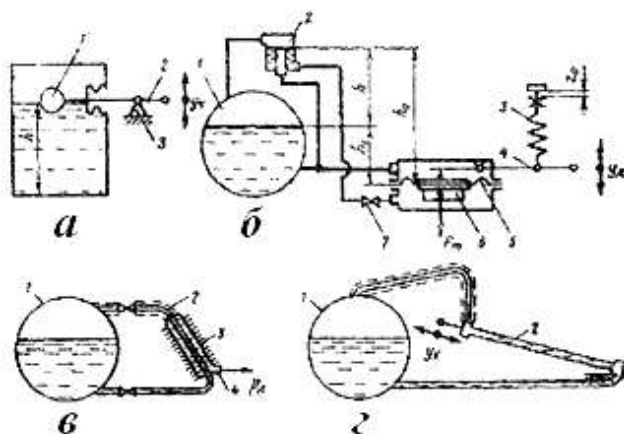


Рис. 7. Измерители уровня:

а - поплавковый; б - мембранный; в - термогидравлический; г - термостатический

При изменении уровня воды в барабане котла изменяется соотношение между площадями поверхностей трубки 2, омываемыми водой и паром. Из термодинамики известно, что теплоотдача пара выше, чем воды при одинаковой их температуре, поэтому количество тепла, передаваемого водой и паром через трубки 2 конденсату, заполняющему кольцевое пространство датчика, будет различным. Изменение количества тепла, подводимого к конденсату, вызовет его испарение (при понижении уровня воды) или конденсацию за счет отдачи тепла через ребра кожуха 3 в окружающую среду (при повышении уровня воды). Это приводит соответственно к пропорциональному повышению или понижению давления паров конденсата  $P_d$  на выходе ЧЭ. От ЧЭ давление конденсата по импульсной трубке передается измерителю давления, выходным сигналом которого является перемещение.

Термогидравлический измеритель уровня малочувствителен к качке, что

объясняется его большой тепловой инерционностью, обладает малой статической нечувствительностью из-за отсутствия механических соединений и значительной величиной выходного сигнала, прост по конструкции и удобен в эксплуатации. Однако он имеет ряд существенных недостатков, из-за которых его применение ограничено. Изменение параметров пара в котле и температуры окружающей среды приводит к изменению выходного сигнала измерителя. Нарушение герметичности импульсной магистрали или датчика может привести к утечке конденсата и аварии котла. Большая тепловая инерционность ЧЭ вызывает замедленную реакцию измерителя на резкое изменение уровня воды в котле при глубоких изменениях нагрузки, поэтому его применяют при автоматизации малонапряженных котлов.

*Термостатический измеритель уровня* (рис. 7, з) представляет собой трубку 2 из стали с большим коэффициентом линейного расширения. Установка термостатического датчика производится аналогично термогидравлическому. Нижний конец трубки 2, закреплен неподвижно, а верхний свободный конец может перемещаться. При изменении уровня воды в барабане котла 1 изменяется длина участков трубки, заполненных паром и водой.

Из-за различных коэффициентов теплоотдачи пара и воды изменяется температура и длина термостатической трубки 2. Перемещение свободного конца трубки  $\Delta u_{\text{ч}}$  пропорционально изменению уровня и является выходным сигналом измерителя.

Термостатический измеритель прост по устройству, удобен в эксплуатации, имеет большой срок службы. Из-за большой тепловой инерционности прибор слабо реагирует на качку, однако по этой же причине не может быть установлен на высоконапряженных котлах с малым водосодержанием и широкого распространения судах не получил.

В системах автоматического контроля уровня выходной параметр ЧЭ преобразуется в сигнал, удобный, для дистанционной передачи.

В качестве дистанционных указателей уровня в судовых паровых котлах применяются указатели с мембранными ЧЭ 4 (рис. 8). Изменение уровня  $\Delta h$  приводит к пропорциональному перемещению выходного рычага 5 и связанного с ним движка реохорда  $R1$ , включенного в измерительную цепь логометра 3.

Принцип действия логометра основан на измерении сопротивления мостовой схемой с температурной компенсацией. Подвижная часть логометра состоит из двух скрещенных под углом рамок с катушками индуктивности, обладающими активными сопротивлениями  $R4$   $R5$ , ток к которым подводится через спиральные волосковые пружины. На оси рамок закреплена стрелка 1, перемещающаяся вдоль шкалы прибора 2. Рамки вращаются между сердечником 8 и полюсами  $N$  и  $S$  постоянного магнита в пространстве, где напряженность магнитного поля различна из-за воздушного зазора магнитной системы.

Согласно упрощенной принципиальной схеме прибора ток от стабилизированного источника питания разветвляется в точке  $A$  и идет по цепям с сопротивлениями  $R3 + R5$  и  $R1 + R2 + R4$ . Ток, проходя по рамкам, создает вокруг них магнитные поля, которые взаимодействуют с полем постоянного магнита,

образуя два вращающих момента. Рамки включены таким образом, что эти моменты направлены навстречу друг другу и один из них является вращающим, а другой - противодействующим. При установившемся режиме моменты от взаимодействия полей уравновешены и рамка неподвижна.

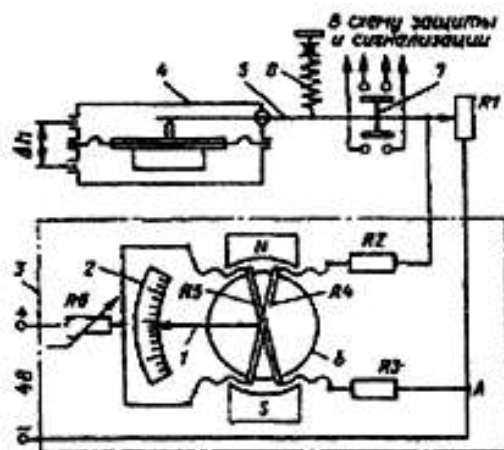


Рис. 8. Схема мембранного логометрического измерителя уровня

При смещении движка реохорда изменяются сопротивление  $R1$  и сила тока в цепи, и нарушается равновесие моментов сил, под действием разности которых происходит разворот рамки и стрелки. В результате рамка с большим током смещается в область слабого магнитного поля, а с меньшим током - в область сильного магнитного поля, а рамка с меньшим током - в область сильного магнитного поля постоянного магнита. По мере разворота рамок равенство моментов восстанавливается и движение прекращается. В рассмотренном измерителе изменение уровня  $\Delta h$  вызывает пропорциональное смещение движка реохорда, изменение сопротивления его плеча  $\Delta R1$  и перемещение стрелки прибора.

Сопротивление  $R6$  изменяется при изменении температуры окружающей среды и компенсирует ее влияние на показания логометра.

Соответствие между значением уровня по водомерному стеклу котла и показанием логометра регулируется изменением предварительного затяга настроечной пружины  $6$  измерителя уровня. При предельном снижении или повышении уровня якорь  $7$ , закрепленный на рычаге  $5$ , замыкает контакты цепей защиты и сигнализации, вызывая их срабатывание. Настройка на предельные значения уровня производится изменением зазоров между якорем и контактами - смещением последних.

Для измерения уровня воды, топлива, масла либо других жидкостей в цистернах и танках применяются электронные измерители уровня с емкостными датчиками.

Принцип действия дистанционного емкостного измерителя уровня рассмотрим по упрощенной принципиальной схеме (рис. 9). Датчик уровня представляет собой конденсатор  $C_d$ , одной обкладкой которого является поверхность стенок металлического резервуара  $1$ , а другой - поверхность

проводника зонда 2, вертикально закрепленного в резервуаре.

Проводник зонда помещен в герметичную изоляционную оболочку из фторопласта. Емкость датчика  $C_d$  зависит от уровня жидкости в резервуаре, складываясь из емкости части датчика  $C1$ , расположенной выше поверхности жидкости, и емкости  $C2$ , расположенной ниже. Жидкость и воздух либо смесь газов над ее поверхностью обладают различными диэлектрическими свойствами, однако суммарная емкость датчика  $C_d = C1 + C2$  линейно зависит от уровня жидкости и является его выходным параметром.

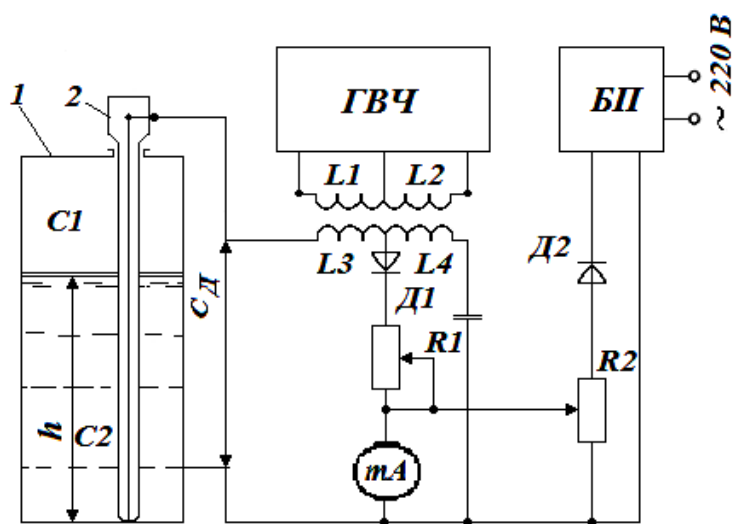


Рис. 9. Схема емкостного измерителя уровня

Принцип действия измерительной части прибора основан на мостовом методе измерения емкости датчика  $C_d$ . С блока питания  $БП$  питание подается на генератор высокой частоты  $ГВЧ$ , от которого ток высокой частоты поступает в катушки индуктивности  $L1$  и  $L2$ . От этих катушек индуктируются высокочастотные колебания в катушках  $L3$  и  $L4$ , образующих два плеча моста переменного тока. Другие два плеча образованы конденсаторами  $C_d$  и  $C3$ . В диагональ моста подается переменный высокочастотный ток, который выпрямляется диодом  $D1$  и через резистор  $R1$  идет на миллиамперметр (показывающий прибор). Шкала прибора градуирована в единицах уровня либо в процентах. Для установки стрелки на «0» при нулевом значении уровня жидкости в резервуаре предусмотрена подача тока на прибор в обратном направлении от  $БП$  через переменный резистор  $R2$ , позволяющая свести к нулю результирующий ток прибора.

При повышении уровня жидкости в резервуаре изменяется емкость датчика  $C_d$ , нарушается равновесие токов, и стрелка показывающего прибора отклоняется на величину, пропорциональную их разности. Несоответствие показаний прибора при максимальном значении уровня необходимо устранять корректировкой с помощью переменного резистора  $R1$  и последующей корректировкой нуля с помощью резистора  $R2$ .

При смене сорта жидкости в резервуаре необходимо производить корректировку измерителя. При работе с вязкими средами наблюдается «облипание» зонда, что приводит к увеличению погрешностей измерения. Для

устранения этого следует периодически очищать зонд.

Для измерения уровня жидкости в балластных и топливных танках широкое распространение получили *пневмеркаторные системы* (рис. 10).

Роль ЧЭ измерителя уровня выполняет вертикальная труба 6, нижним свободным концом установленная вблизи днища танка 7. Через редуктор 5 и дроссель 4 к ее верхнему концу подводится сжатый воздух. Жидкость вытесняется из трубы 6 воздухом, который в виде пузырьков поднимается на поверхность и отводится через трубку 1 в атмосферу. При постоянной плотности жидкости  $\rho$  давление воздуха  $P_B$  в трубе 6 однозначно характеризуется уровнем жидкости в танке  $h$ , то есть  $P_B = h\rho$ . Это давление измеряется манометром 2 со шкалой, градуированной в единицах измерения уровня. Шкала каждого прибора градуируется определенной плотности жидкости с указанием ее значения. Для измерения уровня в топливно-балластных танках прибор может быть снабжен двумя шкалами, по одной из которых определяют уровень топлива, по другой - воды.

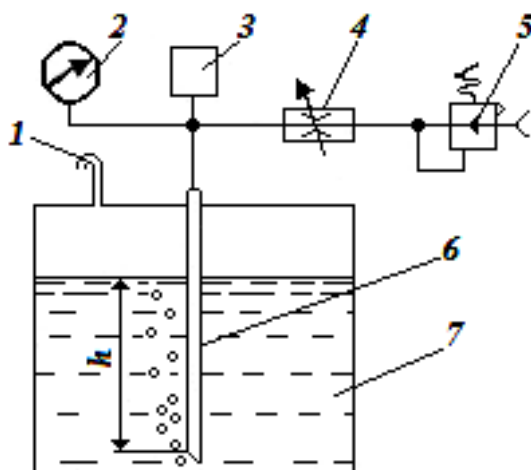


Рис. 10. Схема пневмеркаторной системы измерения уровня

Точность измерения зависит от того, насколько различаются плотности жидкости, заполняющей цистерну, и жидкости, на которую рассчитан прибор, а также от интенсивности движения потока воздуха через трубу 6. Подача воздуха регулируется настройкой редуктора 5 и должна быть минимальной (выход от одного до трех пузырьков воздуха в секунду) при максимальном уровне жидкости в танке. Информацию о максимальном значении уровня можно получить установкой реле максимального давления 3.

#### **4. Измерители температуры**

Определение температуры является одним из сложных и трудоемких процессов измерения, основанным на теплообмене между телами. Приборы, входящие в тепловой контакт с контролируемой средой, по показаниям которых определяется ее температура, называются *термометрами*, а устройства, предназначенные для регулирования температуры, - *терморегуляторами*.

Неотъемлемой составной частью термометров и измерителей терморегуляторов являются ЧЭ, физические свойства которых изменяются при нагреве. Измерители разделяют на *механические* и *электрические*.

К *механическим* относятся измерители, действие которых основано на тепловом расширении жидких или твердых тел либо на изменении давления газов или паров жидкости в замкнутых системах. Выходными сигналами таких измерителей являются перемещения либо усилия, однозначно определяемые изменением температуры.

Работа *жидкостных измерителей температуры* основана на неодинаковом расширении при нагреве оболочки и находящейся в ней жидкости. Примером таких измерителей являются стеклянные термометры, состоящие из шкалы и баллончика с припаянной к нему прозрачной капиллярной трубкой (капилляром). Для заполнения баллончика выбирается жидкость, коэффициент расширения которой в 15-30 раз больше, чем у оболочки. Поэтому приращение температуры вызывает увеличение объема жидкости и ее вытеснение из оболочки в капилляр, в котором положение кромки жидкости по шкале определяет значение температуры. Оболочку и капиллярные трубки изготавливают из стекла или кварца. Наполнителями могут быть жидкости (спирт, толуол или пентан) либо текучие металлы (ртуть или галлий).

*Жидкостный измеритель температуры* (рис. 11, а) состоит из металлического термопатрона 1 и сильфонной камеры 3, связанных между собой металлическим гибким капилляром 2. Внутренняя полость их герметична и в зависимости от диапазона измеряемых температур полностью заполняется глицерином, ксилолом или ртутью.

Термопатрон помещается в зону контролируемой среды, при увеличении температуры которой происходит увеличение объема наполнителя и перетекание его по капилляру в камеру сильфона, вызывающее перемещение доньшка последнего. Выходным сигналом измерителя является перемещение  $\Delta u_d$  штока 5, жестко соединенного с доньшком сильфона. Перемещение пропорционально изменению температуры  $\Delta t$ , то есть статическая характеристика измерителя линейна. При понижении температуры объем наполнителя уменьшается, и доньшко сильфона движется в обратном направлении под действием возвратной пружины 4. Жидкостные измерители обладают большими перестановочными усилиями. Однако они подвержены влиянию температуры окружающей среды, которое сказывается тем больше, чем меньше разность температур окружающей и контролируемой сред.

Аналогичные принцип действия и свойства имеет измеритель с твердым наполнителем термометрической системы. Измеритель выполняется в виде жестко закрепленного сильфона (рис. 11, б), внутренняя полость которого герметична и заполнена аморфным телом (обычно воском). При изменении температуры среды, омывающей сильфон, объем наполнителя увеличивается, вызывая перемещение доньшка сильфона. Для уменьшения тепловой инерционности датчика воск перемешивают с медными опилками.

*Дилатометрический измеритель* состоит из трубки 2 (рис. 11, в), закрытой снизу доньшком с впаянным в него стержнем 1, свободно проходящим через



трубку. Верхний конец трубки 2 впаян в резьбовой штуцер, на фланце которого крепится поворотный рычаг 5, прижимаемый к стержню 1 пружиной 4. Датчик крепится на трубопроводе или теплообменнике 3, а трубка 2 погружается в контролируемую среду. Для трубки выбирают материал с высокой теплопроводностью и значительно большим коэффициентом линейного расширения, чем у материала стержня. Трубки изготавливают из меди, латуни или стали, а стержни из инвара (сплав из 34% кобальта, 37% железа и 9% хрома), имеющего коэффициент линейного расширения в пять раз меньший, чем у меди и в два раза меньший, чем у стали. Изменение температуры среды  $\Delta t$ , омывающей трубку 2, приводит к перемещению верхнего конца стержня 1 на величину  $\Delta l$ :

$$\Delta l = (\alpha_1 - \alpha_2) l_0 \Delta \vartheta,$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты линейного расширения материалов трубки и стержня;

$l_0$  - активная длина dilatометра.

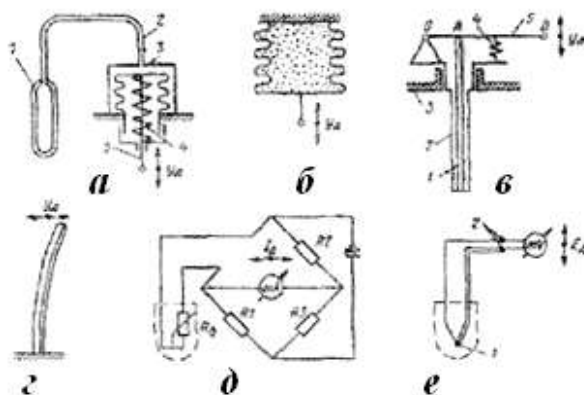


Рис. 11. Измерители температуры:

*a* - манометрический; *б* - объемный; *в* - dilatометрический;

*г* - биметаллический; *д* - с термосопротивлением; *е* – термоэлектрический

Перемещение стержня 1 приводит к развороту рычага 5 относительно опоры *O* и пропорциональному перемещению его свободного конца *B* на величину  $\Delta y_d$ , являющуюся выходным сигналом измерителя. Dilатометры обладают большим перестановочным усилием. Однако значение выходного сигнала таких измерителей мало, а тепловая инерция значительна.

*Биметаллические измерители* имеют аналогичный принцип действия. Чувствительный элемент их состоит из плоской (рис. 11, *г*) или спиральной пружины, спаянной из двух пластин разнородных металлов. При изменении температуры обе пластины удлиняются неодинаково, вызывая изгиб плоской или скручивание спиральной пружины. Один конец пружины закреплен неподвижно, а перемещение свободного конца  $\Delta y_d$  является выходным сигналом датчика. Общим недостатком dilatометрических и биметаллических датчиков является невысокая точность измерений.

*Термоманометрические измерители* по конструктивному исполнению схожи с жидкостными. Принцип действия термоманометрических датчиков основан на изменении давления наполнителя в системе при изменении измеряемой температуры. Выходными звеньями таких измерителей температуры являются сильфонные (см. рис. 11, а) либо трубчатые (см. рис. 5) измерители давления. По роду наполнителя термоманометрические измерители разделяются на *парожидкостные* и *газовые*.

В *парожидкостных измерителях* термопатроны заполняют примерно на 2/3 объема жидкостью с температурой кипения ниже измеряемой, а остальной объем занимают ее пары. В зависимости от диапазона измеряемых температур выбирается вид жидкости: хлорметил (+20 ... +100°C), хлорэтил (0 ... +125°C), этиловый эфир (0 ... +150°C), ацетон (0 ... +170°C), бензол (0 ... +200°C). Давление паров по капиллярной трубке с внутренним диаметром около 0,3 мм дистанционно передается к измерителю давления. Переносчиком давления является спирт или смесь глицерина с водой, которыми заполняется внутренняя полость капилляра и датчика давления. На работу парожидкостных датчиков не оказывает влияния изменение температуры окружающей среды, однако они обладают нелинейной статической характеристикой.

*Газовые датчики*, полностью заполняемые азотом или гелием под давлением до  $49 \cdot 10^5$  Па ( $50 \text{ кгс/см}^2$ ), служат для измерений в широком диапазоне температур (от -130 до +550°C) и имеют линейную статическую характеристику, однако подвержены влиянию внешних температурных условий.

Общими недостатками измерителей с жидкими, твердыми и газовыми наполнителями являются их большая тепловая инерционность, трудность (часто невозможность в судовых условиях) ремонта при нарушении герметичности измерительной системы и ограниченность расстояний передачи выходного сигнала.

Из электрических наибольшее распространение получили измерители с термосопротивлениями и термоэлектрическими датчиками температуры.

Принцип действия термосопротивлений основан на изменении активного сопротивления терморезисторов (проводников и полупроводников) при изменении их температуры. Термометр сопротивления (рис. 11, д) состоит из моста Уитсона, к одной диагонали которого подведено постоянное напряжение, а в другую включен прибор для измерения тока (миллиамперметр). В три плеча моста включены резисторы  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , сопротивления которых не меняются при изменении температуры, а в четвертое - терморезистор  $R_0$ , размещаемый в зоне измеряемых температур. Значения сопротивлений выбираются таким образом, чтобы при температуре 0° ток  $I$  в цепи прибора отсутствовал, то есть мост был уравновешен. При изменении температуры меняется значение сопротивления  $R_0$  нарушается равновесие моста, и в его диагонали течет ток  $I_d$ , являющийся выходным сигналом датчика. Визуальный контроль температуры производится по показаниям прибора, измеряющего значение тока  $I_d$ , шкала которого отградуирована в °С. Диапазон температур, измеряемых терморезисторами, лежит в пределах (-50 ... +600°C).

Датчики монтируются в защитных герметичных корпусах, предохраняющих их от механических повреждений и агрессивного действия среды.

Терморезистор представляет собой проволоку, намотанную на изоляционный каркас. В зависимости от диапазона измеряемой температуры и чувствительности измерителя применяют платиновую, медную или никелевую проволоку. Полупроводниковые терморезисторы представляют собой смесь из порошкообразных окислов  $MnO_2$ ,  $CuO_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MiO$  и др., спрессованную и спеченную при высокой температуре, и по сравнению с проводниками обладают значительно большим температурным коэффициентом электрического сопротивления. Однако зависимость значения их передаточного коэффициента от температуры характеризуется резко выраженной нелинейностью и недостаточной стабильностью, что ограничивает их применение.

На корпусах датчиков, серийно выпускаемых отечественной промышленностью, указываются условные обозначения термосопротивлений: платиновых - ТСП, медных - ТСМ, полупроводниковых - ММТ, КМТ, МКМТ и т.д.

*Термоэлектрические измерители* (пирометры) применяются в СЭУ обычно для измерения относительно высоких температур. Датчиками температуры пирометров являются термопары, представляющие собой два изолированных и спаянных между собой концами проводника из разнородных металлов или сплавов. Этот спай 1 (рис. 11, е) помещается в зону измеряемых температур и называется горячим спаем. Принцип действия термопары основан на возникновении термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) на выводных ее концах 2, называемых холодным спаем, при нагревании горячего спая. Выходным сигналом датчика является термоЭДС, значение которой зависит от разности абсолютных значений температур обоих спаев, а также от сочетаний материалов электродов термопар. Для получения однозначной зависимости термоЭДС от температуры горячего спая необходимо постоянство температуры холодного спая или установка в прибор специального компенсирующего устройства (на схеме не показано). Возникающая термоЭДС, в системах контроля измеряется милливольтметром, отградуированным в  $^{\circ}C$ , либо подается на вход потенциометрического измерителя. В зависимости от диапазона измеряемых температур и требуемой точности измерений применяются различные термопары: платина-платинородиевые (стандартное обозначение - ПП), хромель-алюмелевые (ХА), хромель-копелевые (ХК), медь-копелевые (МК) и т.д. Стандартные термопары монтируются в защитных металлических термостойких корпусах, на присоединительных штуцерах которых указывается общепринятое обозначение термопары и диапазон измеряемых температур.

*Электрические измерители температуры* обладают высокой чувствительностью, широким диапазоном измеряемых температур, возможностью передачу сигналов на значительные расстояния, а их тепловая инерционность зависит в основном от массы и теплопроводности защитного корпуса датчика.

## 5. Измерители частоты вращения

В автоматике СЭУ применяются механические, гидравлические, электрические и электронные измерители частоты вращения.

*Механические измерители* получили наибольшее распространение. Принцип действия их основан на преобразовании частоты вращения в центробежную силу и сравнении ее с заданным значением силы действия пружины. ЧЭ центробежного измерителя обычно являются грузы 2 (рис. 12, а) свободно сидящие: на осях  $O$  в опорах диска 1, приводимого во вращение через механическую передачу от вала двигателя или другого механизма. Грузы преобразуют частоту вращения  $\omega$  в центробежную силу  $F_{ц}$ , которая приводится к муфте СУ 4 со значением  $F_{ц}$  и уравнивается силой действия цилиндрической пружины 3 СУ.

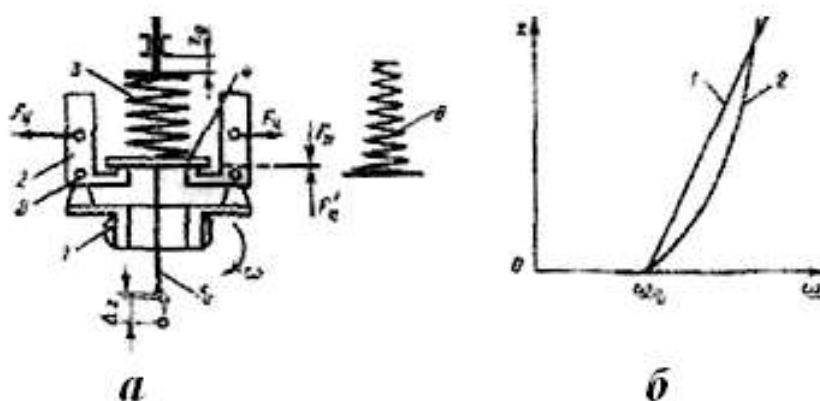


Рис. 12. Центробежный измеритель частоты вращения:  
а - принципиальная схема; б - статические характеристики

Для крайнего нижнего положения муфты и выходного штока 5 измерителя при установившемся режиме зависимость примет вид:

$$i\alpha_1 m_r r_0 \omega_0^2 = cz_0,$$

где  $i$  - число грузов датчика;

$\alpha_1$  - передаточный коэффициент от центра тяжести грузов к муфте;

$m_r$  - масса груза;

$r_0$  - радиус вращения центра тяжести груза;

$\omega_0$  - частота вращения грузов при установившемся режиме, соответствующая крайнему нижнему положению муфты;

$c$  и  $z_0$  - жесткость и предварительный затяг пружины измерителя.

При установившихся режимах зависимость между положением муфты измерителя и частотой вращения при  $c = \text{idem}$  нелинейна и графически описывается статической характеристикой 2 (рис. 12, б). Кривизна статической характеристики объясняется квадратичной зависимостью между перемещением муфты  $\Delta_z$  и изменением частоты вращения  $\Delta_\omega$ , а также радиуса  $\Delta_r$  вращения центра тяжести грузов. Статическую характеристику можно приблизить к линейной 1. Для этого в

измерителе (см. принципиальную схему на рис. 12.) цилиндрическую пружину (постоянной жесткости) *з* заменить конической (переменной жесткости) *б*. Иногда для уменьшения кривизны статической характеристики измерителя цилиндрическую пружину заменяют пакетом пружин с различной жесткостью.

Движущая сила измерителя определяется разностью сил действия датчика и пружины. Ее можно повысить, например, за счет увеличения массы грузов, однако при этом возрастает инерционность измерителя и ухудшаются его динамические свойства (рис. 13).

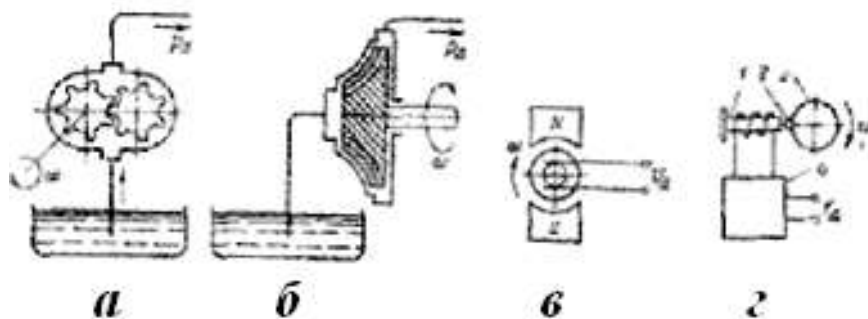


Рис. 13. Датчики частоты вращения:  
гидравлические: *а* - шестеренный; *б* - импеллерный;  
электрические: *в* - тахогенератор; *г* - индукционный

Качество работы различных механических измерителей во многом зависит от зазоров и трения в сочленениях входящих в них рычагов и опор. Для уменьшения сил сухого трения опоры выполняют ножевыми, точечными или в виде подшипников. Контакт рычага с ножевой опорой происходит только по линии, что приводит к отсутствию трения скольжения. На практике следует следить за износом этих деталей и производить их заправку так, чтобы радиус лезвия ножа был меньше радиуса самой опоры. Обычно эти радиусы равны соответственно 0,1 мм и 0,5 мм. Для точечных опор радиус дна опоры (обычно 0,5 мм) несколько больше радиуса конца иглы (обычно 0,3 мм), что обеспечивает контакт в точке и тем самым сводит к минимуму трение в сочленении.

В гидравлических измерителях частоты вращения ЧЭ являются насосы: шестеренные (рис. 13, *а*) и центробежные (импеллеры) (рис. 13, *б*), навешенные на двигатель. С изменением частоты вращения вала двигателя меняется подача и давление масла *P* на выходе из насоса, то есть наблюдается однозначное статическое соответствие частоты вращения и давления. Это давление подается на вход измерителя давления, выходным сигналом которого является перемещение выходного звена. Настройку такого измерителя частоты вращения производят обычно изменением предварительного затяга пружины измерителя давления. Преимуществом гидравлических измерителей является малая инерционность вследствие несжимаемости жидкости и удобство компоновки. Однако они обладают нелинейной и нестабильной статической характеристикой из-за изменения вязкости масла при работе.

В электрических измерителях частоты вращения датчиками являются

тахогенераторы (рис. 13, в), представляющие собой электрические машины малой мощности постоянного или переменного тока. При вращении ротора в постоянном магнитном поле в его обмотках индуцируется пропорциональная частоте вращения ЭДС, являющаяся выходным сигналом, с обмоток ротора снимается через контактные кольца, ток во внешней цепи будет переменным, а если через коллектор - постоянным. Достоинствами тахогенераторов являются малые размеры и масса, возможность дистанционной передачи сигналов, что позволяет широко их использовать при автоматизации процессов. Так, в системах контроля напряжение тахогенератора измеряется вольтметром, который отградуирован в об/мин и по показаниям которого определяется частота вращения вала.

Принцип действия электрических измерителей частоты вращения вала основан на безынерционном действии электронных измерительных устройств, работающих с индукционными или фотоэлектрическими импульсными датчиками. Индукционный датчик (рис. 13, г) состоит из жестко закрепленного магнитного сердечника 1 с катушкой индуктивности и подвижного якоря (штифта) 2 из магнитомягкого материала, закрепленного на валу 3. При вращении вала якорь 2, проходя мимо сердечника 1, создает пульсирующий магнитный поток, под действием которого в катушке индуцируется ЭДС. Импульсы ЭДС, являющиеся выходными сигналами датчика, с частотой вращения вала поступают на вход частотного преобразователя 4, выходным сигналом которого являются прямоугольные импульсы той же частоты  $f_d$ . В системах контроля частота этих импульсов измеряется электронным частотомером с цифровым индикатором или со шкалой, отградуированной в об/мин. Достоинством таких измерителей является бесконтактная связь с вращающимися деталями и высокая точность измерения. Повысить точность измерения частотных измерителей можно заменой однополюсного якоря 2 многополюсным в виде зубчатого венца и установкой специального частотного преобразователя.

## 6. Измерители расхода

*Расходом* называется количество вещества, протекающее через поперечное сечение трубопровода в единицу времени. Расход может измеряться в объемных ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) или массовых ( $\text{кг}/\text{с}$ ) единицах, а его значения могут быть мгновенными либо средними за определенный промежуток времени.

Приборы, служащие для определения мгновенных значений расхода, называются *расходомерами*, а для определения суммарного количества вещества - счетчиками расхода.

Измерители расхода различаются по принципу действия и устройству ЧЭ. Рассмотрим основные из них, получившие наибольшее распространение в СЭУ.

В дроссельных измерителях ЧЭ является диафрагма или труба Вентури, на которых происходит падение давления потока. Тогда по перепаду давления  $\Delta P = P_1 - P_2$  из уравнения косвенно (расчетным путем) можно определить объемный расход среды в единицу времени:

$$w = Kf\sqrt{\Delta P},$$

где  $K$  - площадь пропорциональности;

$f$  - площадь проходного сечения дросселя.

Значение  $K$  зависит от плотности среды, расходных характеристик дросселя и определяется опытным путем либо по специальным таблицам и графикам, прилагаемым в комплекте к дроссельному элементу.

Перепад давлений измеряется жидкостным либо механическим дифференциальным манометром. В последнем случае для непосредственного измерения шкала прибора может быть градуирована в единицах расхода. В системах централизованного контроля механический дифференциальный манометр снабжают датчиком, преобразующим его выходной сигнал в электрический.

Диафрагмы просты по устройству, однако создают значительные потери давления в трубопроводе. Меньшие потери создают трубы Вентури, несмотря на большую их сложность и громоздкость.

К дроссельным расходомерам относятся также ротаметры. *Ротаметр* состоит из конической стеклянной трубки со шкалой, внутри которой находится подвижный поплавок. Поток среды движется между трубкой и поплавком. При установившемся режиме сила действия массы поплавка уравнивается силой от перепада давлений  $\Delta P = P_1 - P_2$ , действующей на его площадь, и он удерживается в трубке на высоте  $h$ . При различных расходах среды и установившемся режиме перепад давлений сохраняется неизменным ( $\Delta P = idem$ ), а высота подъема поплавка  $h$  и соответственно площадь проходного канала между ним и трубкой изменяются. Тогда, как следует из уравнения ( $W = kf\sqrt{\Delta P}$ ), расход среды  $W$  пропорционален площади проходного сечения канала  $f$  и однозначно характеризуется высотой подъема поплавка  $h$ , являющейся выходным параметром ротаметра.

В *скоростных измерителях (анемометрических)* ЧЭ является *спиральная или крыльчатая вертушка*, вращаемая набегающим потоком с частотой, пропорциональной расходу среды.

В корпусе 3 счетчика расхода (рис. 14, а) ось спиральной вертушки б совпадает с направлением потока среды. Ее вращение передается через винтовые шестерни 5 и редуктор счетному механизму 4 стрелочного, дискового либо комбинированного типа. Для определения количества жидкости, прошедшей через прибор, необходимо записать показания счетчика (рис. 14, в) до ее пропускания и вычесть это значение из показаний счетчика после пропускания. Чтобы исключить погрешности измерения из-за завихрений потока, в корпусе на входе установлен струевыпрямитель 2 с лопастями, направляющими поток вдоль оси прибора. Лопасть 1 сделана поворотной и служит для регулирования показаний счетчика в соответствии с действительным расходом среды.

Для измерения малых расходов (до 3,5 м<sup>3</sup>/ч) применяют счетчики с крыльчатой вертушкой б (рис. 14, б), ось которой перпендикулярна оси потока среды. Принципы действия таких счетчиков и счетчиков со спиральной вертушкой аналогичны.

В *объемном шестеренном счетчике расхода* ЧЭ состоит из двух овальных

шестерен (рис. 15, *a*), вращающихся в камере под действием давления движущегося потока жидкости. Через камеру проходит количество жидкости кратное объему между шестернями цилиндрическими частями камеры. Суммарный расход жидкости пропорционален числу оборотов шестерни и определяется по счетчику, который связан с ней осью.

Аналогичное устройство и принцип действия имеют ротационные счетчики (рис. 15, *б*), в которых шестерни заменены вращающимися роторами с поперечным сечением в виде восьмерки.

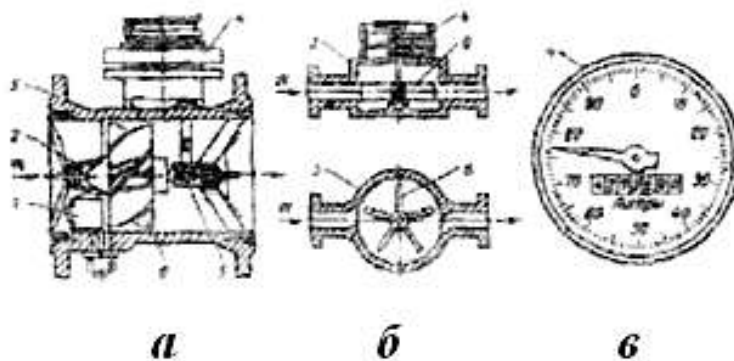


Рис. 14. Скоростные счетчики расхода:  
*a* - со спиральной вертушкой; *б* - с крыльчатой вертушкой; *в* - панель индикации

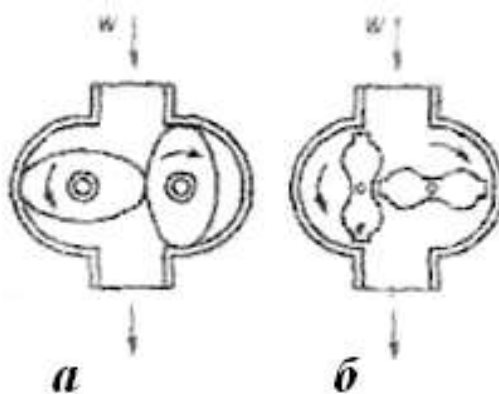


Рис. 15. Датчики объемных счетчиков расхода;  
*a* - шестеренный; *б* - ротационный

## 7. Автоматизация систем

### 7.1. Автоматизация санитарных систем

К санитарным судовым системам относятся системы водоснабжения и фановые.

Системы водоснабжения обеспечивают подачу к потребителям пресной питьевой и мыльевой (холодной и горячей), а также заборной санитарной воды.

Для автоматизации подачи мыльевой воды к потребителям устанавливают



гидрофор (пневмоцистерну) 9 (рис. 16, а), нижняя часть которого заполнена водой, а верхняя сжатым воздухом. В гидрофор пресная вода подается из танка через фильтр 2 насосом 1, приводимым во вращение электродвигателем 3. Из гидрофора вода вытесняется давлением сжатого воздуха и подается к потребителям. Гидрофор пополняют сжатым воздухом вручную, периодически открывая клапан 8. Визуально давление в гидрофоре контролируют по манометру 7, а уровень воды по водомерному стеклу 11. Гидрофор пополняют водой, периодически включая вручную насос 1, либо автоматически с помощью системы управления, смонтированной в шкафу управления, и сигнализации 4.

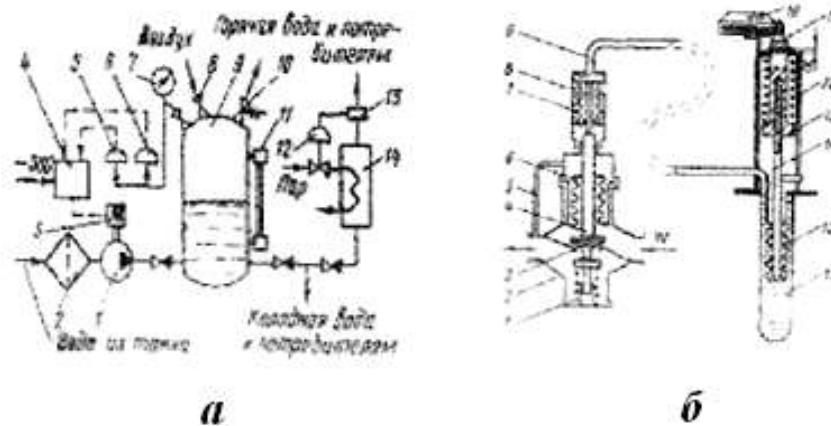


Рис. 16. Принципиальные схемы санитарной системы водоснабжения (а) и терморегулятора типа РТ-40 (б)

В автоматическом режиме работы контроль давления в гидрофоре ведется с помощью реле давлений: реле 5 вырабатывает сигнал по управлению электродвигателем, а реле 6 обеспечивает срабатывание защиты и сигнализации по предельным значениям давления.

По мере расхода воды из гидрофора уровень и давление снижаются до определенного нижнего значения, вызывая срабатывание реле давления 5, по сигналу которого через шкаф управления подается питание на электродвигатель. Насос подает воду, уровень растет, воздушная подушка сжимается, и при увеличении давления, до верхнего заданного значения по сигналу от реле давления 5 насос отключается. Таким образом, система регулирования обеспечивает ступенчатое (позиционное) поддержание уровня, работая по принципу «включено - выключено». Крайние значения давления, а, следовательно, и уровня воды определяются уставками задания и дифференциала реле давления 5.

Если давление в гидрофоре падает ниже минимальной уставки реле давления 5 (например, при срыве насоса или отсутствии воды в танке), срабатывает реле давления 6, насос отключается и включается сигнализация. В этом случае после устранения неполадок гидрофор заполняют водой, включая насос вручную. Для предотвращения аварии при чрезмерном росте давления на гидрофоре установлен предохранительный клапан 10.

Мытьевая вода подогревается в паровом водоподогревателе 14, а ее температура поддерживается автоматическим терморегулятором 12. При

изменении расхода воды изменяется ее температура на выходе из водоподогревателя. По сигналу от датчика 13 терморегулятор изменяет подачу греющего пара, поддерживая заданную температуру. В системах подогрева мытьевой воды обычно устанавливают пропорциональные терморегуляторы прямого действия (рис. 16, б).

Термопатрон 16 жидкостного пропорционального регулятора температуры типа РТ фланцевым соединением крепится на выходном патрубке водоподогревателя. Регулирующий клапан 2 устанавливается на подводящем трубопроводе греющего пара. Полость термопатрона уплотнена сильфоном 15 и капиллярной трубкой 9 соединена с камерой сильфона 7, выполняющего роль исполнительного механизма. Термосистема заполнена жидкостью с большим коэффициентом объемного расширения (ксилолом). К выходному штоку 8 сильфона 7 пружиной 1 прижат шток 4 клапана 3. Пропорционально изменению температуры воды, омывающей датчик, изменяется объем наполнителя в термопатроне, который по капилляру 9 перетекает в полость сильфона 7, вызывая соответствующее перемещение штоков 8, 4 и клапана 3. Это, в свою очередь, приводит к изменению подвода греющего пара в водоподогреватель и восстановлению его теплового баланса. Новому значению тепловой нагрузки водоподогревателя будет соответствовать новое положение клапана 3 и значение температуры воды на выходе. Так, с ростом нагрузки в системе при установившемся режиме будет поддерживаться более низкая температура, то есть для работы регулятора и системы терморегулирования характерна статическая неравномерность. Для регуляторов типа РТ значение неравномерности не превышает 10°C.

Настройка регулятора на заданное значение температуры производится вращением граненой головки 11 втулки 13, в которую на резьбе ввернут шток 14, нижним концом жестко соединенный с доньшком сильфона 15. При перемещении штока 14 вниз наполнитель вытесняется в полость сильфона 7, клапан 3 прикрывается, что соответствует более низкому значению поддерживаемой температуры, а при перемещении штока вверх регулятор поддерживает более высокую температуру.

Уставка задания контролируется по стрелке 10, которая перемещается вдоль шкалы через передаточный механизм при вращении втулки 13.

В случае чрезмерного роста температуры из-за неплотной посадки клапана 3 в гнездо или его заклинивания при перекосе штока 4 для предотвращения недопустимого увеличения давления наполнителя и разрыва термосистемы предусмотрено устройство компенсации увеличения объема наполнителя в термопатроне. В этом случае увеличивается объем наполнителя, перемещаются вверх шток 14, втулка 13 и сжимается предохранительная пружина 12. Такие неисправности сопровождаются появлением зазора между корпусом датчика и опорным буртом граненой головки 11.

Для исключения влияния на работу регулятора сил от перепада давлений пара, действующего на тарелку клапана 3, установлен сильфон 6. Его нижнее основание жестко закреплено в корпусе 2, а верхнее доньшко соединено со штоком 4. Во внутреннюю полость сильфона подводится пар под давлением,

равным давлением до клапана, а в наружную по трубке 5 - под давлением, равным давлению за ним.

В результате силы от перепада давлений на клапане и сильфона не уравниваются на штоке 4, что снижает силу срабатывания клапана с гнезда и исключает его раскачивание движущимся потоком пара.

Аналогичное устройство и принцип действия имеют терморегуляторы прямого действия типа «АКО», «Самсон», «Мертик».

В *фановых системах* обычно автоматизируют процессы контроля предельного уровня грязных вод фекальных цистерн. Для этого в цистерны устанавливают поплавковые, емкостные (принцип действия рассмотрен выше) или электродные сигнализаторы. Работа электродного сигнализатора основана на электролитических свойствах грязных вод. Он состоит из двух электродов, расположенных в верхней части цистерны, и включен последовательно в цепь питания промежуточного реле. Если электроды оголены, сопротивление, между ними велико и реле обесточено.

При наполнении цистерны грязными водами электроды замыкаются, сопротивление между ними снижается, сила тока, проходящего через реле, возрастает и вызывает его срабатывание. Реле замыкает цепь сигнализации, оповещающей обслуживающий персонал о наполнении цистерны.

## ***7.2. Автоматизация осушительных, балластных, топливных и грузовых систем***

Осушительные, балластные, топливные и грузовые системы имеют различное назначение, но общие принципы автоматизации. Обычно контроль и управление автоматизационными осушительными, балластными и топливными системами ведется с помощью мнемосхем, смонтированных в ЦПУ, а грузовыми системами танкеров - из специальных постов насосных отделений. На мнемосхемах расположены принципиальные схемы систем, органы управления насосами и клапанами, а также приборы контроля за их работой и сигнальные лампы.

Например, сухогрузные суда типа «Новгород» оборудованы мнемосхемой, представленной на рис. 17: с панели А ведется управление *осушительной системой*, с панели Б - *топливно-балластной*.

С помощью осушительного насоса б, который включается автоматически по сигналу от датчика уровня льяльных вод, производят непосредственное осушение льял машинного отделения. Всасывающий и нагнетательный клапаны этого насоса открываются дистанционно, а их конечные положения контролируются по сигнальным лампам 5. Грязные воды проходят очистку в сепараторе льяльных вод 4 и через шпигат 3 выбрасываются насосом за борт.

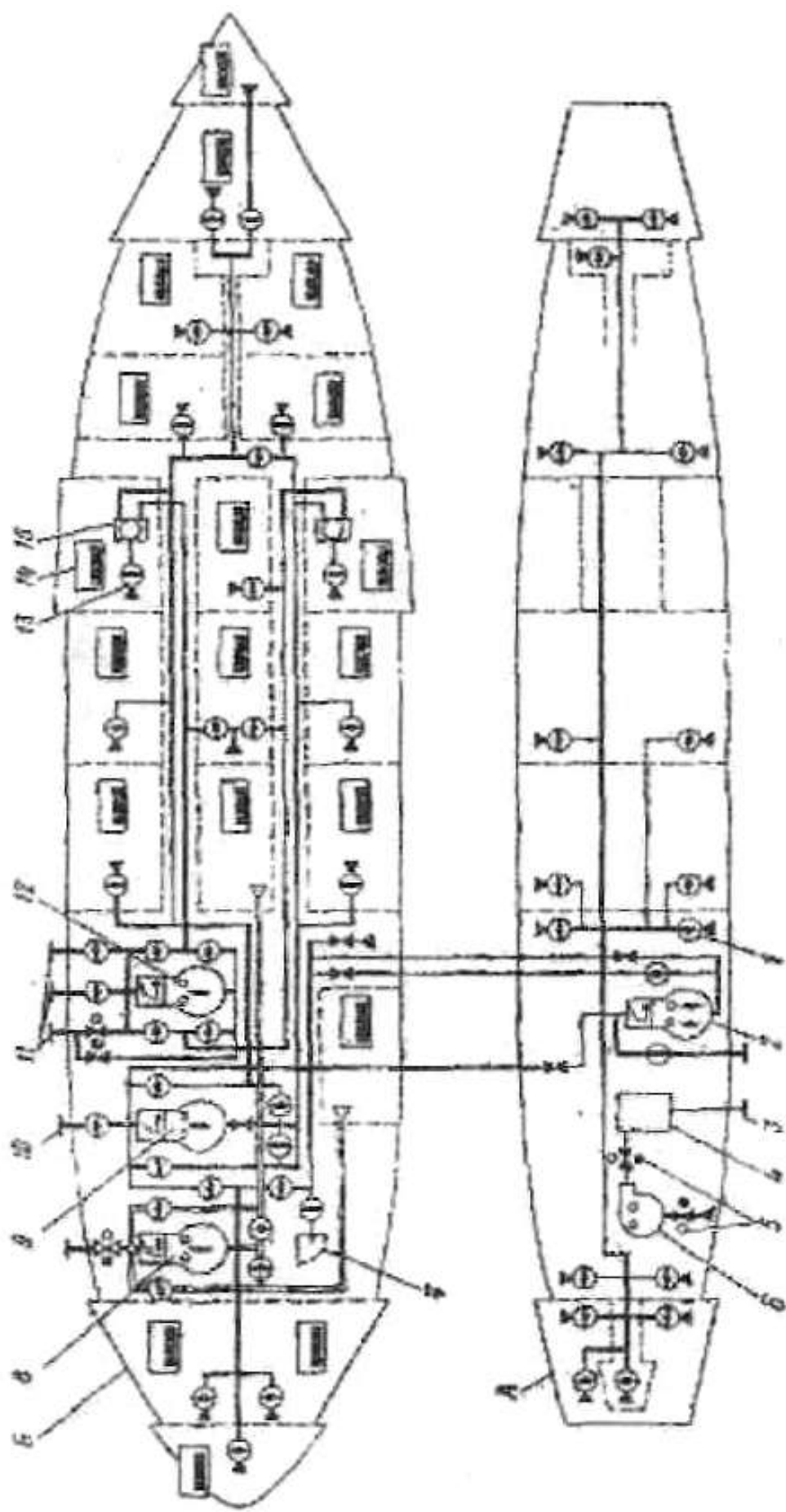


Рис. 17. Мнемосхема осушительной (А) и топливно-балластной (Б) систем теплохода «Новгород»

Контроль за работой насоса 6 ведется по сигнальным лампам мнемосхемы.

Осушение остальных льяльных колодцев и кофердамов производится двухскоростным поршневым насосом, включаемым дистанционно с панели управления 2. Нагрузку насоса контролируют по амперметру, показывающему значение потребляемого тока. Перед пуском насоса необходимо поворотом соответствующих рукояток управления (выключателей) 1 мнемосхемы дистанционно установить в определенное положение магистральные клапаны линий всасывания и нагнетания насоса.

При развороте рукоятки 1 вдоль магистрали получает питание соответствующий электромагнитный клапан, пропускающий сжатый воздух в СМ управления магистральным клапаном. Последний открывается и через конечный выключатель замыкает цепь питания сигнальной лампы, встроенной в рукоятку управления мнемосхемы.

Магистральными клапанами топливной и балластной систем управляют аналогично с панели Б.

Уровень жидкости в танках контролируют по указателям уровня 14. Для перекачки балласта установлен центробежный насос 9, а для перекачки топлива - насосы 5 и 12, управляемые дистанционно с панели соответствующими переключателями.

Балластные танки заполняются забортной водой через кингстон 7 самотеком либо насосом 9. Из балластных танков насосом вода выбрасывается за борт через шпигат 10. Прием топлива и его отдача производится через патрубки 11.

На магистралях топливно-балластных танков, кроме приемных клапанов 13, установлены трехходовые клапаны 15, управляемые дистанционно и обеспечивающие соединение танка с топливным либо балластным насосом.

Топливо-балластная и осушительная системы судов типа «Варнемюнде» оснащена электропневмогидравлической системой управления магистральными клапанами. Дистанционное управление клапанами производится с мнемосхемы, установленной в ЦПУ. Каждый магистральный клапан 21 (рис. 18) перемещается гидравлическим СМ 20 одностороннего действия.

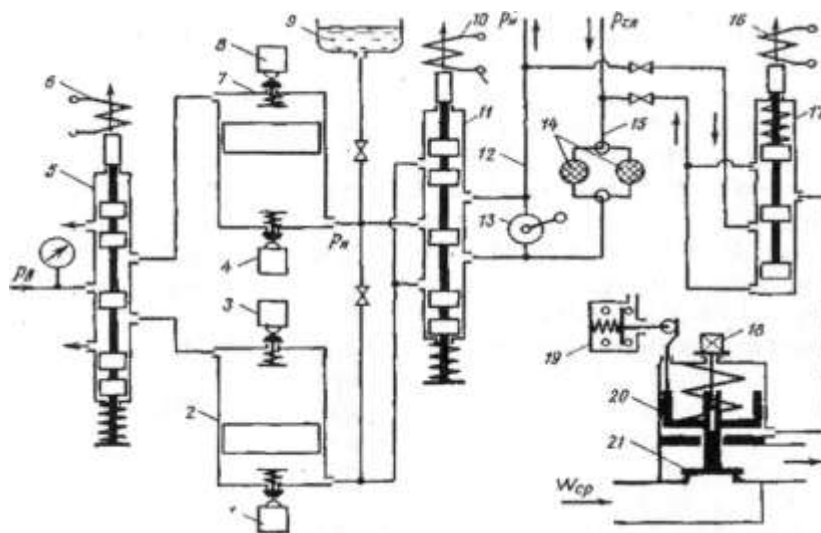


Рис. 18. Принципиальная схема дистанционного управления арматурой осушительной и топливно-балластной систем теплохода «Варнемюнде»

Для открытия клапана необходимо с помощью соответствующего выключателя управления мнемосхемы подать питание на катушку соленоида 16 электрогидравлического золотника 17. Через него масло под давлением  $P_n$  поступает под поршень СМ 20 и, преодолевая действие силовой пружины, открывает клапан. При достижении крайнего верхнего положения поршня конечный выключатель 19 замыкает цепь соответствующей контрольной лампы мнемосхемы, сигнализирующей об открытии клапана. Для закрытия клапана необходимо обесточить катушку соленоида 16. Под действием возвратной пружины управляющий золотник 17 возвращается в исходное положение, сообщая полость СМ 20 со сливной магистралью, поршень СМ под действием силовой пружины перемещается вниз, выдавливая масло из рабочей полости, и закрывает клапан.

Давление масла  $P_n$  перед всеми управляющими золотниками 17 поддерживается постоянным с помощью пневмогидравлических аккумуляторов 2 и 7, поочередно нагнетающих масло в напорную магистраль 12 и автоматически переключаемых с помощью электромагнитных золотников 5 и 11. При обесточенных соленоидных катушках 6 и 10 через золотник 5 воздух из баллонов под давлением  $P_n = 14,7 \cdot 10^5$  Па (15 кгс/см<sup>2</sup>) подается в верхнюю полость аккумулятора 7 и, действуя на поршень, вытесняет масло из нижней полости через золотник 11 в напорную магистраль 12 с давлением  $P_n = 14,7 \cdot 10^5$  Па (15 кгс/см<sup>2</sup>). Это давление обеспечивает открытие магистральных клапанов 21 при подаче масла в полость СМ 20 через управляющие золотники 17. Обратный слив масла при закрытии клапанов производится от золотников 17 по сливной магистрали 15 через магнитные фильтры 14 и золотник 11 в аккумулятор 2. Поршень этого аккумулятора, перемещаясь, вытесняет воздух из верхней полости в атмосферу через золотник 5.

По мере расхода масла из аккумулятора 7 и наполнения аккумулятора 2 поршни достигают крайних положений, вызывая срабатывание конечных выключателей 3 и 4. Через систему управления по их сигналу подается питание в соленоидные катушки 6 и 10, перемещающие золотники 5 и 11. В результате воздух под давлением  $P_B$  подается к аккумулятору 2, который становится напорным, а воздушная полость аккумулятора 7 сообщается с атмосферой, и он становится приемным. По достижении крайних положений поршней по сигналу от конечных выключателей 1 и 8 переключение аккумуляторов повторяется. Таким образом, автоматическое переключение аккумуляторов позволяет постоянно поддерживать в напорной магистрали давление масла, обеспечивающее дистанционное перемещение магистральных клапанов.

Попадание воздуха в гидравлические полости аккумуляторов или утечки масла из системы вызывают несогласованный приход поршней в крайние положения и частое переключение аккумуляторов либо их отказ. Конечные положения поршня и режимы работы аккумуляторов контролируются по сигнальным лампам, вынесенным на панель мнемосхемы управления. Питание на лампы подается по сигналу от конечных выключателей аккумуляторов.

Для удаления воздуха из гидравлических полостей аккумуляторов на их корпусе установлены спускные пробки. Система пополняется маслом из масляного бака 9. При выходе из строя гидравлических аккумуляторов масло подается в систему управления клапанами от ручного насоса 13. При отказе системы дистанционного управления предусмотрено ручное управление магистральными клапанами 21 вращением резьбового штока 18.

Грузовые системы танкеров оснащены системами дистанционного измерения уровня груза в танках (рис. 19), дистанционного управления арматурой, а в последнее время - автоматизированными системами управления грузовыми операциями. Централизация и автоматизация управления грузовыми операциями танкеров позволяет сократить стояночное время судна под грузовыми операциями на 30-40%, ликвидировать тяжелый физический труд при управлении арматурой и повысить безопасность выполнения грузовых операций.

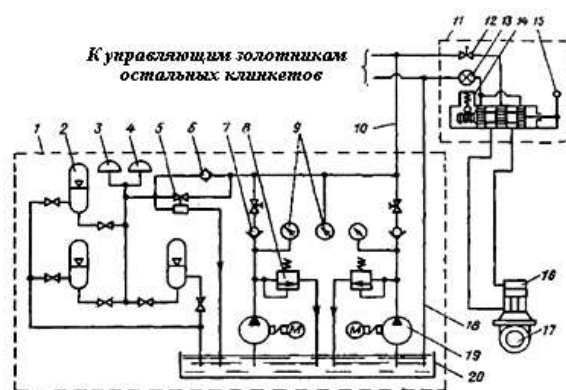


Рис. 19. Принципиальная схема дистанционного управления арматурой грузовой системы танкера

В целях повышения взрывопожаробезопасности в грузовых системах наливных судов не допускается установка электрических элементов систем управления и контроля.

Для дистанционного централизованного измерения уровня груза в танках широкое распространение получили пневмеркаторные системы, принцип действия которых описан в разделе 3. Применяются также поплавковые измерители уровня с сельсинной передачей, ультразвуковые и радиоактивные.

Системы дистанционного управления арматурой обычно выполняются гидравлическими. Основными элементами таких систем (см. рис. 19) являются насосная станция 1, обеспечивающая подачу масла под давлением  $(39 \dots 98) \cdot 10^5$  Па ( $40 \dots 100$  кгс/см<sup>2</sup>) в систему управления, щит централизованного управления 11, клинкеты 17 с гидравлическими СМ 16 и связывающие их трубопроводы.

Для работы системы необходимо с местного либо дистанционного поста управления запустить один из электроприводных масляных насосов 19, берущих масло из бака 20. Давление нагнетания определяется по манометру 9, а его максимальное значение ограничивается посредством обратного слива в бак через перепускной клапан 8. Насосом масло подается через невозвратный клапан 7 в напорную магистраль 10, а через невозвратный клапан 6 в три

пневмогидравлических аккумулятора 2, один из которых является резервным.

Аккумуляторы предназначены для поддержания в напорной магистрали давления масла при неработающих насосах. Поршнем или мембраной аккумулятор делится на две полости. Верхнюю полость заполняют воздухом либо инертным газом (азотом) под давлением, составляющим около 60% номинального давления масла при нахождении поршня (мембраны) в крайнем нижнем положении. Работающий насос заполняет нижнюю полость маслом, и давление в аккумуляторе растет. При достижении им верхнего рабочего значения по сигналу от реле давления 3 насос выключается, а его напорная магистраль запирается невозвратным клапаном 7. По мере расхода масла из аккумуляторов на систему управления через блокировочный клапан 5 давление в напорной магистрали снижается до нижнего рабочего значения, и по сигналу от реле давления 3 включение насоса повторяется. Если по каким-либо причинам продолжается понижение давления, то при его значении, соответствующем 70% от номинального, запирается блокировочный клапан 5, а реле давления 4 замыкает цепь предупредительной сигнализации. При росте давления выше максимального значения сигнализация срабатывает аналогично с одновременным отключением насоса системой защиты. Таким образом, насосная станция с помощью пневмогидроаккумуляторов позволяет поддерживать на определенном уровне давление в напорной магистрали при периодическом включении насосов.

Для управления каждым клинкетом грузовых и зачистных трубопроводов на пульте 11 установлен свой золотниковый распределитель. При среднем фиксированном положении рукоятки управления 15 золотник разделяет трубопроводы, идущие от насосной станции к СМ 16 клинкета 17. Смещение золотника с помощью рукоятки управления в положение «Клинкет открыт» (вправо) приводит к сообщению через клапан 12 нижней полости СМ с напорной магистралью 10, а верхней - со сливной магистралью 18. Под действием давления масла в нижней полости поршень СМ перемещает задвижку клинкета вверх. Масло из верхней полости через управляющий золотник и вертушку контроля движения задвижки 13 по трубопроводу 18 сливается в бак 20. Вертушка вращается до тех пор, пока поток масла движется на слив через управляющий золотник, позволяя оператору косвенно следить за перемещением задвижки клинкета. Если после открытия клинкета золотник установлен в нейтральное положение, то из-за неплотностей и утечек масла задвижка со временем под действием собственного веса может опуститься, закрыв клинкет. Поэтому в нижней полости СМ необходимо поддерживать давление масла, оставив рукоятку 15 в положении «Клинкет открыт». Для закрытия клинкета необходимо рукоятку поставить в положение «Клинкет закрыт», а после опускания задвижки ее можно вернуть в нейтральное положение. Фиксатор 14 стопорит рукоятку и золотник в определенном положении.

Время перемещения задвижки клинкета регулируется дроссельным клапаном 12 и обычно устанавливается в пределах 60-90 с.

Существуют также системы, в которых давление масла, необходимое для открытия и закрытия клинкетов, различно. Принцип их действия аналогичен описанному выше, однако устройство и эксплуатация сложнее, а начальная



стоимость выше.

Грузовые и балластные системы современных танкеров оснащены средствами автоматики, обеспечивающими автоматическое выполнение операций погрузки, выгрузки и балластировки судна без непосредственного участия человека. Решение этих задач достигается установкой автоматизированных систем с программным управлением. Программа закладывается оператором в блоки логического управления и контроля, а на некоторых судах в ЭВМ, получающих также входную информацию от датчиков уровней груза, крена, осадки, напряжений в корпусе судна, положения задвижек клинкетов, положения управляющих органов автономных систем управления и механизмов.

Автоматическая система управления обеспечивает проведение грузовых операций по заданной программе и поддерживает допустимые значения осадки, крена, напряжений в корпусе судна и загрузки механизмов.

### **7.3. Автоматизация систем пожаротушения**

Судовые системы пожаротушения снабжены средствами автоматики, позволяющими сигнализировать о возникновении и месте пожара, а в ряде случаев - системами управления средствами пожаротушения.

Система автоматической пожарной сигнализации состоит из датчиков (извещателей), расположенных в охраняемых помещениях, приемной и сигнализирующей аппаратуры, устанавливаемой на специальных пультах, средств питания системы сигнализации и линий связи указанных звеньев. В соответствии с Правилами противопожарного оборудования морских судов Регистра судоходства автоматические системы сигнализации должны получать питание не менее чем от двух независимых источников. Причем при отключении основного должно автоматически производиться переключение на резервный. Рекомендуется применять такие схемы включения датчиков, при которых в случае обрыва линий их связи срабатывает сигнализация.

В системах сигнализации могут устанавливаться *ручные извещатели* (РИ) и *автоматические тепловые* либо *дымовые извещатели* (АИ). К коммутаторам станций извещатели могут подключаться по лучевой или шлейфной схеме.

При лучевой схеме (рис. 20, а) один или несколько извещателей, включенных последовательно, устанавливаются в одном контролируемом помещении и подсоединяются к отдельному каналу коммутатора. По сигналу любого из извещателей срабатывает сигнализация о пожаре в данном помещении.

При шлейфной схеме (рис. 20, б) последовательно включенные извещатели устанавливаются в различных помещениях, расположенных близко друг от друга. По сигналу любого из извещателей срабатывает сигнализация о пожаре в данной группе помещений без указания точного адреса.

*Ручные извещатели* представляют собой кнопочные прерыватели, помещенные в герметичный корпус. Для оповещения о пожаре необходимо разбить защитное стекло и вручную нажать кнопку прерывателя цепи сигнализации.

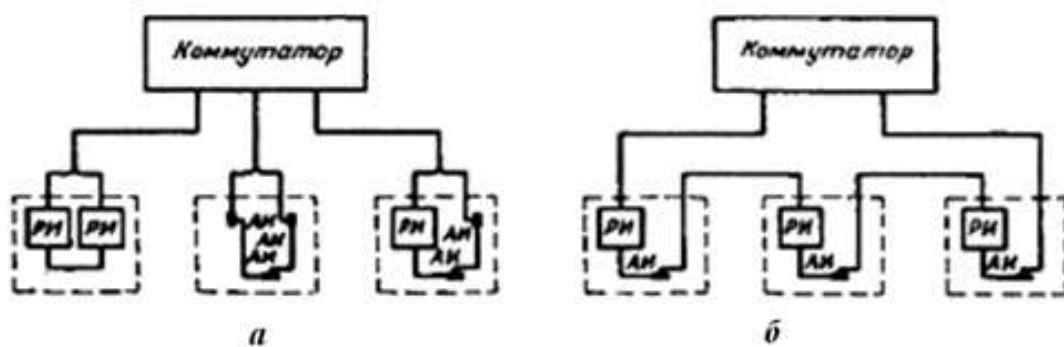


Рис. 20. Схемы станций пожарной сигнализации:  
а - лучевая; б - шлейфная

Автоматические температурные извещатели используются для контроля предельных значений температуры или скорости ее нарастания. В извещателе предельного значения температуры (рис. 21, а) ЧЭ является биметаллическая пластина 2, верхний слой которой обладает значительно большим коэффициентом линейного расширения, чем нижний. Пластина отделена от корпуса 4 изоляционной прокладкой 1 и опирается на регулировочный винт 3. При превышении заданного значения температуры окружающей среды пластина прогибается и ее контакт с винтом нарушается, вызывая разрыв электрической цепи и срабатывание сигнализации.

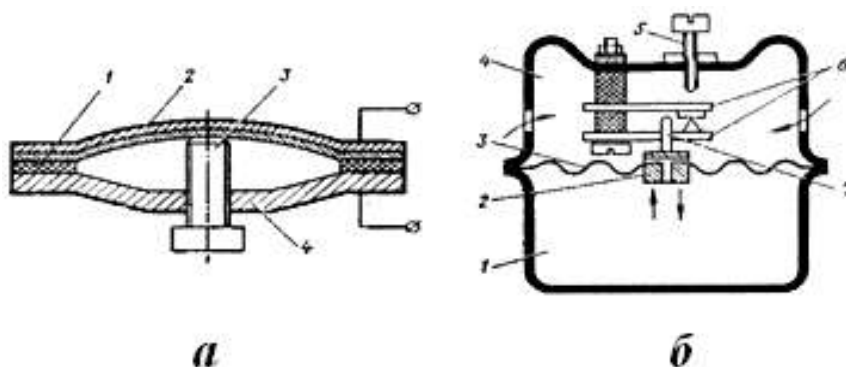


Рис. 21. Схемы предельного (а) и дифференциального (б) температурных извещателей

Настройка извещателя на предельное значение температуры производится регулировочным винтом 3.

На судах применяются также извещатели в виде двух подпружиненных контактов, спаянных легкоплавким сплавом, цепь которых разрывается при достижении предельно допустимой температуры. Рассмотренные извещатели обладают значительной тепловой инерцией и срабатывают с запаздыванием после возникновения пожара.

Значительно меньшей тепловой инерцией обладают полупроводниковые извещатели, работающие по принципу термосопротивлений. Их электропроводность скачкообразно изменяется при достижении определенной температуры, вызывая срабатывание сигнализации.

*Дифференциальный температурный извещатель* (рис. 21, б) реагирует на скорость повышения температуры и состоит из камер 1 и 4, разделенных диафрагмой 3. Верхняя камера сообщается с окружающей средой широкими окнами, а нижняя камера сообщается с верхней дроссельным каналом жесткого центра 2. При медленном повышении температуры окружающей среды давления в камерах успевают выравниваться через дроссель. А при быстром изменении температуры из-за сопротивления дросселя давление в камере 1 становится больше, чем в камере 4. Под действием разности давлений мембрана прогибается вверх и через шток 7 разрывает цепь контактов 6, вызывая срабатывание сигнализации. Сечение дросселя подбирают таким, чтобы извещатель срабатывал при скорости нарастания температуры 5-10°С/мин. Винт 5 ограничивает перемещение подвижного контакта.

Рассмотренные извещатели устанавливают обычно в жилых и служебных помещениях судна сравнительно малых объемов. Пожарный автоматический контроль помещений больших объемов (грузовых трюмов, машинных отделений и ЦПУ), как правило, осуществляется с помощью дымосигнальных установок, а картеров ДВС - с помощью устройств контроля предельно допускаемой концентрации паров смазочного масла. Перспективными являются дымосигнальные установки с ионизационными извещателями, устанавливаемыми в закрытых помещениях МКО.

В картерах ДВС повышение температуры подшипников и прорыв газов из цилиндров приводит к росту концентрации паров смазочно масла и создает опасность возникновения взрыва. Для предотвращения этого на двигателях устанавливают специальные системы контроля и сигнализации предельной концентрации паров (масляного тумана). Наиболее широкое распространение на судах получили *детекторы масляного тумана* – устройства типа «Гравинер» и «КИМТ-1М». Принцип действия устройств основан на анализе световой проницаемости проб воздуха, насыщенного парами масла.

Воздух с парами масла из отсеков картера двигателя (рис. 22) через патрубки вращающегося золотника 4 и контрольные камеры 2 и 6 отсасывается вентилятором 8. Световой поток от осветительной лампы через оптическую систему (линз и зеркал 7 и 9) проходит вдоль камер и освещает фотоэлементы 3 и 5. От электродвигателя М вентилятора через электромагнитную муфту Э<sub>м</sub> и редуктор 1 автоматически переключается кран 4, поочередно соединяющий камеру 2 с отсеками картера двигателя. При отборе через камеру 2 проб из одного отсека пробы из остальных отсеков одновременно проходят через камеру 6. Если концентрация паров масла пробы, отбираемой через камеру 2, выше средней концентрации паров проб, проходящих через камеру 6, то появляется разность освещенностей фотоэлементов 3 и 5. При достижении этой разности (дифференциала) предельного значения по сигналу от фотоэлементов через шкаф управления 10 срабатывает звуковая и световая предупредительная сигнализация. Одновременно через муфту Э<sub>м</sub> разобщается привод крана 4, а указатель его рукоятки останавливается напротив канала того отсека картера, в котором повысилась концентрация паров масла.

При нормальной работе устройства продолжительность и периодичность

отбора проб из каждого отсека картера составляет 4 с. Настройка устройства на предельное значение разности концентрации, паров масла производится на режиме полного хода двигателя с помощью рукояток управления и прибора, встроенных в шкаф управления.

На крейцкопфные двигатели устанавливают устройства с дифференциальной схемой измерения, а на тронковые - устройства, реагирующие на предельное значение концентрации паров масла в отсеке. Отличительной особенностью последних является поочередный отбор проб через кран 4 только в одну камеру 2. Вторая камера 6 отсоединена от крана 4, вентилятора 8 и сообщается с окружающим воздухом.

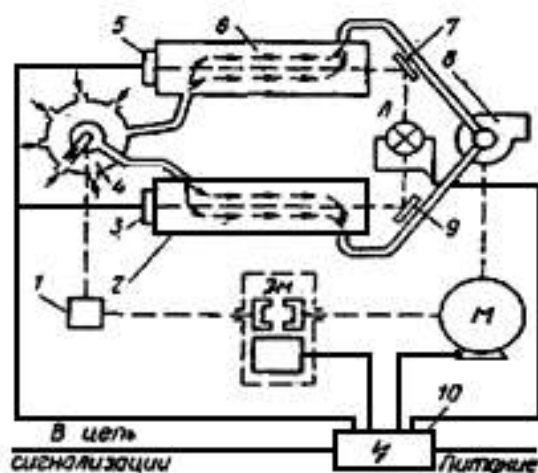


Рис. 22. Схема детектора масляного тумана

Для обеспечения нормальной работы описанных устройств необходимо ежемесячно, а также при отклонениях в работе очищать камеры и элементы оптической системы. В случае выхода из строя фотоэлемента одной из камер необходимо комплектно менять элементы обеих камер и настраивать устройства согласно инструкции по эксплуатации.

Аналогичный принцип действия имеют *дымосигнальные станции* обнаружения пожара в трюмах. Такие станции устанавливаются обычно на ходовом мостике, а с трюмами соединяются трубопроводами. Сигнализация почти всех станций срабатывает при неисправности вентилятора, перегорании ламп накаливания, исчезновении питания и т.д.

Автоматизация систем пожаротушения может включать в себя не только средства оповещения о возникновении пожара, но и *средства дистанционного либо автоматизированного управления*. С помощью средств автоматизированного управления судовые системы пожаротушения поддерживают в постоянной готовности.

В ряде систем с отдельного пульта ПУ обеспечивается управление насосными установками, поддерживающими постоянное давление в пожарной магистрали независимо от расхода воды. Магистральные клапаны и клапаны на перемычках управляются, как правило, дистанционно. Пожарные насосы (рис. 23) кольцевой магистрали 1 подключаются через дистанционно управляемые

разобшительные клапаны  $K4$ ,  $K3$ ,  $K8$  и  $K9$ . Клапаны  $K6$  и  $K7$  разобшают носовые и кормовые участки магистралей левого и правого бортов. Трехпозиционные гидравлические позиционеры дистанционно управляют клапанами, удерживая их в заданном положении после снятия команды. На напорных магистральных насосов установлены автоматические невозвратные клапаны, предотвращающие сток воды из магистралей после остановки насосов.

Для экономии ресурса пожарных насосов при малых расходах воды на напорной магистрали установлена пневмоцистерна 2, выполняющая роль гидроаккумулятора. Она работает как гидрофор, и по сигналу от реле давления  $СД4$  включается либо выключается насос  $Н1$ . Контроль за исправностью работы насосов ведется по сигналам от реле давления (сигнализаторов)  $СД1$ ,  $СД2$  и  $СД3$ , установленных на напорных магистральных перед невозвратными клапанами.

В целях уменьшения резких колебаний напряжения сети электропитания система управления обеспечивает только последовательное (поочередное) включение насосов. При включении насосной установки сначала открывается клапан ( $K1$ ,  $K2$  или  $K3$ ) на всасывающем патрубке насоса, идущем от кингстона 3, а затем подается питание на электродвигатель.

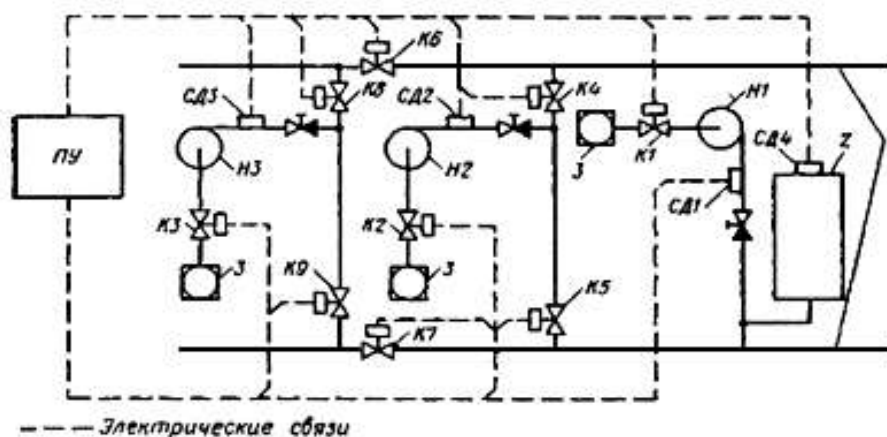


Рис. 23. Схема автоматической водяной системы пожаротушения

На ряде судов автоматизированы процессы подачи воды к предполагаемым очагам пожара через системы водяных завес (спринклерные системы). Спринклер - водораспыливающее устройство, размещаемое под подволокой судовых помещений и автоматически включающееся при достижении заданной максимально допустимой температуры. Это устройство имеет распыливающие насадки с легкоплавким замком, который разрушается при температуре 70-80°C и открывает выход воде из пожарной магистрали, давление в которой поддерживается с помощью пневмоцистерны.

Системы химического и углекислотного пожаротушения на современных судах управляются дистанционно с выдачей звуковой и световой сигнализации в те помещения, куда подаются гасящие вещества.

На танкерах для обеспечения взрывопожаробезопасности грузовых танков применена автоматизированная установка инертных газов. Инертные газы отбирают из дымоходов паровых котлов, очищают от двуокиси серы и

несгоревших углеводородов, осушают, а затем подают в грузовые танки. С помощью систем автоматического управления, контроля и сигнализации выполняются следующие функции: местный и дистанционный пуск системы осушенных инертных газов и вывод ее из действия, поддержание и контроль заданных параметров установки, защита и сигнализация при аварийных ситуациях, автоматизированная дегазация грузовых танков.

При ходе судна в грузу или в балласте в танках автоматически поддерживается избыточное давление инертных газов в пределах 1,96-8,82 кПа.

При достижении предельных значений контролируемых параметров установки подача инертных газов в танки прекращается, и срабатывает аварийная сигнализация в рулевой рубке и ЦПУ.

### **8. Автоматизация судовых электростанций**

Современные суда транспортного морского флота оборудованы электростанциями переменного тока. Приводными двигателями электрических генераторов могут быть дизели, паровые и газовые турбины. Для нормальной работы судового электрооборудования необходимо поддерживать частоту тока и напряжение в сети в определенных пределах. Для регулирования напряжения средствами электроавтоматики изменяют ток возбуждения генераторов.

Частота переменного тока в сети  $f$  (Гц) однозначно определяется частотой вращения вала генератора  $n$  (об/мин) и приводного двигателя:

$$f = \frac{in}{60},$$

где  $i$  - число пар полюсов генератора.

Следовательно, для стабилизации частоты тока в сети необходимо поддерживать в определенных пределах частоту вращения вала приводного двигателя. По требованиям морского Регистра судоходства степень неравномерности АСР частоты вращения приводных двигателей генераторов переменного тока не должна превышать 5%, что соответствует изменению частоты тока 2,5 Гц при номинале 50 Гц и изменении нагрузки от 0 до 100%. Нестабильность поддержания частоты вращения при изменении нагрузки от 25 до 100% номинальной не должна превышать 1%. При 100%-м увеличении нагрузки динамический заброс частоты вращения не должен превышать 10% от номинала, а время переходного процесса должно быть не более 5 с.

Суммарная мощность включенных потребителей электрической энергии определяет нагрузку судовой электростанции. Эту мощность дают электрические генераторы, для привода которых необходима соответствующая мощность приводных двигателей. Следовательно, активная мощность электрической сети в сумме с механическими и тепловыми потерями мощности в генераторах определяет нагрузку их приводных двигателей. Мощность, развиваемая приводными двигателями, определяется и регулируется расходом топлива (в ДВС и ГТУ) либо пара в (ПТУ). Одновременно АСР частоты вращения поддерживает на заданном уровне частоту вращения вала независимо от мощности.

Если работает только *один генераторный агрегат*, то он несет всю нагрузку сети, а заданная частота тока поддерживается в пределах статистической неравномерности АСР. Тогда *регулятор выполняет только одну задачу - поддерживает заданную частоту вращения*.

Функции регуляторов расширяются, если генераторные агрегаты работают параллельно. Особенно это сказывается при параллельной работе агрегатов с синхронными генераторами переменного тока. В этом случае электрически связанные генераторы вращаются синхронно (с одинаковой частотой), а нагрузка и частота вращения каждого агрегата зависят от взаимного расположения статических характеристик АСР и суммарной активной мощности потребителей тока. Иными словами, комплекс параллельно работающих генераторных агрегатов с внешней сетью образует сложный ОУ со связанными параметрами, регулируемым параметром которого является не только частота тока, но и нагрузки каждого агрегата. Таким образом, *регуляторы частоты вращения при параллельной работе генераторных агрегатов выполняют функции поддержания частоты вращения и распределения активной нагрузки между агрегатами*. Причем необходимо, чтобы *активная нагрузка была распределена между генераторами пропорционально мощностям их приводных двигателей*. С позиции повышения динамической устойчивости АСР и равномерности распределения нагрузки между параллельно работающими агрегатами следует увеличивать их статизм. Однако это снижает статическую точность поддержания частоты вращения и частоты тока в сети при различных значениях нагрузки и неизменной настройке регуляторов. Поэтому при параллельной работе агрегатов рекомендуется настройка АСР на статическую неравномерность 2-4%.

Рассмотрим принципы *параллельной работы двух генераторных агрегатов переменного тока одинаковой мощности и распределение нагрузки между ними*. Первый агрегат с постоянной нагрузкой АСР приводного двигателя работает по статической (регуляторной) характеристике  $R_1'$  (рис. 24, а), поддерживая заданную частоту тока в сети  $f$  при различных значениях нагрузки в пределах неравномерности АСР. Предположим, активная нагрузка этого генератора  $P_1$  составляет 75-85% от номинальной, а частота тока в сети соответствует установившемуся режиму в точке А. Если предполагается дальнейший рост нагрузки сети, то во избежание перегрузки этого агрегата необходимо ввести в параллельную работу второй агрегат и распределить нагрузки между ними поровну. Для этого запускают приводной двигатель второго агрегата и в случае необходимости корректируют напряжение его генератора до нужного уровня. Затем с ГРЩ воздействуют на органы управления синхронизацией второго агрегата (кнопки или переключатель «Больше - меньше»). По их сигналу через электрический СМ (реверсивный электродвигатель) изменяют уставку задания регулятора таким образом, чтобы частота тока генератора совпала с частотой тока в сети  $f_1$ . Это соответствует регуляторной характеристике  $R_1''$  АСР второго агрегата.

В момент совпадения фаз тока по синхроскопу второй генератор подключают к сети и приступают к выравниванию активных нагрузок

генераторов. Для этого воздействием на орган управления синхронизации второго агрегата (кнопку «Больше») увеличивают уставку задания регулятора приводного двигателя, что приводит к параллельному смещению регуляторной характеристики  $R_1'$  в положение  $R_2''$ . В результате увеличения крутящего момента второго приводного двигателя (из-за увеличения подачи топлива или пара) возрастает общая частота вращения агрегатов и частота тока в сети до значения  $f_2$ . Это приводит к смещению нагрузочной характеристики вправо в положение  $BC$  и перераспределению прежней нагрузки  $R_1'$  между генераторами:  $P_2'$  - для первого и  $P_2''$  - для второго.

Дальнейшее увеличение уставки задания регулятора второго агрегата может привести к значительному отклонению частоты тока в сети от номинальной. Поэтому для последующего выравнивания нагрузок между агрегатами следует уменьшать уставку задания регулятора первого агрегата (нажатием кнопки «Меньше»).

После того как регуляторные характеристики  $R_2''$  и  $R_2'$  совместятся, первоначальная нагрузка первого агрегата  $P_1'$  разделится между обоими агрегатами поровну ( $P_3' - P_1''$ ), а частота тока в сети достигнет начального значения  $f_1$ . Как следует из графика, с изменением суммарной нагрузки сети нагрузка между агрегатами будет распределяться поровну, а частота вращения двигателей и частота тока в сети будут изменяться в пределах степени неравномерности АСР.

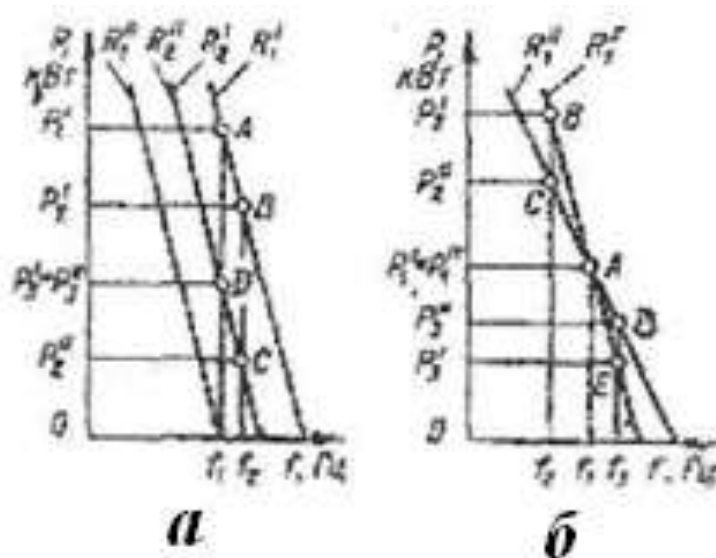


Рис. 24. Статические характеристики АСР генераторных агрегатов равной мощности, работающих параллельно:  
 а - с одинаковой неравно мерностью; б - с разной неравномерностью

Из изложенного следует, что для равномерного распределения нагрузки между генераторными агрегатами одинаковой мощности необходимо, чтобы степени неравномерности их АСР имели одинаковые значения, а регуляторные характеристики были смещены.



Если регуляторные характеристики имеют различный наклон (различные неравномерности АСР), то равномерное распределение нагрузки возможно только в одной точке  $A$  (рис. 24, б) - точке пересечения регуляторных характеристик  $R_1'$  и  $R_1''$ . С увеличением нагрузки сети большую часть нагрузки берет первый агрегат с меньшей неравномерностью. Это может привести к его перегрузке и отключению от сети вследствие срабатывания защиты генератора по максимальной мощности. С уменьшением нагрузки сети первый агрегат, начиная с точки  $A$ , берет меньшую нагрузку, что может привести к переходу его генератора в двигательный режим работы и отключению от сети при срабатывании защиты по обратной мощности.

В средствах автоматики современных судовых электростанций может быть предусмотрена автоматическая корректировка распределения активной нагрузки между параллельно работающими агрегатами по сигналам рассогласования нагрузки, распределенной между генераторами. При этом воздействие передается через СМ задания регуляторов приводных двигателей. Однако корректировка производится довольно медленно, и резкое изменение нагрузки сети при разном наклоне регуляторных характеристик может привести к значительным рассогласованиям нагрузки.

Степень рассогласования нагрузки параллельно работающих генераторных агрегатов  $\Theta$  проверяется при отключенной автоматической коррекции и неизменной настройке регуляторов в диапазоне изменения нагрузки установки от 20 до 100% номинальной и определяется для каждого агрегата выражением, %:

$$\Theta = \left( \frac{P_k}{P_{кн}} \frac{\sum P_i}{\sum P_{iн}} \right) 100,$$

где  $P_k$  и  $P_{кн}$  - истинное и номинальные значения активных нагрузок испытуемого генератора;

$\sum P_i$  и  $\sum P_{iн}$  - суммарные истинные и номинальные значения активных нагрузок параллельно работающих генераторов (в том числе и испытуемого).

Рассогласование нагрузок, определенное по этому выражению, *не должно превышать 10%*. Причем распределение нагрузок должно быть таким без ручного регулирования частоты вращения приводных двигателей и напряжения генераторов. Для определения степени рассогласования нагрузки вначале нужно нагрузить параллельно работающие агрегаты в одинаковой степени, затем изменить нагрузку сети (включением или отключением ряда потребителей) и по данным киловаттамперметров на ГРЩ определить истинные значения нагрузок  $P_k$  и  $\sum P_i$ . Значения  $P_{кн}$  и  $P_{iн}$ , берут из паспортных данных генераторов. Полученные значения нагрузок подставляют в выражение и определяют истинное значение степени рассогласования нагрузки для каждого агрегата, а затем сравнивают его с допускарным значением.

Если в состав электростанции входят генераторы с *разной номинальной мощностью*, то их параллельную работу следует рассматривать в координатах, где нагрузка откладывается в относительных величинах  $P/P_n$  (рис. 25). Оптимальной настройкой АСР является такая, при которой регуляторные характеристики  $R_1'$  и  $R_1''$ , имея одинаковый наклон (одинаковая степень неравномерности АСР),

совмещаются.

В этом случае при различных нагрузках сети активная нагрузка генераторов будет распределяться пропорционально мощностям приводных двигателей. Указанная пропорциональность изменяется с нарушением равенства неравномерностей АСР, что соответствует расположению характеристик  $R'_1$  и  $R''_2$  или  $R'_1$  и  $R''_3$ . Самым неблагоприятным является вариант, при котором агрегат меньшей мощности обладает меньшей статической неравномерностью. Тогда с ростом нагрузки сети он будет брать большую ее часть и может быть перегружен, несмотря на наличие общего запаса мощности, параллельно работающих агрегатов. В этом случае степень рассогласования нагрузки агрегата меньшей мощности, определяемая по приведенной выше формуле, будет принимать положительные значения. В условиях эксплуатации желательно таким образом настраивать АСР, чтобы для агрегатов меньшей мощности степень рассогласования нагрузки принимала нулевое либо отрицательные значения. Второе условие соблюдается, если степень неравномерности АСР большего по мощности агрегата ниже, чем меньшего.

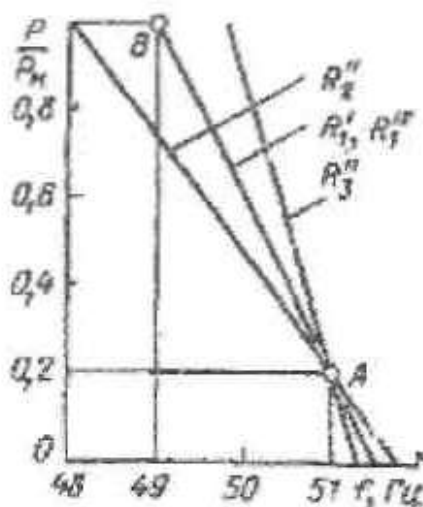


Рис. 25. Статические характеристики АСР генераторных агрегатов различной мощности, работающих параллельно

Для более полного использования мощности утилизационной установки при параллельной работе генераторов устанавливают меньшую степень неравномерности АСР турбогенератора, чем дизель-генератора. Тогда большая доля нагрузки будет восприниматься турбогенератором.

В случае снижения паропроизводительности котла нагрузки перераспределяют, воздействуя на синхронизатор турбогенератора вручную с ГРЩ либо автоматически по сигналу от специального корректора нагрузки, получающего импульс по давлению пара перед турбиной.

Рассмотрим наиболее удобный способ снятия регуляторных характеристик в судовых условиях. Подготовленный к принятию нагрузки испытуемый генераторный агрегат вводят на параллельную работу, устанавливая его нагрузку 10-20% от номинальной, а частоту тока в сети 51 Гц (см. рис. 25). Затем, не трогая

органы настройки и синхронизации испытуемого агрегата, постепенно нагружают его, действуя на орган синхронизации второго агрегата в сторону «Меньше». При каждом изменении нагрузки на 20% измеряют значения активной мощности (по киловатт-амперметру ГРЦ) и соответствующие им значения частоты тока (по частотомеру). Нагрузку повышают до номинального или близкого к ней значения мощности испытуемого генератора. Опыт повторяют при снижении нагрузки и по полученным данным строят в выбранном масштабе регуляторную характеристику. Полученную линию продлевают до ее пересечения с ординатой номинального значения нагрузки и осью абсцисс (частоты тока в сети). Разность частот при нулевой и номинальной нагрузках даст значение статической неравномерности по частоте тока ( $f_{\max} - f_{\min}$ ). Разделив полученное значение на номинальное значение частоты тока  $f_n$  получим степень неравномерности АСР  $\delta$ . Например, для характеристик  $R'_1$  и  $R''_1$  частота тока при нулевой нагрузке составляет 51,5 Гц, а при номинальной нагрузке - 49 Гц. Тогда значением  $\delta$ , %, равно:

$$\delta = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_n} 100 = \frac{51,5 - 49}{50} 100 = 5,$$

что является допустимым по требованиям Морского Регистра судоходства.

Аналогично на том же графике строят регуляторные характеристики других агрегатов и сравнивают их. Для подгонки статических неравномерностей АСР изменяют неравномерности регуляторов, воздействуя на соответствующие органы (изменяют действие ЖОС, приведенную жесткость пружин измерителей и т.п.).

Действительные регуляторные характеристики АСР могут быть *нелинейными* (иметь кривизну) вследствие свойств регуляторов и ИО, что также приводит к рассогласованию нагрузок в различных диапазонах рабочих режимов АСР. *Рассогласование нагрузок возрастает с ростом нечувствительности АСР* из-за роста зазоров и сил сухого трения в ее звеньях. По мере изнашивания двигателя и звеньев АСР также изменяются положение и форма регуляторных характеристик при одних и тех же уставках настроечных органов регуляторов. Поэтому следует периодически проверять, а при необходимости подстраивать АСР.

На установившихся режимах при параллельной работе генераторных агрегатов и постоянной общей нагрузке сети могут возникать обменные колебания мощности агрегатов. Максимальная амплитуда обменных колебаний мощности при параллельной работе генераторных агрегатов переменного тока не должна превышать 12,5% номинальной мощности каждого агрегата (ГОСТ 10511-72).

Причины обменных колебаний мощности могут быть как в самих ОР, так и в регуляторах. Прежде всего следует проанализировать работу ОР и их топливо- или парорегулирующей аппаратуры.

Если при последовательном отключении регуляторов частоты вращения от приводных двигателей (взятии ИО на неподвижный упор) обменные колебания мощности сохраняются, то причину следует искать в самом ОР. Наиболее вероятной причиной таких колебаний во всех установках может быть обрыв

уравнительных токовых цепей генераторов, а в дизель-генераторных установках и неравномерное распределение мощности по цилиндрам двигателя. Во втором случае следует проверить работу топливной аппаратуры и регулировку системы газораспределения дизеля, так как это наиболее часто встречающиеся источники обменных колебаний мощности при параллельной работе дизель-генераторов.

Если при стабилизации ИО колебания исчезают, то причину следует искать в линии связи ИО с регулятором, в самом регуляторе или его приводе. Приемы проверки и настройки регуляторов и АСР в целом описаны выше в соответствующих разделах. Прежде всего, производят раздельную статическую и динамическую настройку АСР генераторных установок по методике, изложенной в этом разделе. Затем проверяют динамическую устойчивость агрегатов при параллельной работе. При необходимости корректируют динамическую устойчивость комплекса, не меняя статизм агрегатов. Если для увеличения устойчивости в комплексе нужно увеличить статизм одного из агрегатов, то после этого следует увеличить в допускаемых пределах статизм других агрегатов в той же степени.

Турбогенераторы и дизель-генераторы с синхронными генераторами переменного тока, работающие под нагрузкой, как ОР существенно различаются своими свойствами, даже при одинаковой номинальной мощности. Они обладают различными инерционными свойствами и саморегулированием. Так как турбогенераторы имеют сравнительно большую инерционность и всегда положительное саморегулирование, то для обеспечения требуемого качества переходного процесса в их регуляторах частоты вращения непрямого действия достаточно применение только ЖОС. В целях повышения устойчивости АСР дизель-генераторов в их регуляторы непрямого действия наряду с ЖОС необходимо вводить ИОС. Особенно это характерно для дизель-генераторов с отрицательным саморегулированием и при наличии наддува приводного двигателя. Вследствие меньшей инерционности дизель-генераторов их регуляторы должны обладать большим быстродействием в сравнении с регуляторами турбогенераторов. Из изложенного следует, что настройка АСР дизель-генераторов сложнее, чем АСР турбогенераторов.

Управление генераторными установками судовых электростанций производится вручную либо автоматически. В зависимости от степени автоматизации установки количество операций по управлению электростанцией может быть различным.

### ***9. Однорежимное регулирование частоты вращения вала двигателя***

На ДГ малой мощности отечественной постройки широко применяются *однорежимные регуляторы частоты вращения прямого действия типа Р-11М*. Регулятор выполнен в виде отдельного узла, закрепленного на блочном ТНВД.

От распределительного вала ТНВД через шестерню 13 (рис. 26) вращение передается грузам 14. Центробежная сила, действующая на грузы, через шток 15 передается на рычаг 6 и уравновешивается силами действия пружин 1, 5 и 7. Основной является работающая на сжатие пружина 1, изменением

предварительного затяга которой производится настройка регулятора на заданную частоту вращения.

Пружина 5 является дополнительной, а сила ее действия на рычаг 6 зависит от положений рычага и нижней опоры 4. Дополнительная пружина 7 одним концом крепится к поршню катаракта 8, обеспечивая с ним упругую связь, и работает только в переходных процессах. При работе регулятора распорной пружиной 12 обеспечивается постоянный контакт между выходным рычагом измерителя 6 и тягой ТНВД 10 (зазор  $a_1 = 0$ ), что соответствует всережимной схеме включения регулятора.

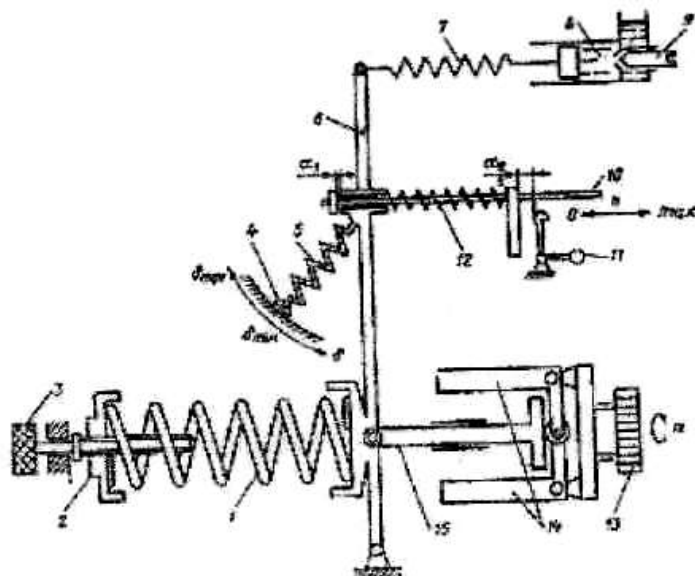


Рис. 26. Принципиальная схема регулятора Р-11М

На установившемся режиме работы двигателя частота вращения вала неизменна, указанные силы уравниваются на рычаге 6, удерживая его и тягу ТНВД в неподвижном состоянии, что соответствует определенной подаче топлива и мощности, развиваемой двигателем.

Например, при сбросе нагрузки возрастают частота вращения вала двигателя и центробежная сила, действующая на грузы 14 измерителя. Под действием разности центробежной силы и сил действия пружин 1, 5 и 7 разворачивается рычаг 6, перемещая тягу ТНВД в сторону уменьшения подачи топлива. Мощность двигателя снижается и сравнивается с мощностью потребителя. Вначале перемещение тяги ТНВД происходит быстро, пропорционально изменению указанных сил, а затем постепенно замедляется по мере приближения частоты вращения к начальному значению и прекращения действия дополнительной пружины 7 вследствие движения поршня катаракта. При меньшей мощности двигателя и соответствующем положении тяги ТНВД на установившемся режиме рычаг 6 займет новое положение. Однако в результате роста затяга пружин 1 и 5 рычаг 6 может удерживаться в новом положении только при большем значении центробежной силы, а следовательно, и частоты вращения. Таким образом, рассмотренный регулятор является статическим, поддерживая заданную частоту вращения со статической неравномерностью.

Степень неравномерности АСР с этим регулятором можно устанавливать в пределах от 2 до 6% изменением приведенной жесткости пружин за счет степени действия дополнительной пружины 5. С уменьшением действия пружины 5 (смещение опоры 4 ближе к оси рычага б) неравномерность уменьшается. Снижение статической неравномерности АСР приводит к уменьшению ее динамической устойчивости.

Для *повышения динамической устойчивости* АСР следует прикрывать иглу 9 катаракта (увеличивать время катаракта  $T_k$ ). Полное закрытие иглы катаракта или заклинивание его поршня в цилиндре приведет к значительному росту статической неравномерности АСР вследствие непрерывной работы пружины 7 при различных значениях нагрузки. Раскачивание АСР в динамике может возникнуть вследствие «заедания» тяги ТНВД. Признаком «заедания» тяги является ее движение рывками, а также непрерывное появление и исчезновение зазора  $c_1$  между опорной гайкой тяги 10 и рычагом б.

Для *настройки регулятора на заданную частоту вращения* изменяют предварительный затяг пружины 1 вращением маховика 3, по резьбовому штоку которого перемещается опорная гайка 2.

Для *остановки двигателя* необходимо развернуть в вертикальное положение рычаг 11, который, выбрав зазор  $\alpha_2$ , через упор воздействует непосредственно на тягу ТНВД. Наличие опорной пружины 12 позволяет отводить тягу в нулевое положение, не оказывая влияния на элементы регулятора.

Аналогичный принцип действия, структуру, свойства и схему включения в работу имеют *регуляторы РП-100 двигателей 6С25/34*. Устанавливаются обычно на ДГ судовых электростанций. Для дистанционного изменения затяга основной пружины (синхронизации) регуляторов РП-100 устанавливаются реверсивные электрические СМ с редукторами, управляемые с ГРЦ.

По *всережимной схеме* включен в работу ОРН «Вудвард» UG-8 шкального типа, и устанавливаемый на ДГ судовых электростанций. Рассмотрим схему включения регулятора частоты вращения и предельного выключателя на примере ДГ «Вяртсиля - Зульцер».

На работающем двигателе выходной вал регулятора 16 через гибкое пружинное звено непрерывно воздействует на валик 3 ТНВД 24. При этом талрепный шток б пружинной 7 прижат к доньшку стакана 8 (зазор  $\alpha_3 = 0$ ) и длина гибкого звена минимальная.

*Остановку двигателя* можно произвести разворотом кулака 1, установив рукоятку местного поста управления двигателя в положение «Стоп», или через регулятор 16 установкой ручки ограничения топливоподачи 75 в нулевое положение. В первом случае выбирается зазор а, между кулаком 1 и рычагом 2, разворачивается валик 3, а тяги ТНВД становятся на нулевую подачу. При этом регулятор не мешает выключению топливоподачи, так как с разворотом валика 3 происходит удлинение гибкого звена за счет движения штока б внутри стакана 8, сжатия распорной пружины 7 и образования зазора  $\alpha_3$  между доньшком стакана и штоком.

## Задание на контрольную работу

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН  
КАСПИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И  
ИНЖИНИРИНГА ИМЕНИ Ш. ЕСЕНОВА

Студенту \_\_\_\_\_ курса \_\_\_\_\_ Вариант \_\_\_\_\_

(Ф.И.О.) \_\_\_\_\_

### Задание на контрольную работу по дисциплине «Автоматизация судовых энергетических установок»

1. Название объекта автоматизации СЭУ
2. Разработать (дать описание) структурную схему измерителя давления
3. Разработать конструктивную схему (чертеж) мембранного измерителя давления с разными мембранами

Дата выдачи задания « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Задание выдал \_\_\_\_\_

### Варианты вопросов

Варианты вопросов выбираются по начальной букве фамилии студента и по последней цифре шифра студента. Всего три группы вопросов:

- 1 - с первого по седьмой вопрос;
- 2 - с восьмого по пятнадцатый;
- 3 - с шестнадцатого по двадцать первый.

В первую группу входят начальные буквы фамилий - А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, во вторую - буквы З, И, К, Л, М, Н, О, П, в третью - Р, С, Т, У, Ф, Х, Ц, Ч, Ш, Щ, Э, Ю, Я.

Примечание. Если последняя цифра шифра студента не совпадает с номером варианта группы, то выбирается последний вариант в данной группе.

Например: Белов (последняя цифра шифра 7) - вариант 7; Иванов (последняя цифра шифра 9) - вариант 17; Титов (последняя цифра шифра 0) - вариант 20.

1. Разработать структурную схему измерителя давления и схемы мембранного измерителя давления с разными мембранами.
2. Разработать структурную схему измерителя давления и схему сильфонного и трубчатого измерителя давления.
3. Разработать структурную схему измерителя перепада давления и схемы мембранного и сильфонного измерителей перепада давлений.

4. Разработать схемы неплавкового и мембранного измерителя уровня жидкостей.
5. Разработать схемы термогидравлического и термостатического измерителя уровня жидкостей.
6. Разработать схему мембранного логометрического и емкостного измерителей уровня жидкостей.
7. Разработать схемы емкостного измерителя и пневмеркаторной системы измерения уровня жидкостей.
8. Разработать схемы манометрического, объемного и дилатометрического измерителей температуры среды.
9. Разработать схемы биметаллического, с термосопротивлением и термоэлектрического измерителей температуры среды.
10. Разработать схему центробежного измерителя частоты вращения, привести характер статической характеристики.
11. Разработать схемы гидравлических и электрических измерителей частоты вращения.
12. Разработать схемы дроссельных и скоростного со спиральной вертушкой измерителей расхода.
13. Разработать схемы скоростного с крыльчатой вертушкой и объемных измерителей расхода.
14. Разработать схему автоматизации санитарной системы водоснабжения и схему терморегулятора.
15. Разработать схему автоматизации грузовой системы танкера и дать краткое описание автоматизации осушительной, балластной и топливной систем.
16. Разработать схему автоматизации пожарной системы и температурных извещателей.
17. Разработать схему работы детектора масляного тумана и схему автоматизации водяной системы пожаротушения.
18. Дать описание автоматизации генераторных агрегатов равной мощности, работающих параллельно и привести статические характеристики автоматической системы регулирования.
19. Дать описание автоматизации генераторных агрегатов различной мощности, работающих параллельно и привести статическую характеристику автоматической системы регулирования.
20. Дать описание однорежимного регулирования частоты вращения вала дизеля, привести схему регулятора Р-11М.
21. Дать краткое описание всережимного регулирования частоты вращения вала дизеля и привести схему регулятора.



## Библиографический список

1. Исаков, Л.И. Устройство и обслуживание судовой автоматики: справочник/Л.И. Исаков. -Л.: Судостроение, 1989. -296 с.
2. Конаков, Г.А. Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота : учебник для вузов водн. трансп. / Г.А. Конаков, Б.В. Васильев; - М. : Транспорт, 1980. - 423 с.
3. Офанасенко, В.С. Автоматизация судовых энергетических установок/В.С. Офанасенко. - М. : Транспорт, 1981. - 272 с.
4. Толшин, В.И. Автоматизация судовых энергетических установок: учебник/В.И. Толшин, В.Л. Сизых; 2-е изд., перераб. и доп. - М.: РКонсульт, 2003. - 304 с.

## Оглавление

1. Измерительные органы.....	4
2. Измерители давления и перепада давления.....	5
3. Измерители уровня.....	10
4. Измерители температуры.....	15
5. Измерители частоты вращения.....	20
6. Измерители расхода.....	22
7. Автоматизация систем.....	24
7.1. Автоматизация санитарных систем.....	24
7.2. Автоматизация осушительных, балластных, топливных и грузовых систем.....	27
7.3. Автоматизация систем пожаротушения.....	33
8. Автоматизация судовых электростанций.....	38
9. Однорежимное регулирование частоты вращения вала двигателя.....	44
Задание на контрольную работу.....	47
Библиографический список.....	49

Формат 60x84 1/12  
Объем 51 стр. 4,25 печатный лист  
Тираж 20 экз.,  
Отпечатано  
в редакционно-издательском отделе  
КГУТиИ им. Ш Есенова  
г.Актау, 32 мкр.