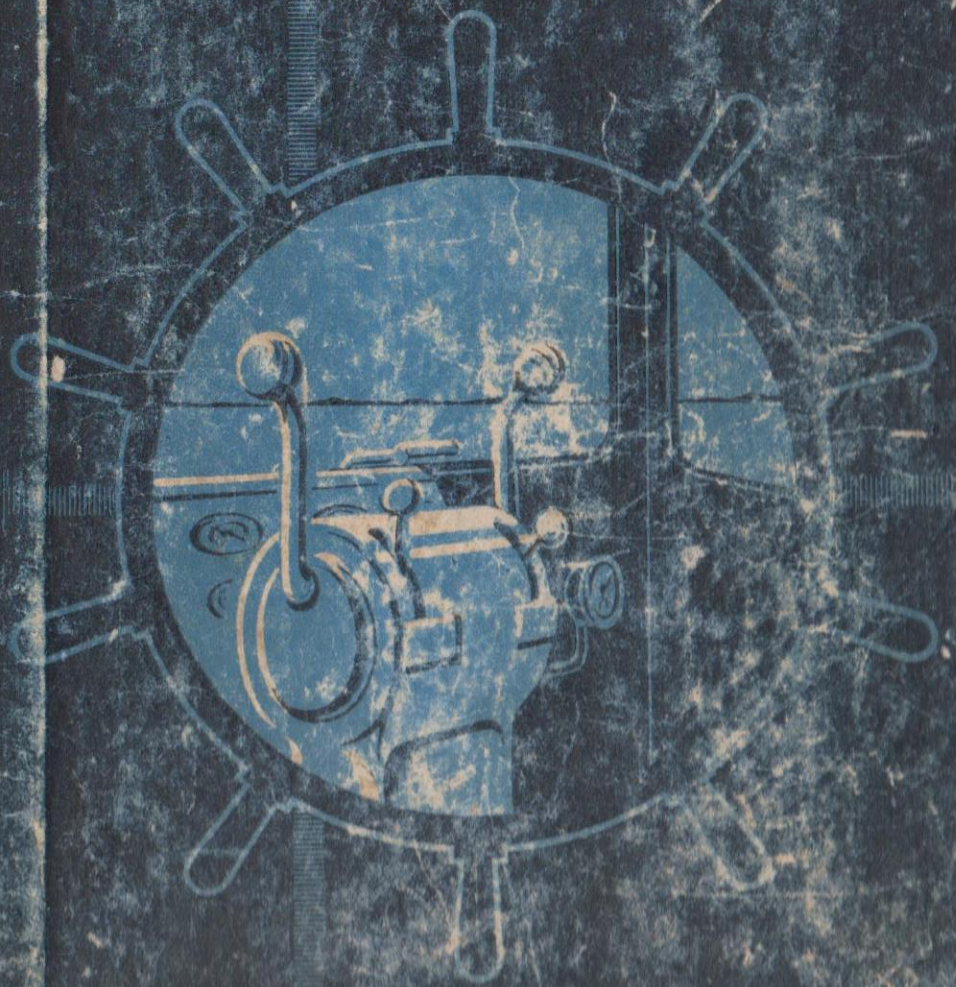
В. А. СИЗЫХ

ОСНОВЫ СУДОВОЙ АВТОМАТИКИ



Глава I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

§ 1. ПОНЯТИЕ ОБ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Величинами, характеризующими и определяющими ход технологических процессов при работе современных машин, энергетических систем, технических установок и транспортных средств, могут быть линейные и угловые перемещения, температура, давление, напряжение, мощность, уровень жидкости, производительность и т. п.

Изменение какой-либо из этих величин (мы будем в дальнейшем называть ее регулируемой величиной) в зависимости от другой — управляющей и составляет сущность процесса управления.

Желаемый ход процесса может обеспечиваться обслуживающим персоналом вручную или автоматически. Отдельные машины и агрегаты, участвующие в производственном процессе, могут быть связаны друг с другом при помощи различного оборудования и образовать взаимосвязанную автоматическую систему, т. е. систему, выполняющую поставленную перед ней цель без участия человека. В таких системах человек может подавать лишь первоначальный пусковой импульс. В ряде случаев и этот первоначальный импульс подается самим автоматическим устройством.

По назначению автоматические системы можно подразделить на системы контроля и измерения, защиты и сигнализации, регулирования и управления.

Автоматическая система контроля и измерения облегчает труд человека или полностью освобождает его от наблюдения за тем или иным производственным процессом. Необходимость автоматического контроля возникает, когда выполнение операций контроля вследствие их сложности требует от человека много времени, когда нужна высокая точность измерения или измеряемая величина изменяется с такой скоростью, что человек вследствие своих субъективных особенностей не может быстро и с достаточной точностью определить ее истинное значение. В целом ряде случаев человек не в состоянии следить за измеряемой величиной вследствие специфики протекания рабочего процесса, опасности и других причин.

Автоматическая система контроля и измерения фиксирует абсолютное значение той или иной величины в заданный промежуток времени.

Контроль работы силовых установок осуществляется с помощью специальных измерительных приборов, которые дают возможность объективно судить о правильности протекания производственных процессов и своевременно устранять возможные отклонения их от заданных значений.

В зависимости от способа контроля рабочих параметров силовой установки все приборы разделяются на два основных типа: приборы постоянного контроля (стационарные) и приборы периодического контроля, которыми пользуются только в тех случаях, когда это вызывается необходимостью. К первой группе приборов относятся термометры, манометры, вакуумметры, тягомеры, счетчики числа оборотов и тахометры, амперметры, вольтметры; ко второй группе — индикаторы, пиметры, газоанализаторы, торсиометры, тахоскопы, а также переносные электроприборы, ареометры и т. п.

Перечисленные приборы могут быть включены в систему контроля как указывающие, самопишущие или суммирующие.

В указывающих приборах измеряемая величина определяется в каждый данный момент с помощью подвижного указателя. Самопишущие приборы ведут запись результатов измерений на движущейся ленте, а суммирующие приборы производят суммирование тех или иных показаний за определенный промежуток времени.

В настоящее время на судах речного флота широкое распространение получили автоматические системы дистанционного контроля, с помощью которых судоводитель, находясь в рулевой рубке, может в любой момент определить запас воды под днищем судна, скорость вращения гребных валов, давление масла в системе смазки дизелей, давление сжатого воздуха в пусковых баллонах, температуру воды и масла на выходе из дизелей.

Активный контроль хода управляемого процесса осуществляется автоматической системой защиты. При критическом (предельном) значении той или иной измеряемой величины автоматическая система защиты без участия человека оказывает соответствующее воздействие на машины, агрегаты, установки и т. п., частично или полностью прекращая их работу.

Автоматическая сигнализация делится на три типа: предупредительную, аварийную и исполнительную.

Система предупредительной сигнализации реагирует на определенное заданное значение контролируемого параметра и подает сигнал, предупреждающий обслуживающий персонал о том, что контролируемый параметр достиг заданных пределов. Система аварийной сигнализации извещает обслуживающий персонал о том, что контролируемый параметр достиг аварийных значений, при ко-

торых необходима остановка механизма. Если система подает сигнал о выполнении механизмом заданной рабочей операции, она называется системой исполнительной сигнализации.

Система автоматического регулирования обеспечивает в течение заданного промежутка времени с определенной точностью необходимый режим работы машины, агрегата, установки; система автоматического управления — включение, остановку, реверс различных двигателей и приводов по заранее заданным условиям.

Автоматизация участка производства, цеха, завода и т. д. может быть частичной, если автоматизированы лишь отдельные операции, отдельные машины и агрегаты, участвующие в производственном процессе. При частичной автоматизации производственного процесса автоматизация может касаться одних операций, одних машин, одних участков производства, а механизация — других, причем координация всех операций остается за человеком.

Наибольший экономический эффект дает комплексная автоматизация производственных процессов, машин и агрегатов, при которой сложные системы выполняют функции автоматического управления отдельными объектами, автоматического регулирования, контроля, сигнализации, защиты и блокировки и координируют работу различных агрегатов и узлов при рациональном уровне централизации управления с технически обоснованным распределением функций между местными и централизованными пультами управления.

Машина, агрегат, участок производства, цех, завод называются комплексно автоматизированными, если они выполняют свои функции без участия человека с наивысшими возможными в данных условиях (или близкими к ним) технико-экономическими показателями.

Такие системы в дальнейшем мы будем называть системами автоматического регулирования и управления (САРУ), имея в виду при этом, что они выполняют также функции контроля, сигнализации и защиты.

Современные силовые установки речных судов, насыщенные механизмами, отличаются сравнительно высокой энерговооруженностью и развитой сетью трубопроводов и электрических сетей. Поэтому объем автоматизации каждого судна должен определяться анализом трудовых затрат команды на выполнение отдельных работ при обслуживании механизмов и сопоставлением экономической эффективности различных вариантов автоматизации силовых установок.

§ 2. ЭЛЕМЕНТНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В настоящее время в промышленности и на транспорте применяется много разнообразных САРУ, в которых сочетаются различные по конструкции механические, электрические, пневматические,

гидравлические, радиотехнические и другие устройства. Автоматические системы могут отличаться друг от друга принципиальной схемой, характером работы, назначением, регулируемыми величинами и т. д., однако способы построения разных систем, предназначенных для управления различными по своей природе физическими процессами, по сути дела одинаковы. В этом легко убедиться при рассмотрении простейших систем автоматики, применяемых на речном транспорте.

Предварительно проследим, как осуществляется процесс регулирования уровня жидкости в резервуаре вручную. Вода подается в резервуар *3* (рис. 1, *а*) с помощью парового насоса *2*, производительность которого зависит от величины открытия клапана *1* на пароподводящей магистрали. Уровень жидкости в резервуаре, определяемый уровнемером *4*, в процессе работы такой установки может изменяться в зависимости от притока и расхода воды.

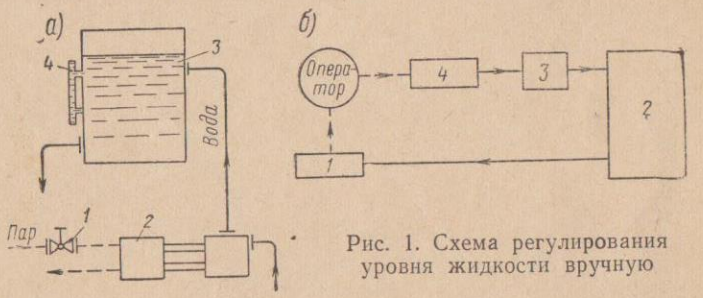


Рис. 1. Схема регулирования уровня жидкости вручную

Поддерживать заданный уровень воды в резервуаре можно вручную, без автоматических устройств. Для этого оператор должен:

1) наблюдать по уровнемеру *1* (рис. 1, *б*) за уровнем воды, который в каждый момент будет зависеть от ее объема в резервуаре *2*;

2) сравнивать текущие показания уровнемера *1* с заданной величиной уровня в резервуаре *2*;

3) при разности между заданной величиной уровня и его текущим значением изменять положение клапана *4*, чтобы количество поступающего к насосу *3* пара изменило в нужном направлении производительность насоса.

Для автоматического поддержания заданного уровня воды в резервуаре необходимо включить в описанную схему такое устройство, которое бы само, без вмешательства человека, изменяло положение клапана на пароподводящей магистрали в зависимости от количества воды в резервуаре.

Схема такого регулирования изображена на рис. 2, *а*. Вместо ручного клапана в схему включен автоматически действующий мембранный клапан *5*, верхняя полость которого трубкой *2* соеди-

нена с водяным резервуаром *1*. Вместо мембранного клапана (при паровом насосе) в схему может быть включен и конечный выключатель (при электрическом насосе).

При повышении уровня воды в резервуаре давление столба жидкости в соединительной трубке *2* возрастает, мембрана прогибается вниз, клапан прикрывается, количество пара, поступающего к насосу *6*, уменьшается, а следовательно, уменьшается и его производительность.

В случае достижения заданного уровня воды в резервуаре клапан полностью перекрывает пароподводящую магистраль и насос выключается. При понижении уровня воды в резервуаре мембранный клапан действует в обратном порядке.

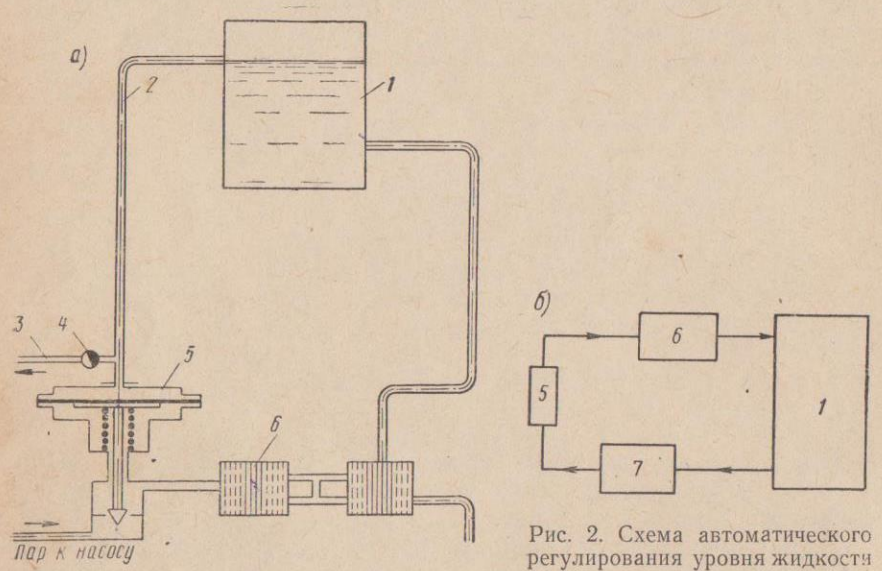


Рис. 2. Схема автоматического регулирования уровня жидкости

Над мембранным клапаном к трубке *2* подключен сливной трубопровод *3* с дросселем *4*. Если, например, дроссель открыть на бо́льшую величину, то в результате сравнительно большего сброса воды давление на мембрану будет нарастать медленнее, клапан будет позднее отключать насос. Таким образом, с помощью дросселя *4* можно в определенных пределах устанавливать заданное значение уровня воды в резервуаре.

Воздействие одного элемента на другой в системе при автоматическом регулировании уровня показано на рис. 2, *б*.

В рассмотренном примере усилия, создаваемые мембраной *7* как измерителем уровня, были достаточны для перемещения клапана *5*. Однако в ряде случаев сигналы, поступающие от измерительного элемента, бывают незначительными и не могут обеспечить нормальной работы автоматической системы. Тогда в автоматические систе-

мы вводят специальные устройства, называемые усилителями. Благодаря подводу к ним внешнего источника энергии они усиливают сигнал, поступающий от измерительного элемента к последующим элементам системы.

Принцип работы автоматических систем с усилителем рассмотрим на примере регулирования числа оборотов дизеля (рис. 3). Здесь в качестве усилителя используются гидравлический цилиндр *5* с поршнем *6* и золотник *4*, представляющий собой два поршня, соединенные общим штоком. При незначительном перемещении такого золотника вверх или вниз через каналы в корпусе золотника в верхнюю или нижнюю полости гидравлического цилиндра поступает масло, под давлением которого и перемещается поршень *6*, причем усилия, развиваемые поршнем, будут значительно превосходить силы, действующие на золотник.

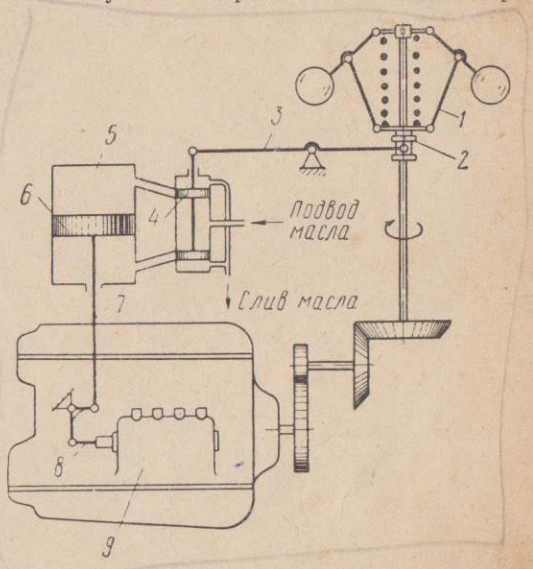


Рис. 3. Схема автоматического регулирования скорости вращения вала дизеля

Система автоматического регулирования числа оборотов дизеля действует следующим образом. При изменении числа оборотов дизеля, например их увеличении по сравнению с заданным значением, грузы центробежного измерительного элемента *1* расходятся; при этом муфта *2*, сдвигая золотник *4* вниз через рычаг *3*, откроет канал, по которому масло будет поступать в пространство под поршень *6*. Последний под давлением масла переместится вверх и через рычаг *7* сдвинет рейку *8* топливного насоса *9* вправо. Подача топлива в цилиндры дизеля при этом уменьшится и число оборотов его снизится до заданного. Если же по тем или иным причинам число оборотов дизеля уменьшится ниже заданного, система регулирования будет действовать в направлении увеличения подачи топлива в цилиндры дизеля.

Таким образом, система регулирования все время стремится поддерживать постоянным (в определенных пределах) заданное число оборотов дизеля.

Анализируя рассмотренные автоматические системы, мы видим, что, помимо объекта (резервуар, дизель), в котором протекает управляемый процесс, — назовем его объектом автоматизации, — в их состав входит ряд одинаковых по своему назначе-

нию устройств. К ним относятся: измерительные элементы (центробежный измеритель скорости, мембрана), контролирующие и измеряющие отклонение регулируемой величины от требуемого значения; исполнительные элементы (рейка топливного насоса, клапан), через регулирующие органы (топливный насос, питательный насос) оказывающие непосредственное воздействие на объект автоматизации; усилительно-преобразовательные элементы (рычаги, шток, золотник, шестеренки), усиливающие и преобразующие один вид энергии в другой.

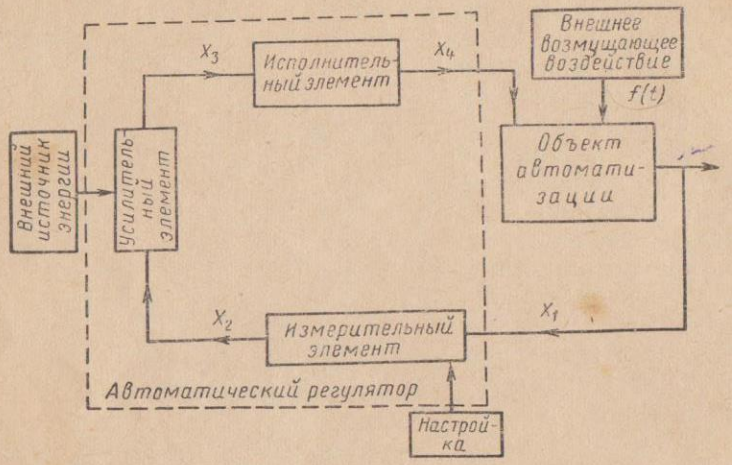


Рис. 4. Элементная схема автоматической системы

Систему, состоящую из измерительного, усилительного и исполнительного элементов, называют автоматическим регулятором или просто регулятором. Регулятор и объект регулирования вместе образуют систему автоматического регулирования.

Таким образом, в общем виде любую автоматическую систему можно схематично изобразить, как на рис. 4. Такое изображение автоматической системы называется ее элементной схемой. На рисунке не показаны преобразовательные элементы, так как практически преобразующими свойствами, как правило, обладают все элементы автоматической системы.

В процессе работы системы измерительный элемент воспринимает сигнал, полученный от объекта автоматизации. В наших примерах это были давление столба воды на мембрану и число оборотов коленчатого вала дизеля.

Условно обозначим сигнал, полученный системой от объекта автоматизации, X_1. Сигнал X_1 преобразуется измерительным элементом в сигнал X_2 и при необходимости изменяется в усилителе до значения X_3. Последний сигнал улавливается исполнительным

элементом и преобразуется в сигнал X_4 (в наших примерах — перемещение рейки топливного насоса или клапана).

В теории автоматизации производственных процессов принято обозначать управляющую величину (величину воздействия, приложенного к «входу» системы) $X_{вх}$, а регулируемую величину (число оборотов, уровень жидкости в наших примерах) $X_{вых}$.

Понятия «вход» и «выход» относятся не только к системе в целом, но и к отдельным ее элементам, причем величина, зависящая от другой, называется выходной, а величина, от которой зависит выходная величина, — входной. Например, X_2 — выходная величина для измерительного элемента и входная для усилительного.

В рассматриваемых схемах автоматического регулирования цепь сигналов без участия человека передается по замкнутому контуру, причем не только «вход» системы (перемещение рейки топливного насоса или клапана) изменяет значение ее «выхода» (число оборотов вала, уровень жидкости в резервуаре), но и наоборот, всякое изменение «выхода» системы вызывает соответствующее изменение ее «входа».

Такая зависимость «выхода» и «входа» системы носит название главной обратной связи. Необходимое условие автоматизации процесса — наличие отрицательной обратной связи. Это значит, что сигнал, поступающий с «выхода» на «вход» системы, должен быть с обратным знаком по отношению к заданному значению регулируемой величины, т. е. действие обратной связи должно быть направлено на уничтожение отклонения регулируемой величины. Например, при увеличении угловой скорости ω вращения вала дизеля обратная связь должна уменьшить ω, а при уменьшении — увеличить. В случае положительной обратной связи, очевидно, вместо регулирования ω будет иметь место обратный процесс — возрастание отклонения, т. е. угловая скорость будет постоянно увеличиваться или уменьшаться.

Системы, у которых обратная связь $X_{вых}$ с $X_{вх}$ осуществляется человеком, называются разомкнутыми.

Разомкнутые автоматические системы в большинстве случаев применяются как средства контроля, измерения, сигнализации, защиты и управления различными объектами.

Системы автоматического регулирования конструируют с замкнутым контуром воздействий.

Говоря о цепи воздействий в замкнутой автоматической системе (под воздействием подразумеваются входные величины элемента или системы в целом), следует указать также и на так называемые внешние возмущающие воздействия. Их не всегда можно точно определить, так как они зависят от времени, нагрузки, колебаний температуры, питающего напряжения и т. п. Внешние возмущающие воздействия на автоматическую систему, как правило, представляют собой случайные функции времени, закон изме-

нения которых заранее неизвестен; поэтому на элементных схемах они обозначаются стрелками с надписью $f(t)$.

При разомкнутой цепи воздействий управляющая система реагирует на входные и возмущающие воздействия без получения информации о значениях регулируемых параметров и, следовательно, без сопоставления результатов своей работы с заданием и без возможности ее корректировки.

При замкнутой цепи воздействий управляющая система получает информацию о значениях регулируемых параметров, сопоставляет эти значения с требуемыми и корректирует на этой основе свою работу.

Для возможности изменения регулируемого параметра системы автоматики снабжаются специальными устройствами. Преднамеренное изменение человеком заданной величины регулируемого параметра называется настройкой системы. В наших примерах в качестве устройств, с помощью которых осуществляется настройка, могут быть использованы регулировочные пружины и дроссель.

Отрасль науки и техники, охватывающая теорию, принципы построения и технические средства осуществления систем контроля, измерения, сигнализации, регулирования и управления производственными процессами, называется автоматикой.

Глава II. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

§ 3. ПОНЯТИЕ О ПРИНЦИПАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Автоматические системы, применяемые в современной технике, настолько разнообразны и многочисленны, что практически можно автоматизировать любой производственный процесс.

В последние годы для целей автоматизации начали широко использовать электронно-вычислительные машины, что еще более увеличивает разнообразие автоматических систем.

В настоящее время нет законченной и подробной классификации автоматических систем. Ниже приводится их классификация только по основным признакам.

В зависимости от принципа регулирования различают следующие автоматические системы:

1) с воздействием по регулируемому параметру;
2) с воздействием по возмущению;
3) комбинированные.

В автоматических системах первого типа регулируемая величина после измерения сравнивается с заданным значением, и при расхождении на регулируемый объект оказывается определенное воздействие для достижения заданного значения регулируемого параметра. Такой принцип регулирования по отклонению регулируемой величины от заданного значения получил в теории автоматического регулирования название принципа регулирования Ползунова—Уатта (по такому принципу работал первый в мире автоматический регулятор уровня воды в паровом котле, изобретенный И. И. Ползуновым). Выше нами были рассмотрены автоматические системы, работающие по такому принципу.

В системах автоматического регулирования с воздействием по возмущению при появлении нежелательных внешних факторов, вызывающих отклонение регулируемой величины от заданного значения, измеряется не отклонение регулируемой величины, а отклонение внешнего возмущающего воздействия от заданного значения. На автоматическую систему, как правило, влияет несколько внешних возмущающих воздействий, поэтому при регулировании по возмущающему воздействию следует прежде всего определить, какое из этих воздействий определяющее (основное), а затем установить, как должна реагировать система на изменение основного возмущающего воздействия, чтобы поддерживать регулируемую величину в заданных пределах.

В конструктивном отношении автоматические системы, реагирующие на все возмущающие воздействия, довольно сложны, поэтому применение регуляторов с воздействием по возмущению не всегда целесообразно.

Компенсировать все возмущающие воздействия можно, применяя регуляторы, работающие по принципу Ползунова — Уатта. Однако автоматические регуляторы, работающие по принципу Ползунова — Уатта, не всегда обеспечивают высокую точность регулирования и быстродействие системы.

В настоящее время значительное распространение в технике получили комбинированные системы, сочетающие оба принципа регулирования. В таких системах регулятор с воздействием по возмущению, обладая высоким быстродействием, компенсирует основное возмущающее воздействие, а регулятор с воздействием по регулируемому параметру, компенсируя неосновные возмущающие воздействия, решает задачу более точного регулирования.

На рис. 5 схематично показана конструкция одной из комбинированных систем для регулирования температуры рабочей жидкости, подаваемой в систему отопления судна.

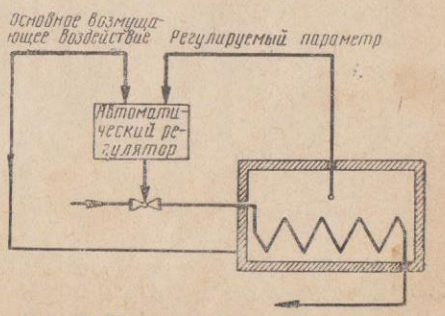


Рис. 5. Принципиальная схема комбинированной автоматической системы

Температура воздуха в помещениях судна, как известно, может поддерживаться постоянной. Однако количество рабочей жидкости в системе отопления не всегда должно быть постоянным; оно зависит от температуры на-

ружного воздуха и ряда других условий. С изменением внешнего возмущающего воздействия (температуры наружного воздуха, времени суток и т. д.) и регулирующего воздействия (температуры воздуха в помещении) изменяется и положение регулирующего органа (клапана), который соответственно увеличивает или уменьшает приток рабочей жидкости в систему отопления.

§ 4. СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И ПРОГРАММНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ. СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ. САМОНАСТРАИВАЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ

По характеру управляющего воздействия различают системы:
1) стабилизации;
2) программного регулирования;
3) следящие.

К системам стабилизации относятся такие автоматические системы, которые при постоянном значении управляющего воздействия (настройки) длительное время с определенной степенью точности поддерживают заданное значение регулируемой величины (например, система автоматического регулирования скорости вращения вала двигателя).

Системы стабилизации получают широкое применение на судах речного флота, где они используются для регулирования скорости вращения, уровня, температуры, давления, производительности и других величин (см. рис. 2 и 3).

Постоянное значение регулируемой величины в системах автоматической стабилизации обеспечивается неизменностью управляющего воздействия (настройки).

Для осуществления программного регулирования обычно используют переменную настройку, которая и приводит к изменению регулируемой величины по заранее заданному закону. Конструктивно устройство для настройки в программных регуляторах обычно выполняется в виде профилированного кулачка, приводимого в движение часовым механизмом или двигателем, который изменяет управляющее воздействие в зависимости от времени или каких-либо других факторов по заранее заданному закону.

Следящие системы предназначены для автоматического воспроизведения с заданной точностью какой-либо величины, состояния или положения, изменяющихся по произвольному, заранее не известному закону. Как видно из их названия, такие системы обладают способностью следить за каким-либо процессом. Во время работы таких систем заданное значение регулируемого параметра изменяется по произвольному закону, текущая регулируемая величина (величина регулируемого параметра в данный момент) сравнивается с заданием и система непрерывно воспроизводит это задание в пределах установленной точности.

198

Принцип работы следящей системы можно уяснить на примере работы электрического привода рулевого устройства одного из дизель-электроходов. Принципиальная схема такого привода показана на рис. 6.

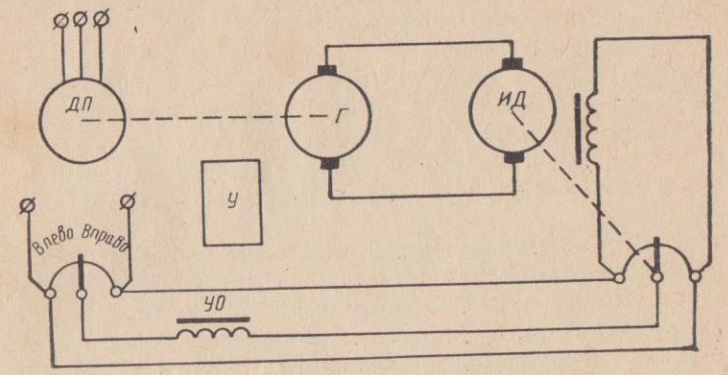


Рис. 6. Следящая автоматическая система

13566

Электрический привод работает по системе генератор—двигатель. В схему включены приводной электродвигатель *ДП*, усилитель *У*, генератор *Г*, вал которого через муфту соединен с валом приводного двигателя, и исполнительный двигатель *ИД*, вал которого через механическую передачу соединен с баллером руля.

Управляющая обмотка *УО* усилителя подключена к ползункам управляющего и следящего устройств.

Ползунок управляющего устройства механически связан со штурвалом, а ползунок следящего устройства — с баллером руля. Ползунок следящего устройства выполняет роль отрицательной обратной связи исполнительного двигателя с контактным устройством поста управления. При установившемся режиме ползунки управляющего и следящего устройств будут находиться в нейтральном положении и на зажимах управляющей обмотки усилителя напряжения не будет.

Поворотом штурвала передвигается ползунок управляющего устройства, и через управляющую обмотку *УО* будет проходить ток, поступающий от независимого источника. Ток, проходящий через управляющую обмотку, возбуждает усилитель, а вместе с ним и генератор *Г*. В якорь исполнительного двигателя *ИД* поступает ток, вал двигателя начинает вращаться; при этом скорость его вращения пропорциональна напряжению в якоре. Через механическую передачу исполнительный двигатель поворачивает в соответствующую сторону перо руля. Одновременно с поворотом пера руля будет передвигаться и ползунок следящего устройства, что приведет к изменению величины тока в управляющей обмотке усилителя, а следовательно, и изменению числа оборотов исполнительного двига-

368
Київський філіал Одеської державної морської академії
0203

теля. Практически перекладка руля будет производиться до тех пор, пока на зажимах управляющей обмотки будет напряжение. Как только ползунок следящего устройства займет такое же положение, которое было задано ползунку управляющего устройства, потенциалы щеток уравняются и ток в управляющей обмотке усилителя уменьшится до нуля. Возбуждение генератора прекратится и двигатель-исполнитель остановится.

Для изменения направления вращения двигателя-исполнителя достаточно повернуть рукоятку поста управления в обратную сторону. В результате изменятся направление тока в управляющей обмотке усилителя, направление тока возбуждения в обмотке генератора и, как следствие этого, направление тока в обмотке якоря двигателя-исполнителя. Руль будет перекладываться в обратном направлении.

В настоящее время во многих областях техники применяется большое количество самых разнообразных систем автоматического управления. По мере расширения задач автоматического управления и увеличения степени автоматизации различных процессов все чаще в состав таких систем включаются электронно-вычислительные машины. Автоматические системы с такими машинами уже не просто воспроизводят какое-то заданное извне воздействие, а по простейшим первичным данным сами предварительно вычисляют ту величину, которую они должны затем поддерживать. Такие системы называются *самонастраивающимися*.

Самонастраивающиеся автоматические системы находят оптимальное значение регулируемой величины и изменяют режим работы системы или перестраивают ее параметры (а иногда и структуру) для обеспечения найденного оптимального значения регулируемой величины.

Таким образом, при использовании самонастраивающихся систем направление изменения управляющего воздействия для получения оптимального значения регулируемой величины неизвестно. Оно определяется в процессе автоматического поиска. Система путем попыток и проб находит требуемое значение регулируемой величины.

Анализ регулируемой величины производится в цепи обратной связи, которая для этой цели снабжается электронно-вычислительным устройством.

В самонастраивающихся системах регулируемая величина в общем случае может поддерживаться на любом заданном уровне, однако наибольшее практическое значение имеют системы, у которых регулируемая величина поддерживается на наивысшем или наинизшем уровне. Такие самонастраивающиеся системы называются *экстремальными*, или *системами автоматической оптимизации*. Они могут решать задачи получения максимальных скоростей, производительности или минимального расхода топлива, минимума себестоимости при непрерывно изменяющихся условиях работы системы и т. п.

Пока еще нет детально разработанной теории самонастраивающихся систем, однако перспективы развития и применения их в различных областях науки и техники весьма широки.

§ 5. СИСТЕМЫ ПРЯМОГО И НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ. ОДНОКОНТУРНЫЕ И МНОГОКОНТУРНЫЕ СИСТЕМЫ

В зависимости от способов воздействия измерительных элементов на исполнительные автоматические системы разделяют на два типа:

1) системы прямого действия;
2) системы непрямого действия.

Система прямого действия показана на рис. 2. Воздействие (сигнал) измерительного элемента в таких системах непосредственно используется для перемещения регулирующего клапана. Регуляторы прямого действия, применяемые в САРУ, отличаются простотой конструкции, дешевы, просты в обслуживании, надежны в работе и, несмотря на малую точность регулирования, получили широкое применение в технике. Их всегда используют в случаях, когда сигнал, создаваемый измерительным элементом, достаточен для непосредственного воздействия на исполнительный элемент.

В автоматических системах непрямого действия измерительный элемент воздействует на исполнительный через специальные усилительные и преобразовательные устройства. В таких системах энергия, необходимая для процесса управления, создается не только вследствие отклонения регулируемой величины, но и за счет добавочного источника питания.

К системам непрямого действия относятся рассмотренные выше регулятор скорости вращения вала двигателя и электропривод рулевого устройства (см. рис. 3 и 6). Они обеспечивают более высокую точность регулирования, хотя по конструкции и несколько сложнее систем прямого действия.

Мы уже отмечали, что воздействия в цепи автоматической системы могут передаваться по замкнутому контуру и такие системы называются замкнутыми, а при передаче по разомкнутому контуру — разомкнутыми.

По количеству замкнутых цепей воздействия системы могут быть одноконтурными и многоконтурными.

Одноконтурная система имеет одну замкнутую цепь воздействия (выше рассматривались только одноконтурные системы).

В многоконтурных системах может быть несколько замкнутых цепей воздействия с одним или несколькими автоматическими регуляторами.

Различают несвязанные и связанные многоконтурные системы. Несвязанная многоконтурная система может иметь несколько регуляторов, каждый из которых регулирует только одну какую-либо величину. Такова, например, система автоматического регулирования уровня и температуры в топливной цистерне с двумя самостоя-

тельными регуляторами. В связанной многоконтурной системе каждый из регуляторов воздействует не только на свою регулируемую величину, но и на регулируемую величину другого регулятора. Это возможно только в случае, когда различные регулируемые величины зависят друг от друга и изменение одной из них вызывает изменение другой. Так, например, температура и влажность воздуха взаимно связаны друг с другом и для поддержания заданной температуры и влажности воздуха в помещениях судна необходимы два связанных между собой регулятора. То же можно сказать и о температуре воды в системе охлаждения, давлении масла в системе смазки и скорости вращения коленчатого вала дизеля.

§ 6. СИСТЕМЫ СИНХРОННОЙ СВЯЗИ

Системы синхронной связи представляют собой дистанционное устройство, предназначенное для обеспечения синхронного перемещения двух или нескольких осей, механически не связанных между собой.

Перемещения могут быть в количественном отношении одинаковыми или пропорциональными.

Синхронная связь может выполняться как синхронная передача углового или линейного перемещения или как система, обеспечивающая синхронное вращение или вообще синхронное движение.

В судовой автоматике системы синхронной связи весьма распространены и применяются для решения ряда ответственных задач, связанных с управлением судном, например, для дистанционной передачи показаний электронавигационных приборов, передачи различных команд по управлению главными двигателями, вспомогательными механизмами силовой установки и т. п.

Система синхронной связи в общем виде состоит из трех основных частей: ведущего (командного) устройства, линии связи и ведомого (управляемого) устройства или ряда параллельно включенных ведомых устройств.

Основным элементом ведущего устройства служит датчик, при передаче малых мощностей на небольшие расстояния непосредственно соединенный с линией связи, а при передаче больших мощностей — с управляемым им усилителем.

Ведомая часть синхронной связи состоит из приемника, который производит при воздействии ведущего устройства соответствующие синхронные перемещения, управляющие исполнительным элементом автоматической системы.

В зависимости от мощности и назначения датчики имеют различные конструкции и принцип работы.

В качестве датчиков используют преобразователи одного вида электрической энергии в другой: преобразователи постоянного тока в трехфазный переменный ток переменной частоты, преобразователи переменного тока постоянной частоты в переменный ток переменной частоты и др.

Большое распространение в судовой автоматике получили сельсины.

Приемники также весьма разнообразны. В наиболее распространенных системах синхронной связи датчики и приемники выполнены в виде индукционных машин — сельсинов (контактных и бесконтактных, однофазных и трехфазных) различной конструкции.

Работая всегда в паре (датчик-приемник), сельсины могут иметь два варианта включения обмоток возбуждения.

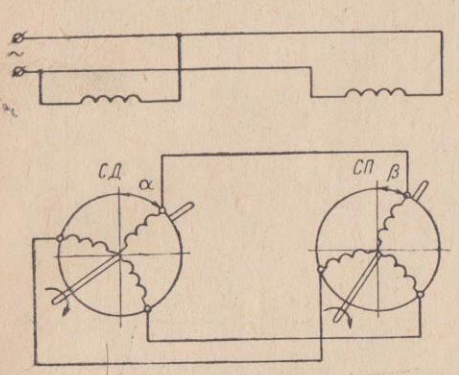


Рис. 7. Индикаторный режим работы сельсинов

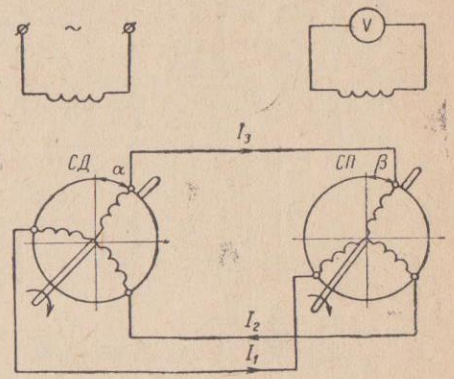


Рис. 8. Трансформаторный режим работы сельсинов

Если сельсины используются для дистанционной передачи угловых перемещений (индикаторный режим работы сельсинов), обмотки их соединяются по электрической схеме, изображенной на рис. 7. Если сельсины используются для измерения углов рассогласования командной и исполнительной осей (трансформаторный режим работы сельсинов), то обмотки их соединяются по схеме, показанной на рис. 8.

При подключении сельсинов к сети по схеме, изображенной на рис. 7, к первичной однофазной обмотке сельсина-приемника подводится напряжение той же частоты, что и к первичной обмотке сельсина-датчика. Однофазные обмотки создают в каждом из сельсинов пульсирующие магнитные потоки Φ_1 и Φ_2, которые приводят к появлению во вторичных (трехфазных) обмотках сельсинов совпадающих по фазе э. д. с. Если при этом угол рассогласования между роторами $\alpha-\beta=0$, то э. д. с. в сельсинах будут одинаковыми. Система будет находиться в покое.

При повороте ротора сельсина-датчика *СД* на некоторый угол равенство между э. д. с., индуктируемыми во вторичных обмотках датчика и приемника, нарушится. Появление разности э. д. с. приведет к возникновению уравнительных токов в соединительных проводах. Уравнительные токи, взаимодействуя с магнитными потоками Φ_1 и Φ_2, создадут синхронизирующие моменты, стремящиеся согласовать положение роторов сельсина-датчика *СД* и сельсина-приемника *СП*. Если ротор *СД* будет повернут на какой-то угол, то

ротор *СП* в этом случае повернется в ту же сторону, в какую был повернут ротор *СД*.

При включении сельсинов по схеме, изображенной на рис. 8, когда первичная однофазная обмотка сельсина-приемника не подключена к источнику напряжения, пульсирующий магнитный поток будет индуктировать в фазах вторичной обмотки датчика э. д. с., совпадающие во времени и по фазе.

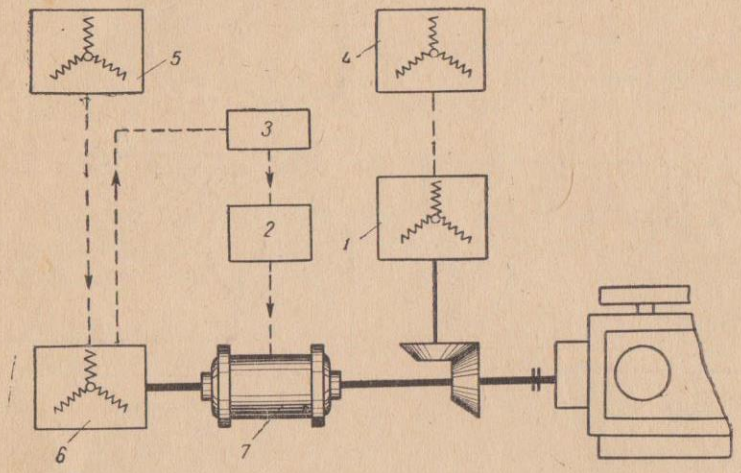


Рис. 9. Электромеханическая система дистанционного управления дизелем

Так как эти э. д. с. в отличие от индикаторной схемы ничем не компенсируются, в соединительных проводах трехфазных обмоток сельсинов будут протекать уравнительные токи I_1, I_2, I_3. Эти токи создадут в воздушном зазоре между ротором и статором *СП* суммарный пульсирующий поток, ось которого в пространстве совпадет с осью однофазной обмотки *СД*. Пульсирующий поток, пересекая однофазную (выходную) обмотку *СП*, индуктирует в ней вторичную э. д. с. с амплитудой, пропорциональной углу рассогласования $\Theta = \alpha - \beta$, что приведет к повороту ротора сельсина-приемника.

Сельсинная синхронная передача широко используется в различных следящих системах судовой автоматики. Упрощенная схема дистанционного управления судовым дизелем с такой передачей изображена на рис. 9. При повороте рукоятки командного электрического телеграфа, установленного в рулевой рубке, поворачивается на тот же угол и связанный с рукояткой ротор сельсина-датчика *5*. Рассогласование роторов сельсина-датчика и сельсина-приемника *6* приведет к появлению вторичной э. д. с. в однофазной обмотке сельсина-приемника (трансформаторный режим работы сельсинов).

Ток возбуждения от сельсина-приемника поступает в усилительно-релейный блок *3*, который через реле *2* подключает электро-

двигатель *7* к судовой сети. Последний через редуктор поворачивает в нужном направлении валик поста управления дизелем и устанавливает требуемый режим его работы. При отработке заданной команды ротор сельсина-приемника *6* повернется на тот же угол, что и ротор сельсина-датчика *5*, э. д. с. в однофазной обмотке сельсина-приемника исчезнет и усилительно-релейный блок выключит электродвигатель. Заданное число оборотов дизеля будет поддерживаться соответствующим регулятором (см. рис. 3).

Как видно из схемы, описанное автоматическое устройство состоит из двух систем синхронной связи *5, 6* и *1, 4* и собственно следящей системы *6, 3, 2, 7*. В следящей системе сельсин-приемник *6* выполняет функции задающего элемента, усилительно-релейный блок — функции усилительно-преобразовательного элемента, а электродвигатель *7* используется как исполнительный элемент системы. Главная обратная связь исполнительного элемента с задающим осуществляется здесь через валиковую проводку, соединяющую ротор электродвигателя с ротором сельсина-приемника *6*.

Вторая система синхронной связи *1, 4* работает по такому же принципу, как и первая *5, 6*.

Ротор сельсина-приемника *4* соединен со стрелкой, по положению которой и определяется точность выполнения системой заданной команды.

§ 7. РЕЛЕЙНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Автоматическая система любого вида после осуществления заданных управляющих воздействий на процесс может потребовать для подготовки к повторному действию вмешательства человека или обойтись без него. Автоматические системы первого типа называются системами однократного действия, второго типа — системами многократного действия.

В зависимости от способа передачи воздействий одних элементов автоматической системы на другие различают системы непрерывного и прерывистого действия.

К системам непрерывного действия относят такие, в которых при непрерывном изменении регулируемой величины непрерывно изменяются также механические, электрические или какие-либо другие величины во всех элементах системы.

Таким образом, для систем непрерывного действия характерна непрерывная функциональная связь между «входом» и «выходом» каждого элемента, а также в целом всей системы. К таким системам относится, например, рассмотренный нами регулятор скорости вращения вала (см. рис. 3).

В автоматических системах прерывистого действия цепь воздействий замыкается или размыкается в определенные, заранее заданные промежутки времени или при определенных, заранее заданных условиях.

Прерывистые системы подразделяются на две основные группы: импульсные и релейные. Системы импульсного регулирования отличаются тем, что в них через определенные промежутки времени происходит размыкание и замыкание контура регулирования специальным устройством, называемым импульсным звеном.

В импульсных системах управляющее воздействие на процесс осуществляется в виде отдельных импульсов (с паузами) в результате замыкания и размыкания цепи воздействий в определенные, заранее заданные и не зависящие от действительного протекания процесса моменты времени (т. е. принудительно).

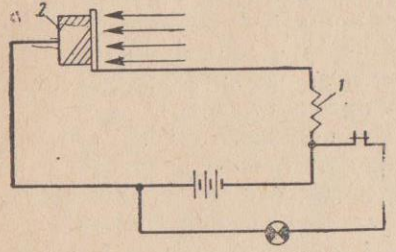


Рис. 10. Автомат включения знаков судоходной обстановки

В автоматической системе релейного действия воздействие отдельных элементов друг на друга в некоторые промежутки времени, зависящие от протекания процесса, может оставаться постоянным или вообще отсутствовать (равняться нулю). Такие системы, как правило, включаются и выключаются при достижении предельных значений регулируемых параметров.

Примером релейной системы может служить автомат включения знаков судоходной обстановки, принципиальная схема которого показана на рис. 10. Измерительным элементом в таком устройстве служит полупроводниковый селеновый фотоэлемент *2*, последовательно включенный в цепь аккумулятора и обмотки реле *1*.

Когда фотоэлемент не освещен (в ночное время суток), его сопротивление весьма велико, поэтому ток в обмотке реле незначителен и его н. з. контакты замкнуты. В этом случае сигнальная лампа включена в цепь аккумуляторной батареи.

При повышении освещенности фотоэлемента (в дневное время суток) ток в цепи реле возрастет за счет увеличения э. д. с. фотоэлемента и снижения его внутреннего сопротивления, н. з. контакты разомкнутся и сигнальная лампа выключится. По аналогичному принципу работает и рассмотренный выше регулятор уровня жидкости (см. рис. 2).

Подавляющее большинство судовых автоматических систем релейные. Их конструкция и принцип действия будут рассмотрены несколько ниже, в главах, посвященных комплексной автоматизации судовых силовых установок.

§ 8. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

При автоматизации производственных процессов часто приходится размещать пост управления в известном отдалении от объекта управления или контроля. Соединение объекта автоматизации

с постом управления не вызывает особых затруднений, пока расстояние между ними не превышает нескольких десятков или даже сотен метров. Иначе обстоит дело, если необходимо осуществлять связь между элементами установки, расположенными на расстоянии в десятки и сотни километров друг от друга. При таких расстояниях иногда бывает трудно обеспечить качественную передачу сигнала, а стоимость соединительных линий может оказаться значительно выше стоимости управляемого объекта. Для решения подобных задач в современной технике широко используют так называемые телемеханические системы.

В зависимости от назначения телемеханические системы подразделяются на системы телеизмерения, телесигнализации и телеуправления. Они состоят из передающего устройства, приемного устройства и соединяющего их канала связи. В качестве каналов связи используются проводные линии (воздушные и кабельные), линии электропередачи, радиолинии (на коротких и ультракоротких волнах).

Для удешевления телемеханических систем стремятся к уплотнению линий связи, т. е. используют линии связи для одновременной передачи различных сигналов. Наибольшее распространение получили частотно-импульсные каналы связи с различными вариантами передачи сигналов.

По каналам связи, например, могут передаваться импульсы переменного тока одинаковой частоты, но имеющие различную длительность, пропорциональную значению измеряемой величины (рис. 11, *а*).

Переменный ток может поступать в канал связи и без перерывов, но импульсы такого тока могут отличаться от пауз частотой (рис. 11, *б*), амплитудой (рис. 11, *в*) или фазой (рис. 11, *г*).

В последние годы расширяется область применения телемеханических систем с радиорелейными линиями связи.

Как известно, ультракороткие волны распространяются в направлении прямой видимости на расстояние 80—100 *км*, поэтому увеличение дальности их действия достигается с помощью ретрансляторов (промежуточных приемо-передающих станций).

На речном транспорте телемеханические системы получают все более широкое применение в области управления гидротехническими сооружениями. В настоящее время ряд производственных процессов на насосных станциях, гидростанциях, судоходных кана-

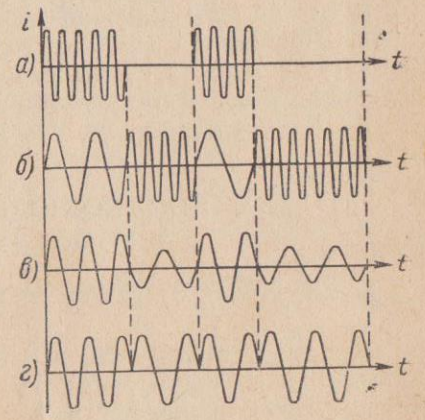


Рис. 11. График импульсов тока частотных телеизмерительных систем

лах полностью автоматизирован, а управление агрегатами производится телемеханически с центрального диспетчерского пункта. С этого пункта поворотом ключа и нажатием кнопки могут подаваться любые команды на насосные и гидроэлектрические станции. При повороте ключа цепь передающего устройства замыкается и, придя в действие, вырабатывает соответствующие телемеханические сигналы, посылаемые на насосную станцию. Там телеустановка принимает их, расшифровывает, проверяет правильность сигналов и, замыкая соответствующую цепь, производит пуск насосных агрегатов.

Таким образом, диспетчер с командного пункта запускает и останавливает агрегаты, отдаленные от него на несколько десятков километров. После выполнения заданной команды специальные реле посылают диспетчеру обратный сигнал о выполнении его распоряжения.

Автоматические устройства, установленные на таких станциях, полностью регулируют их работу в соответствии с заданной командой и все необходимые сведения о режиме работы станций передают в диспетчерский пункт.

В пульт управления станцией вмонтированы специальные приборы, по которым диспетчер может наблюдать за уровнями воды на любом участке канала и немедленно извещается обо всех неполадках в работе автоматизированных объектов.

В последние годы автоматические и телемеханические устройства начали использовать в сочетании с телевизионной техникой. На речном транспорте телемеханические устройства с применением телевидения все шире используют для управления процессами шлюзования и производственными процессами в портах. Уже сейчас на ряде шлюзов и портов дежурный диспетчер с пульта управления может с помощью телевизионной аппаратуры следить за процессом пропуска судов через шлюзы, за территорией порта, рейда, причалов, грузовых площадок, подъездных путей и работой портовых кранов. Проводятся опытные работы по применению дистанционного телеуправления кранами, шлюзами, земснарядами и другими производственными объектами.

Глава III. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

§ 9. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Выше мы отмечали, что в общем виде любая автоматическая система включает измерительные, усилительные и исполнительные элементы. Конструктивное выполнение таких элементов настолько разнообразно, что рассмотреть их все невозможно. Устройство и принцип действия измерительных, усилительных и исполнительных

элементов подробно описываются в специальных дисциплинах («Судовые вспомогательные механизмы», «Устройство и эксплуатация судовых дизелей», «Судовые паровые машины», «Автоматические средства судовождения» и т. д.).

Ниже приводятся только общие сведения о наиболее распространенных элементах САРУ, применяемых на судах речного флота.

Одной из составных частей всех автоматических систем служат измерительные элементы. Они измеряют регулируемую величину и на выходе элемента выдают соответствующий сигнал, воздействующий на автоматическое устройство с целью восстановления требуемого значения регулируемой величины, если она не соответствует заданной.

При работе автоматических систем регулируемые величины могут изменяться в широких пределах, вследствие чего измерительные элементы должны преобразовывать такие величины с минимальными искажениями и незначительными затратами энергии. Регулируемые величины у большинства измерительных элементов преобразуются на выходе в механические перемещения (усилия) или в те или иные электрические сигналы.

По принципу работы различают измерительные элементы прерывистого и непрерывного действия.

Измерительные элементы прерывистого действия часто называют реле.

В общем виде измерительный элемент состоит из чувствительного элемента и датчика. Первый воспринимает сигнал от объекта автоматизации, а второй преобразует его в сигнал, удобный для последующего использования в автоматическом регуляторе.

В соответствии с основными регулируемыми величинами судовой энергетической установки мы познакомимся только с измерительными элементами давлений, уровня, расхода, температуры, напряжения и скорости вращения.

Измерение давлений в объектах автоматизации производится главным образом мембранами различной конструкции, гофрированными трубками (сильфонами) и трубчатыми пружинами (рис. 12). Мембраны (рис. 12, *а*) могут быть плоскими или гофрированными и применяются для измерения небольших давлений (до 3—4 $кГ/см^2$). Средние и высокие давления (до 100 $кГ/см^2$ и более) измеряются с помощью сильфонов (рис. 12, *б*) и трубчатых пружин (рис. 12, *в*). Сильфоном называется гармоникообразный упругий цилиндр с глухим донышком, который при воздействии на него внешнего или внутреннего давления может изменять свою длину.

Трубчатые пружины, или трубки Бурдона, работают по принципу обычного манометра.

С изменением давления в объектах автоматизации мембраны, сильфоны и трубчатые пружины, прогибаясь в ту или другую сторону, через систему рычагов передают соответствующий сигнал средствам автоматики для восстановления заданного значения регулируемой величины.

Измерение уровня жидкости в объектах автоматизации производится с помощью поплавков (рис. 12, *г*), а также гидростатических и термогидравлических уровнемеров. Поплавки используют в основном для измерения уровня жидкости в открытых сосудах, а гидростатические и термогидравлические уровнемеры — для измерения уровня воды в паровых котлах.

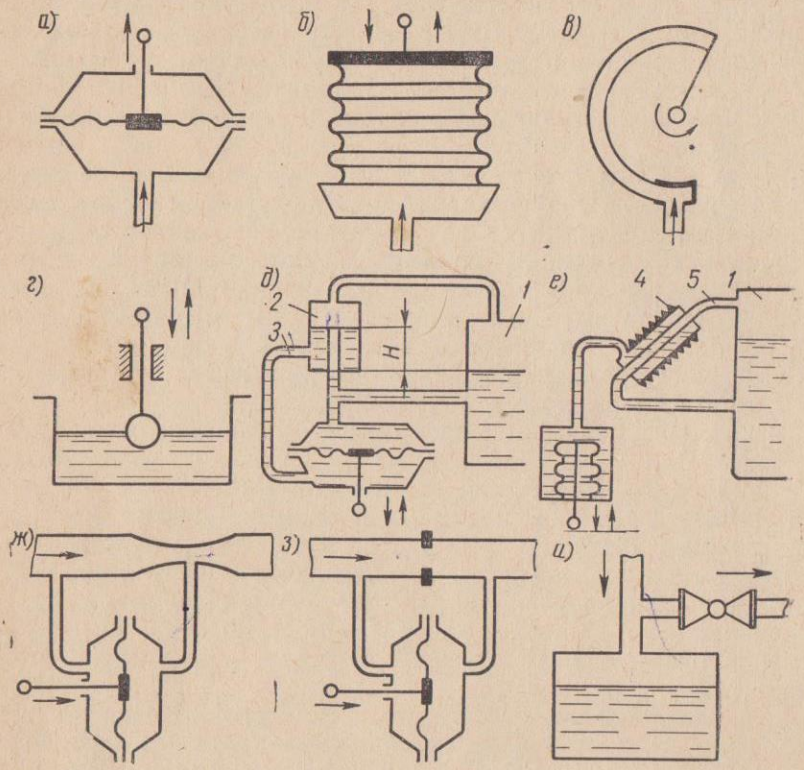


Рис. 12. Конструктивные схемы измерительных элементов давления, уровня и расхода

Гидростатический уровнемер (рис. 12, *д*) имеет конденсационный сосуд *2* — герметичный бак, соединенный трубопроводами с паровым и водяным пространствами котла. Уровень воды в конденсационном сосуде благодаря сливному трубопроводу *3* поддерживается всегда постоянным. Уровень воды во внутренней трубке конденсационного сосуда всегда соответствует уровню воды в котле. Давление пара в котле не влияет на положение мембраны, так как оно действует на нее с обеих сторон. С изменением уровня воды в котле изменяется величина гидростатического давления *H*, которая и воспринимается мембраной или сильфоном.

Термогидравлический уровнемер (рис. 12, *е*) состоит из двух вставленных одна в другую трубок *4* и *5*. Торцы наружной трубки *4*

герметически соединены с внутренней трубкой *5*, так что между ними образуется кольцевое пространство, которое заполняется дистиллированной водой. Внутренняя трубка *5* соединена с паровым и водяным пространствами котла *1*, а наружная — с одной из полостей сильфона или мембраны. С изменением уровня воды в котле соответственно изменяется и уровень воды во внутренней трубке *5*. При этом изменяется длина участка трубки, омываемого паром, в связи с чем изменяется давление паров дистиллированной воды в кольцевом пространстве наружной трубки. Изменение давления паров дистиллированной воды обратно пропорционально изменению уровня воды в котле, т. е. с повышением уровня воды импульсное давление паров дистиллированной воды уменьшается, а с понижением — увеличивается. Импульсное давление паров в трубке *4* воспринимается сильфоном, который и воздействует затем на элементы системы регулирования. Для лучшего отвода тепла в окружающую среду наружная трубка датчика сделана ребристой. Быстрый отвод тепла ускоряет процесс конденсации паров в полости наружной трубки в момент повышения уровня воды в котле, что приводит к увеличению чувствительности уровнемера.

Расход вещества в судовых системах автоматического регулирования измеряется косвенными способами, основанными на контроле эффекта сужения струи жидкости (рис. 12, *ж*) или на замере перепада давления на некотором участке трубопровода.

Движение потока, как известно, связано с определенными потерями давления, причем величина этих потерь прямо пропорциональна расходу рабочего вещества.

Ввиду незначительности естественных сопротивлений контролировать расход рабочего вещества по падению давления в трубопроводе с изменением естественных сопротивлений практически довольно трудно. Для этой цели в магистраль включают заранее определенное сопротивление, например диффузор или дроссельную шайбу (рис. 12, *з*). Перепад давления в магистрали при этом увеличивается и чувствительность измерительных элементов расхода возрастает.

Если объект автоматизации обслуживается насосом постоянной производительности, количество рабочего вещества, поступающего в объект, определяется по величине сброса жидкости в сливную магистраль (рис. 12, *и*).

Для измерения температуры применяют манометрические, биметаллические, контактные измерительные элементы, термометры сопротивления и термопары (рис. 13).

Манометрические измерительные элементы температуры (рис. 13, *а*) состоят из термобаллончика *1*, соединенного трубкой с измерителем давления. Термобаллончики могут быть заполнены инертным газом, паром или легкоиспаряющейся жидкостью. В прямой зависимости от температуры среды, окружающей термобаллончик, в последнем изменяется давление рабочего вещества, кото-

рое и вызывает соответствующее перемещение мембраны *2*, трубчатой пружины или сильфона.

Действие биметаллических измерительных элементов (рис. 13, *б* и *в*) основано на относительном удлинении под влиянием температуры двух твердых тел с различными коэффициентами линейного расширения. В таких термометрах с изменением температуры происходит размыкание или замыкание электрической цепи.

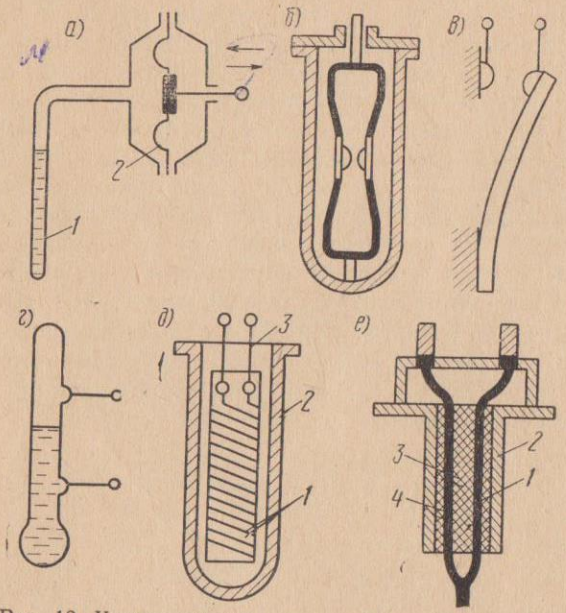


Рис. 13. Конструктивные схемы измерительных элементов температуры

Контактные измерительные элементы (рис. 13, *г*) работают по тому же принципу, что и биметаллические. С повышением температуры среды вследствие увеличения объема жидкости они замыкают электрическую цепь управления, с понижением температуры среды размыкают ее.

Манометрические, биметаллические и контактные термометры применяют для измерения температур среды в пределах 0—300°С.

Для измерения более высоких температур используют термометры сопротивления (рис. 13, *д*) и термопары (рис. 13, *е*).

Измерительные элементы с термометрами сопротивления основаны на свойстве проводников изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры.

Термометр сопротивления представляет собой цилиндрический корпус *2*, внутри которого установлен стержень *1* из изоляционного материала с намотанной на нем платиновой или медной проволокой *3*. Термометры сопротивления с медной проволокой применяют

для измерения небольших температур (50—150°С); с помощью термометров сопротивления с платиновой проволокой измеряют температуру в диапазоне 150—500°С.

Для измерения более высоких температур используют термопары. Их применяют в весьма широких пределах измеряемых температур — от 0 до 1500 и даже до 2500°С. Пределы температур, в которых может быть использована та или иная термопара, определяются материалом термоэлектродов. При измерении температур в диапазоне 0—1500°С для термоэлектродов обычно используют никель, железо, хромель (90% Ni+10% Cr) и алюмель (95% Ni+ +5% Al, Si, Mg, Be). Электроды термопар изготовляют из проволоки диаметром 0,5—3 *мм*. В каждом конкретном случае диаметр их определяется пределами измеряемых температур, механической прочностью и электропроводностью материала.

Термопара (рис. 13, *е*) состоит из двух проводников *1* и *4* разнородных металлов, заключенных в стальной корпус *2*. Провода тщательно изолируют от корпуса и друг от друга специальным теплостойким материалом *3*. Нижний конец термопары устанавливают в среду, температуру которой надо измерить. При изменении температуры среды в разнородных проводниках термопары возникает микроток, величина которого служит входным сигналом для последующих элементов автоматической системы.

На судах речного флота в качестве измерителей температуры широко применяются манометрические термометры.

К достоинствам манометрических термометров относятся их прочность и возможность дистанционной передачи и записи показаний, к недостаткам — пониженная точность измерения и трудность ремонта.

Газовые манометрические термометры обычно применяют для измерения температур в пределах 0—200°С. Их заполняют азотом или гелием, которые по термодинамическим свойствам близки к идеальным газам.

Для уменьшения влияния колебаний наружного барометрического давления на точность работы термометра его заполняют газом при начальном давлении не ниже 10 *бар* ≈ 10,2 *кГ/см*^{2}.

Паровые манометрические термометры чаще всего применяют для интервалов измерения 0—120°С (заполненные хлористым метилом), 0—150°С (заполненные этиловым эфиром) и 50—200°С (заполненные ацетоном или бензолом). Термобаллон термометра заполняют на $^2/_3$ объема жидкостью, остальной объем занимает насыщенный пар.

Манометрические термометры, заполненные метиловым спиртом, применяют для интервала измерения температур —40 —150°С.

Для уменьшения барометрической погрешности система заполняется жидкостью с начальным давлением не ниже 15 *бар* ≈ ≈ 15,8 *кГ/см*^{2}.

Жидкостные термометры очень чувствительны к температуре среды, окружающей соединительный капилляр и манометрическую

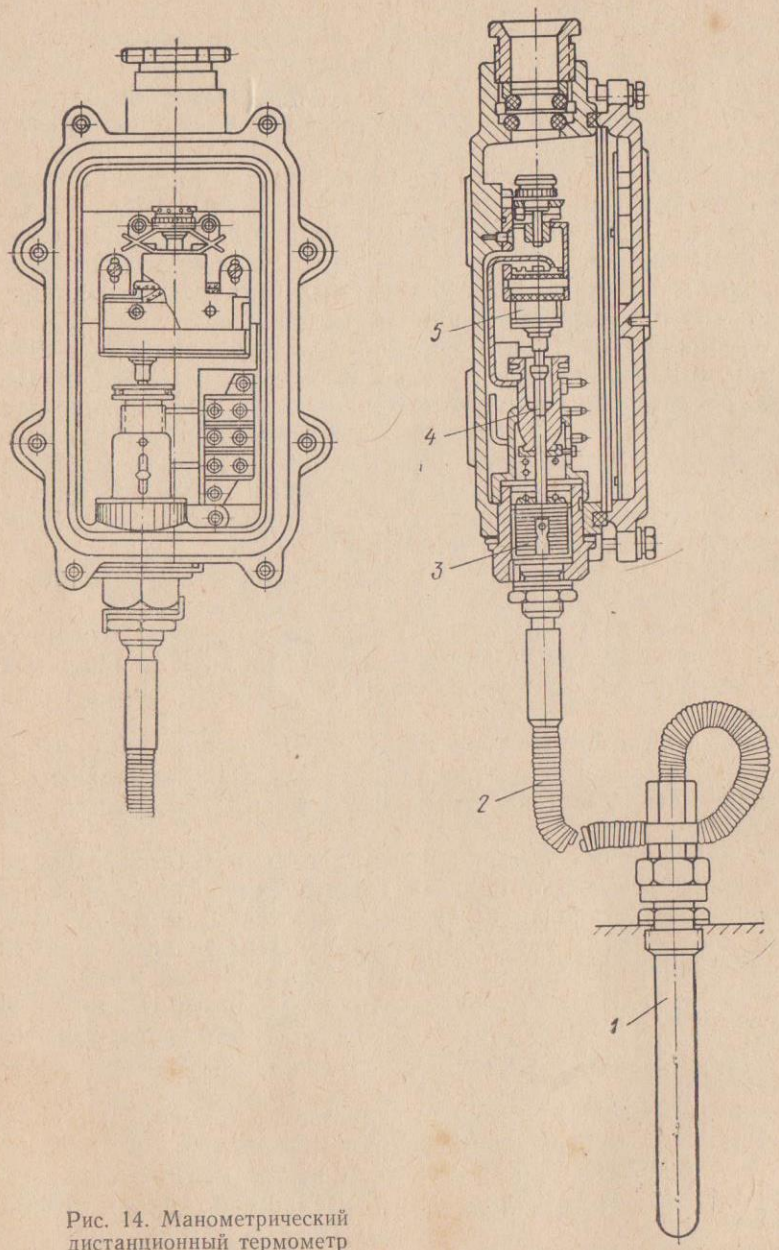


Рис. 14. Манометрический дистанционный термометр

пружину. Поэтому при длине капилляра свыше 7 *м* обычно включают специальное компенсирующее устройство.

Кроме измерительных, на судах речного флота широко используют и сигнализирующие термометры с электроконтактным устройством. Одна из конструкций такого измерительного элемента изображена на рис. 14.

При изменении температуры контролируемой среды давление паров этилового спирта в термобаллоне *1* и соединительной капиллярной трубке *2*, увеличиваясь или уменьшаясь, воздействует на сильфон *3*. Последний через толкатель *4* замыкает соответствующие контакты микровыключателя *5* и таким образом обслуживающий персонал извещается о достижении минимума или максимума температуры контролируемой среды.

Для манометрических термометров характерны три вида погрешностей: барометрические, гидростатические и температурные.

Барометрическая погрешность связана с нестабильностью барометрического давления.

Гидростатическая погрешность зависит от высоты столба рабочей жидкости в системе и присуща жидкостным и паровым термометрам.

Температурная погрешность зависит от разности температур соединительного капилляра и термобаллона.

Для уменьшения температурной погрешности используют специальные компенсирующие устройства. Принципиальная схема одного из таких устройств показана на рис. 15. Манометрический термометр с температурным компенсатором имеет две капиллярные трубки, присоединенные к общему термобаллону. Капиллярная трубка *1* соединена с основной манометрической пружиной *3*, а капиллярная трубка *2* — с дополнительной пружиной *5*.

Изменение температуры среды, окружающей капилляры и пружины, будет вызывать взаимно компенсированные воздействия на указательную стрелку *4*. Применение устройств, компенсирующих температурные погрешности, позволяет использовать жидкостные манометрические термометры для дистанционного контроля температуры при длине капилляра до 30 *м* с погрешностями порядка ±1,5% в диапазоне —40—150°С.

Для измерения скорости вращения вала в судовых системах автоматического регулирования применяют главным образом центробежные, электрические и электромагнитные измерительные элементы (рис. 16).

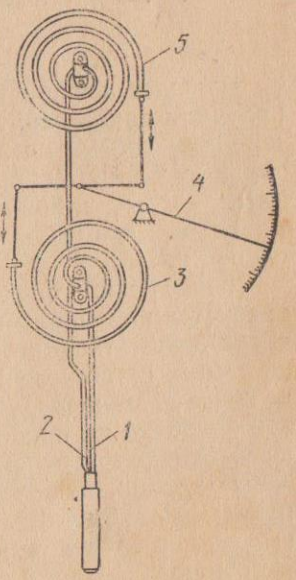


Рис. 15. Схема манометрического термометра с температурным компенсатором

Центробежный измерительный элемент (рис. 16, *а*) состоит из грузиков *2*, закрепленных на поперечине *1*, вращающейся с угловой скоростью, пропорциональной скорости вращения вала объекта регулирования. При вращении поперечины грузики под действием центробежной силы, отклоняясь на соответствующий угол от своего среднего положения, через систему усилительных и исполнительных элементов восстанавливают заданное значение угловой скорости вращения вала.

Если при определенных положениях вала требуется включать или выключать автоматическую систему, для измерения скорости вращения используют контакты прерывистого действия (рис. 16, *б*).

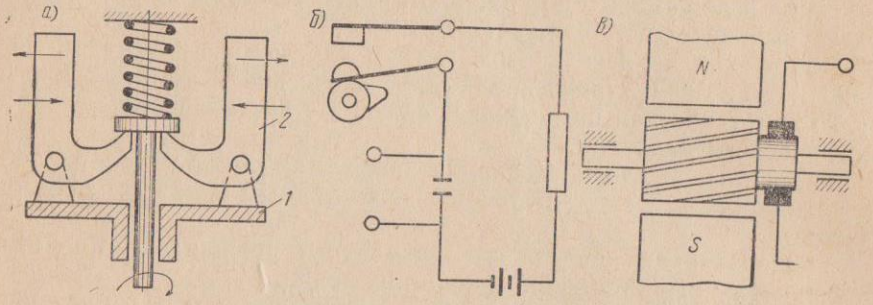


Рис. 16. Конструктивные схемы измерительных элементов скорости вращения

Большое распространение для измерения скоростей вращения получили тахогенераторы (рис. 16, *в*), вырабатывающие ток, пропорциональный угловой скорости вращения вала. Такие измерительные элементы, по существу, представляют собой небольшие электрические машины, конструкция которых предусматривает создание максимальной линейной зависимости э. д. с. от угловой скорости.

Если тот или иной сигнал на входе измерительного элемента требуется преобразовать в электрический сигнал на выходе в средствах автоматизации, в том числе и в судовых автоматических системах, широко используют индукционные и емкостные измерительные элементы. Действие индукционных измерительных элементов основано на преобразовании изменения величины контролируемого параметра в изменение индуктивности катушки или контура. Такое преобразование производится различными способами: изменением магнитной проницаемости сердечника индуктивной катушки, смещением сердечника в индуктивной катушке, изменением ширины воздушного зазора в сердечнике, искажением поля вокруг постоянного магнита, использованием магнитострикционных свойств некоторых материалов.

На рис. 17, *а* схематично изображены индукционные измерительные элементы с подвижным якорем, при перемещении которого

изменяется величина воздушного зазора в сердечнике, и измерительные элементы с подвижным сердечником (рис. 17, *б*).

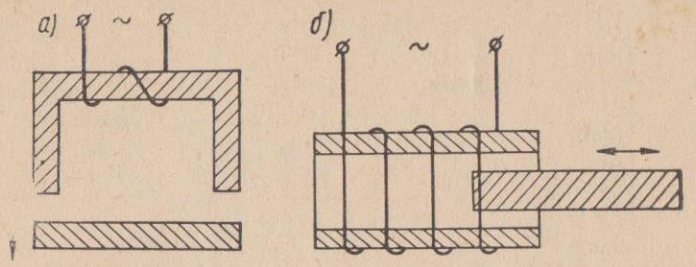


Рис. 17. Схемы индукционных измерительных элементов с одной обмоткой

Показанные на рис. 17 измерительные элементы имеют один существенный недостаток, заключающийся в необходимости преодоления значительных усилий для перемещения якоря или сердечника, вызванных силами притяжения. Этого недостатка лишены индукционные дифференциальные датчики, состоящие из двух одинаковых частей с двумя катушками (рис. 18, *а*), иногда включаемыми в мостовую измерительную схему (рис. 18, *б*).

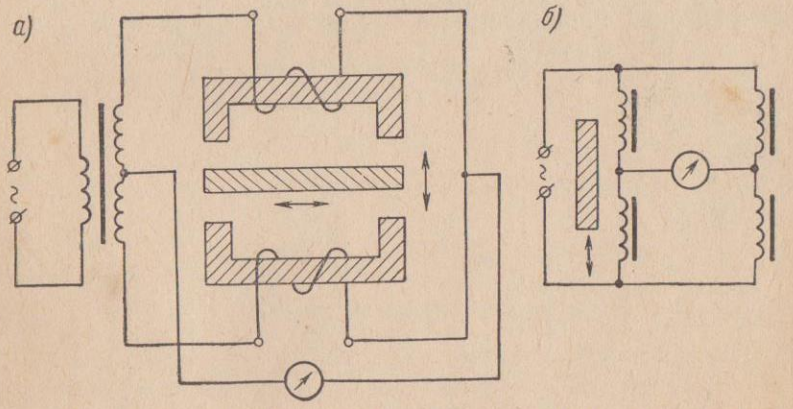


Рис. 18. Схемы дифференциальных измерительных элементов

Так же широко, как и дифференциальные измерительные элементы, в средствах автоматики используются индукционные (трансформаторные) измерительные элементы, содержащие несколько обмоток, индуктивная связь между которыми изменяется при перемещении замыкающего магнитный поток сердечника (рис. 19, *а*) или якоря (рис. 19, *б*).

В емкостных измерительных элементах изменение контролируемого параметра приводит к изменению емкости конденсатора, включенного в цепь автоматической системы.

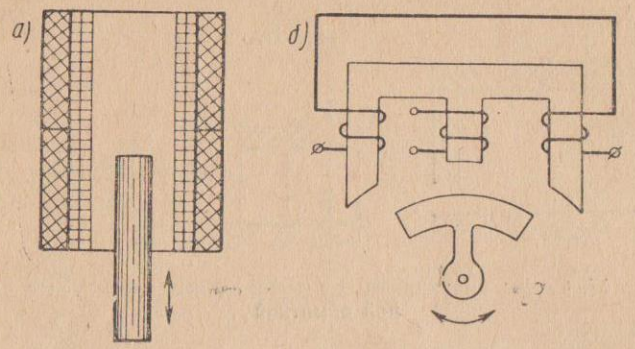


Рис. 19. Схемы индукционных измерительных элементов с несколькими обмотками

Емкость измерительного элемента может изменяться при изменении расстояния между пластинами конденсатора (рис. 20, *а*), при смещении одной пластины относительно другой или при изменении диэлектрической проницаемости среды, когда, например, между пластинами пропускается исследуемый газ, жидкость или сыпучий материал, диэлектрическая проницаемость которых отлична от диэлектрической проницаемости воздуха в нормальных условиях.

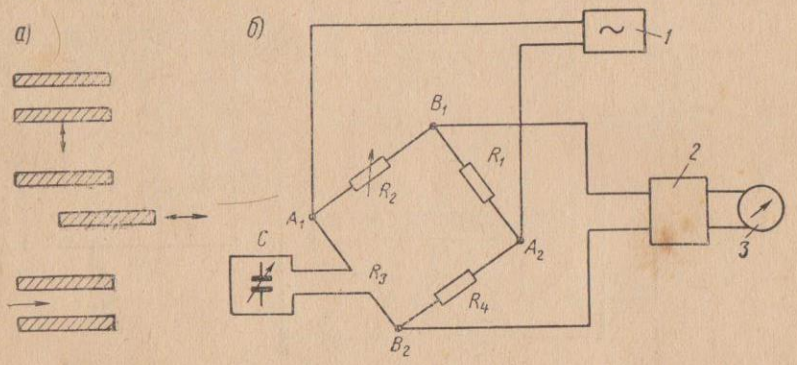


Рис. 20. Мостовая измерительная схема с емкостным измерительным элементом

Для измерения переменной емкости конденсатора наиболее часто применяют мостовые измерительные схемы на переменном токе (рис. 20, *б*). В два плеча моста включены постоянные сопротивления R_1 и R_4, в третье включен конденсатор C, изменение емкости которого эквивалентно изменению сопротивления R_3, четвертое плечо образовано переменным сопротивлением R_2.

Если мост питается в вершинах A_1 и A_2 переменным током от генератора *1*, то с помощью переменного сопротивления R_2 его можно уравновесить, т. е. уравнять потенциалы в вершинах B_1 и B_2. В этом случае индикатор *3*, подключенный через выпрямитель *2* к вершинам моста, не покажет тока между ними.

При отклонении емкости от заданной величины мост разбалансируется, т. е. выйдет из состояния равновесия, и величина небаланса, являющаяся функцией изменения емкости, отмечается индикатором как ток, протекающий между вершинами моста B_1 и B_2 или как разность потенциалов между ними.

§ 10. УСИЛИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Как уже указывалось, в регуляторах непрямого действия сигнал измерительного элемента подводится к усилителю и усиливается им за счет энергии, получаемой от внешнего источника.

Основной характеристикой усилительных элементов служит зависимость между величинами сигналов на входе и выходе. Отношение величин этих сигналов называется коэффициентом усиления K. Разумеется, каждый усилитель, независимо от конструкции, должен иметь такой коэффициент усиления, при котором обеспечивается мощность, необходимая для создания перестановочных усилий на исполнительном элементе системы.

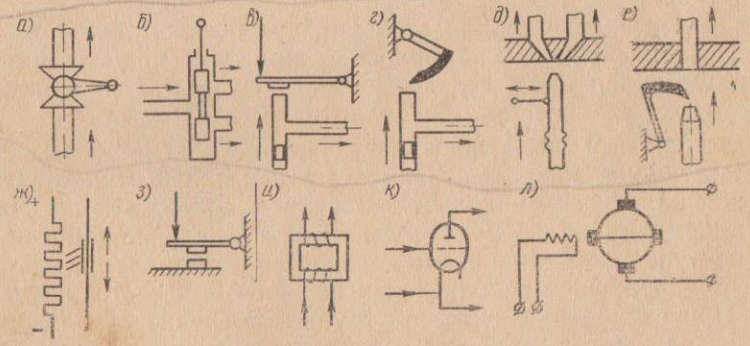


Рис. 21. Конструктивные схемы усилителей

Существующие усилители в зависимости от вида используемой вспомогательной энергии могут быть гидравлическими, пневматическими (рис. 21, *а-е*) и электрическими (рис. 21, *ж-л*).

В гидравлических усилителях рабочая жидкость (вода, масло), как правило, подается от насосов, а в пневматических — от специальных компрессорных установок или от баллонов сжатого воздуха.

Такие усилители выполняют в виде обычных вентилей (см. рис. 21, *а*) золотников (см. рис. 21, *б*), дроссельных заслонок (см. рис. 21, *в* и *г*) и струйных трубок (см. рис. 21, *д* и *е*). Действие их основано на преобразовании кинетической энергии струи жидкости, вытекающей из усилителя, в давление на исполнительный

элемент. Сигнал небольшой мощности, подводимый к золотнику или струйной трубке, усиливается на выходе из усилителя за счет подводимой к нему извне энергии от постороннего источника.

Усилитель золотникового типа представляет собой цилиндр с отверстиями для входа и выхода рабочей жидкости. Внутри цилиндра установлен золотник (два поршня, соединенные общим штоком), жестко связанный с измерительным элементом регулятора.

При отклонении золотника от среднего положения одна из его полостей сообщается со сливной магистралью, из второй рабочая жидкость подается к исполнительному элементу. В состоянии равновесия золотник находится в среднем положении и его поршеньки перекрывают отверстия, через которые поток жидкости может поступать к последующим элементам системы.

Золотниковые усилители применяют главным образом в регуляторах с измерительными элементами, развивающими сравнительно большие перестановочные усилия. Ограниченность области применения золотниковых усилителей вызывается трением подвижных деталей, а также попаданием механических примесей в зазор между золотником и цилиндром. По этой причине в качестве рабочей жидкости для золотниковых усилителей обычно используют масло. Действие таких усилителей было подробно рассмотрено нами в § 2 (см. рис. 3).

Усилители с дроссельной заслонкой устроены таким образом, что часть подведенной к ним рабочей жидкости может перетекать в сливной трубопровод, вследствие чего изменяется и давление в магистрали, соединенной с исполнительным элементом.

Усилители струйного типа действуют так же, как и золотники. Струйная трубка, жестко связанная с измерительным элементом, в состоянии равновесия находится в среднем положении по отношению к приемным сопловым отверстиям. В этом случае рабочая жидкость поступает с одинаковым давлением в оба приемных отверстия и поддерживает исполнительный элемент в состоянии равновесия. При отклонении струйной трубки от среднего положения в одном из приемных отверстий создается давление, большее чем в другом, что приводит к срабатыванию автоматической системы.

Для усиления электрических сигналов в автоматических системах применяют реостаты (см. рис. 21, *ж*), контакты (см. рис. 21, *з*), магнитные (см. рис. 21, *и*), электронные (см. рис. 21, *к*), полупроводниковые и электромашинные усилители (см. рис. 21, *л*).

Действие магнитных усилителей основано на изменении реактивного сопротивления в электрической цепи. Такой усилитель имеет несколько замкнутых сердечников (магнитопроводов) из ферромагнитного сплава. К управляющим обмоткам усилителя подводится входной сигнал в виде напряжения от измерительного элемента. Вторичные обмотки, с которых снимается усиленный сигнал, включаются в цепь следующих за усилителем элементов.

Магитные усилители соответствуют специфическим условиям эксплуатации регуляторов в судовых энергетических установках. Они надежны и просты в эксплуатации, не боятся влажности и вибрации, не имеют подвижных частей, выдерживают значительные перегрузки и не требуют предварительной подготовки к включению в работу.

Простейшим магнитным усилителем служит дроссель насыщения, принципиальная схема которого дана на рис. 22.

Дроссель насыщения состоит из стального сердечника, на который намотаны две обмотки: рабочая W_1, включенная последовательно с сопротивлением нагрузки $R_н$ в сеть переменного тока, и обмотка управления W_2, питающаяся от источника постоянного тока через регулируемое сопротивление $R_у$. Величина тока в цепи нагрузки при неизменном $R_н$ зависит от сопротивления обмотки W_1, а величина сопротивления обмотки W_1 зависит от тока в обмотке W_2, изменяющего степень насыщения стали магнитопровода обеих обмоток.

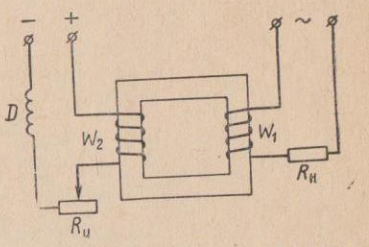


Рис. 22. Принципиальная схема простейшего магнитного усилителя

Таким образом, изменяя величину тока в обмотке управления W_2, можно изменять величину тока нагрузки в цепи обмотки W_1.

Большей величине тока в обмотке W_2 соответствует большее насыщение стали магнитопровода и соответственно меньшее индуктивное сопротивление обмотки W_1. В этом и заключается принцип действия дросселя насыщения.

При прохождении переменного тока по обмотке W_1 в обмотке W_2 наводится переменная э. д. с., которая вызывает дополнительные потери энергии в этом контуре и затрудняет управление дросселем. Для устранения этого недостатка последовательно с обмоткой W_2 включается большое индуктивное сопротивление D, ограничивающее величину переменного тока в цепи обмотки W_2. Введение индуктивного сопротивления в цепь обмотки управления дросселя приводит к некоторому замедлению процесса регулирования, поэтому индуктивное сопротивление может быть включено только в случае, если быстродействие усилителя не играет существенной роли в автоматической системе.

Для устранения этого недостатка вместо одной магнитной системы применяют также две с одинаковыми обмотками W_1 и W_2 (рис. 23). В этом случае обмотки соединяются последовательно так, что наводимые в обмотках W_2 э. д. с. в каждый момент времени направлены навстречу друг другу.

Помимо использования двух одинаковых дросселей насыщения, в магнитных усилителях применяют также один с трехстержневым Ш-образным сердечником (рис. 24). Рабочие обмотки в этом случае соединяют параллельно или последовательно так, чтобы маг-

нитный поток, создаваемый ими в среднем стержне, был равен нулю.

В зависимости от назначения магнитный усилитель может иметь несколько обмоток управления. Управляющее действие их определяется суммарной величиной намагничивающих сил всех обмоток. Нагрузка на схеме рис. 24 может получать питание и через выпрямительное устройство.

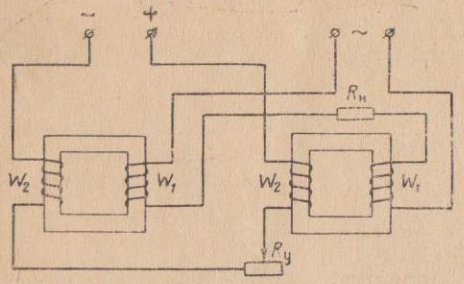


Рис. 23. Принципиальная схема соединения двух магнитных усилителей

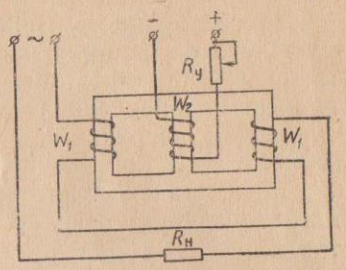


Рис. 24. Принципиальная схема магнитного усилителя с Ш-образным сердечником

В средствах автоматики магнитные усилители используют в основном с двумя схемами включения: с внешней или внутренней обратной связью.

Если магнитный усилитель имеет дополнительную обмотку, питаемую выпрямленным током, пропорциональным току нагрузки или напряжению на зажимах нагрузки, то намагничивающая сила такой обмотки будет усиливать или ослаблять действие обмотки возбуждения. Такие обмотки называются обмотками внешней обратной связи.

На рис. 25, *а* показана схема магнитного усилителя с внешней обратной связью по току нагрузки. При согласном включении обмоток управления W_2 и внешней обратной связи W_3 последняя усиливает действие первой и таким образом увеличивает коэффициент усиления магнитного усилителя. При встречном включении обмотка внешней обратной связи ослабляет действие обмотки управления и уменьшает коэффициент усиления. В первом случае обратная связь по току называется положительной, во втором — отрицательной.

Принципиальная схема магнитного усилителя с внутренней обратной связью при питании нагрузки переменным током приведена на рис. 25, *б*.

При использовании схемы с внутренней обратной связью ток нагрузки проходит по рабочей обмотке каждого сердечника в одном направлении в течение одного полупериода. Намагничивающая сила каждой из двух рабочих обмоток усиливает или ослабляет действие обмотки управления, в зависимости от того, как по отношению к ней включены рабочие обмотки.

Достоинство этих схем заключается в том, что для осуществления обратной связи не требуется дополнительная обмотка. К недостаткам схем с внутренней обратной связью относится увеличение напряжения, на которое надо выбирать полупроводниковые выпрямители *В*.

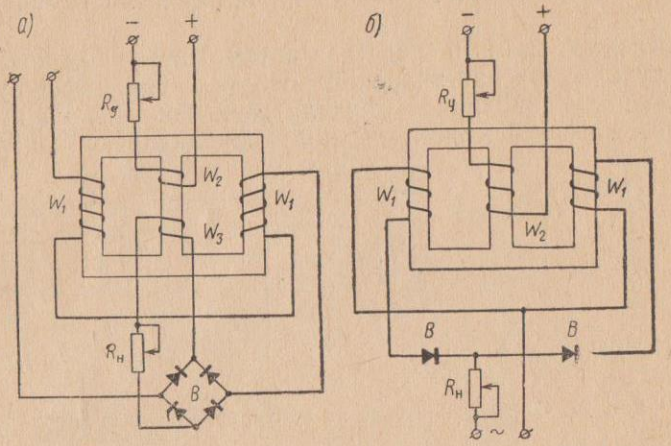


Рис. 25. Принципиальные схемы включения обмоток магнитного усилителя

Принципиальная схема усилителя на электронной лампе дана на рис. 26. Электронная лампа представляет собой стеклянную или металлическую колбу с выкачанным из нее воздухом. Внутри лампы находятся катод, анод и сетка. Последняя управляет электрическим полем в лампе, вследствие чего изменяется сила тока, протекающего через лампу. При отрицательном заряде сетка, управляя электрическим полем в лампе, уменьшает анодный ток, а при положительном — увеличивает его. Таким образом, подавая на сетку лампы слабое переменное напряжение от измерительного элемента, можно получить значительно более сильное напряжение в анодной цепи.

Одновременно с усилением напряжения происходит и увеличение мощности; мощность колебаний на нагрузке по сравнению с мощностью, расходуемой в цепи управляющей сетки, увеличивается вследствие расходования энергии источника питания.

Для работы усилительной схемы на нить накала лампы подается нормальное напряжение накала, а на анод и сетку — необходимое для данной лампы положительное напряжение E_2.

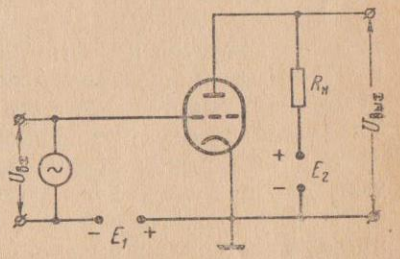


Рис. 26. Схема усилителя на электронной лампе

Кроме того, на управляющую сетку лампы подается отрицательное напряжение смещения E_1, что необходимо для усиления без искажений.

Небольшой гарантийный срок службы ламп (5000—10 000 *ч*), чувствительность их к вибрации, повышенной температуре и влажности несколько сужают область их применения в судовых условиях.

В последнее время в средствах автоматики, в том числе и судовой, получили распространение полупроводниковые усилители. Действие полупроводниковых усилителей основано на использовании в автоматических системах полупроводниковых триодов.

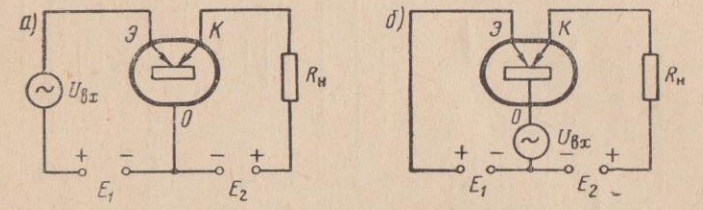


Рис. 27. Схема усилителей на полупроводниковых триодах

Физическая основа работы полупроводниковых триодов всех типов заключается в том, что под действием вводимых из внешней цепи носителей тока (электронов) изменяется проводимость выходного участка цепи, в которую включен местный источник э. д. с.

У полупроводниковых триодов все электроды в соответствии с выполняемой ими работой носят определенные названия. Левый электрод называется эмиттером *Э* (рис. 27). Правый электрод получил название коллектора *К*, средний называется основанием, или базой *О*.

Принцип действия полупроводникового триода аналогичен принципу действия трехэлектродной электронной лампы. Так, эмиттер играет роль катода, коллектор подобен аноду, а основание действует подобно управляющей сетке. В схеме с общим основанием (рис. 27, *а*) усиливаемый сигнал подается на эмиттер триода, что в случае лампового усилителя соответствует подаче напряжения на катод электронной лампы (см. рис. 26). В большинстве случаев электронные лампы включают таким образом, что напряжение сигнала подается на сетку, а катод заземляется. Соответственно и полупроводниковый триод может быть использован с подачей сигнала не на эмиттер, а в цепь основания, как показано на рис. 27, *б*. Такая схема носит название схемы с общим эмиттером.

В цепи источника сигнала в этом случае будет разность токов эмиттера и коллектора. Эти токи мало отличаются по величине, благодаря чему ток в цепи источника сигнала оказывается в десятки раз меньше тока эмиттера. Следовательно, при малом изменении тока на входе усилителя (в цепи основания) получаем в десятки раз большее изменение тока на выходе.

Полупроводниковые усилители отличаются высоким гарантийным сроком службы, могут работать в условиях относительной влажности воздуха, достигающей 95—98%, и выдерживают значительные вибрации — до 2000 *гц*.

Электромашинные усилители (ЭМУ) обычно представляют собой коллекторную машину постоянного тока.

В зависимости от системы возбуждения электромашинные усилители принято делить на ЭМУ продольного поля и ЭМУ поперечного поля. В первых основной рабочий поток возбуждения действует по продольной оси машины (вдоль полюсов), во вторых — по поперечной.

В системах регулирования на вход ЭМУ (обмотки управления) подается сигнал, который в машине усиливается в результате потребления энергии от приводного двигателя, а к выходу ЭМУ подключается электродвигатель, приводящий во вращение исполнительный механизм, или обмотка возбуждения другой, значительно более мощной машины.

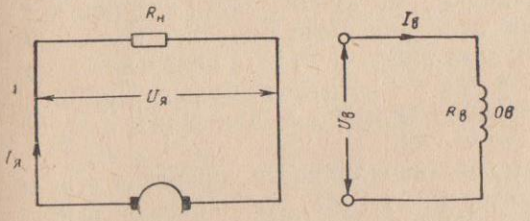


Рис. 28. Принципиальная схема ЭМУ с независимым возбуждением

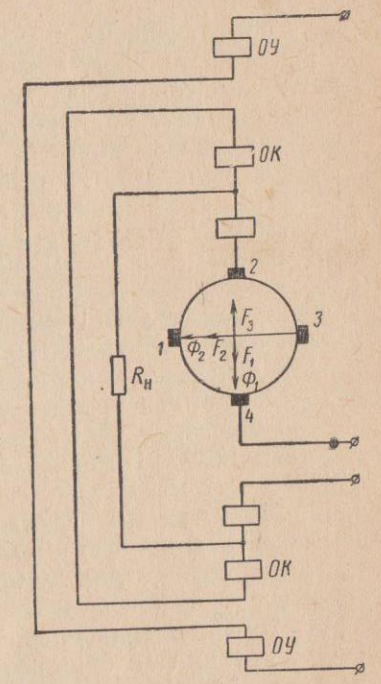


Рис. 29. Принципиальная схема ЭМУ поперечного поля

Простейшим электромашинным усилителем служит обычный генератор постоянного тока с независимым возбуждением (рис. 28).

В качестве электромашинных усилителей продольного поля в средствах автоматики используют также ЭМУ независимого возбуждения с несколькими обмотками управления; ЭМУ с параллельным и последовательным самовозбуждением; двухмашинные усилители, представляющие собой каскад двух машин с независимым возбуждением, включенных так, что одна является возбудителем другой; двухколлекторные ЭМУ, объединяющие в одну машину два генератора, один из которых имеет вдвое больше пар полюсов, чем другой.

В ЭМУ поперечного поля (рис. 29) основным рабочим потоком, создающим э. д. с. на выходе машины, является поток поперечной

реакции якоря. Он создается током, текущим по короткозамкнутой поперечной цепи якоря.

При подаче питания в обмотку управления *ОУ* двухполюсного генератора постоянного тока (ЭМУ) возникает намагничивающая сила (н. с.) F_1 и соответствующий ей продольный магнитный поток Φ_1.

В обмотке якоря, при вращении в этом потоке, как у всякой машины постоянного тока, будет наводиться э. д. с., максимальное значение которой будет между щетками *1* и *3*, так как эти щетки у ЭМУ замкнуты накоротко; по якорю машины пройдет ток короткого замыкания, который создает н. с. поперечной реакции якоря F_2 и поперечный магнитный поток Φ_2. Последний вызовет появление в обмотке якоря машины э. д. с., максимальное значение которой будет между щетками *2* и *4*.

К щеткам *2* и *4* ЭМУ подключена нагрузка; ток ее, проходя по якорю машины, в свою очередь создает н. с. реакции якоря F_3, которая направлена вдоль оси полюсов машины навстречу F_1 и уменьшает ее. В таком виде машина как усилитель работать не может. Для возможности работы машины в качестве усилителя необходимо компенсировать н. с. реакции якоря от тока нагрузки F_3. С этой целью на полюса машины накладывают дополнительную, так называемую компенсационную обмотку *ОК*, витки которой подбирают так, чтобы ее н. с. по величине была близка к силе F_3 и направлена в противоположную сторону. В ЭМУ с поперечным полем компенсационную обмотку делают несколько большей по н. с., чем это требуется для компенсации силы F_3, и шунтируют регулируемым сопротивлением $R_н$.

Благодаря сравнительно малой инерционности поперечного поля и ряду других факторов рассмотренный ЭМУ отличается высоким быстродействием (0,1—0,3 *сек*) при высоких коэффициентах усиления (10—10 000).

Широкое применение ЭМУ в САРУ вызвано не только их высоким коэффициентом усилия и быстродействием, но и рядом других преимуществ по сравнению с различными видами усилителей.

Существенное преимущество ЭМУ заключается в их способности легко обеспечивать изменение полярности на выходе при изменении полярности на входе машин. Другое важное преимущество ЭМУ — их высокая перегрузочная способность.

Обычно ЭМУ поперечного поля допускают, как правило, двухтрехкратные кратковременные перегрузки по току нагрузки при номинальном напряжении.

В последнее время магнитные и полупроводниковые усилители начали вытеснять ЭМУ из ряда систем автоматизированного электропривода. Это объясняется прежде всего большей надежностью этих усилителей. Однако, несмотря на это, в целом ряде автоматизированных электроприводов, особенно в мощных системах, и там, где требуются реверсирование и высокая перегрузочная способность средств автоматики, применение ЭМУ предпочтительнее.

§ 11. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

В качестве исполнительных элементов (их называют также сервомоторами, сервоприводами или исполнительными механизмами) используют электромагниты, насосы, соленоиды, сильфоны, поршни и мембраны, электродвигатели постоянного и переменного тока.

В судовых энергетических установках наиболее широкое применение получили поршневые (рис. 30, *а-в*) и мембранные (рис. 30, *г* и *д*) исполнительные элементы. Они имеют наиболее простую конструкцию и отличаются значительной надежностью в условиях длительной эксплуатации.

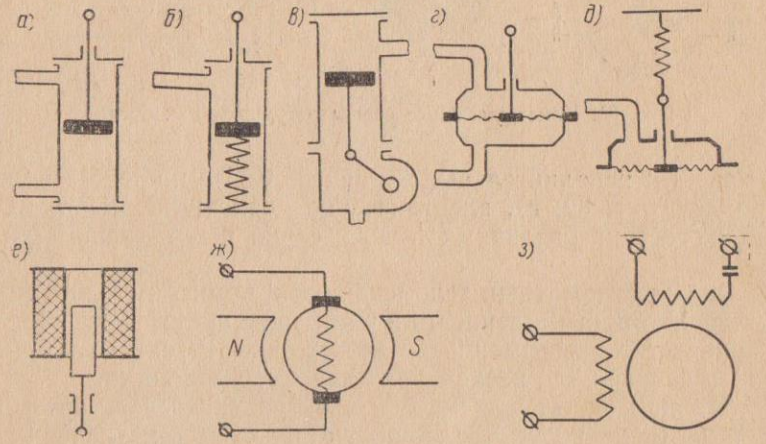


Рис. 30. Конструктивные схемы исполнительных элементов

Конструкция некоторых поршневых сервомоторов (см. рис. 30, *в*) позволяет преобразовывать поступательное движение поршня во вращательное движение регулирующих органов.

Поршневые и мембранные исполнительные элементы могут быть одно- и двустороннего действия. Сервомоторы с односторонним подводом рабочей жидкости (см. рис. 30, *б*) применяют с усилительными устройствами дроссельного типа (вентиль, дроссельная заслонка). Такие сервомоторы используют в системах регулирования, работающих по принципу «Включено — Выключено», или для установки регулирующего органа в положение, соответствующее заданному давлению рабочего вещества на поршень.

В мембранных исполнительных элементах роль поршня выполняет мембрана, к усилительной части которой присоединяется шток. Мембранные исполнительные элементы в связи с большими активными поверхностями мембран и относительно малыми их перемещениями наиболее часто применяются для непосредственного привода регулирующих клапанов и обычно объединяются с ними в одну конструкцию.

Работа сервомоторов с двусторонним подводом рабочего вещества (см. рис. 30, *а*) обеспечивается усилительными устройствами типа золотников и струйных трубок. В таких исполнительных элементах создаваемая усилителем разность давлений рабочего вещества, действующих с двух сторон на поршень или мембрану, вызывает их перемещение в ту или другую сторону, что приводит и к перемещению регулирующих органов — клапанов (рис. 31, *а*), кранов (рис. 31, *б*), контактов (рис. 31, *в*) и заслонок (рис. 31, *г*).

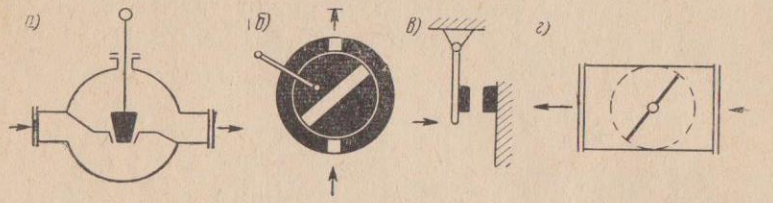


Рис. 31. Конструктивные схемы регулирующих органов

В качестве исполнительных элементов САРУ широко используют соленоиды (рис. 30, *е*), электрические двигатели постоянного и переменного тока различных типов, серий и исполнений (рис. 30, *ж* и *з*).

Для нужд автоматики, телемеханики и вычислительной техники отечественная промышленность в настоящее время выпускает большое количество всевозможных электродвигателей малой (0,01—600 *вт*) и средней (до нескольких киловатт) мощности.

Требования, предъявляемые к электродвигателям автоматической системы, прежде всего зависят от ее схемы, назначения и условий работы или тех функций, которые должен выполнять электродвигатель.

В системах автоматического регулирования с приводами средней мощности (1,0—5 *квт*) обычно применяют электродвигатели постоянного тока серии СЛ, МИ, Д, ДП, СД, ПН и др.

Из огромного количества различных типов электродвигателей, выпускаемых отечественной промышленностью для автоматизированного электропривода, примерно около 90% переменного тока.

Из электродвигателей переменного тока наибольшее распространение получили различные асинхронные электродвигатели с питанием от одно-, двух- и трехфазной сети промышленной и повышенной частоты.

Широкое распространение в средствах автоматики получили асинхронные трехфазные электродвигатели серии АОЛ, двухфазные электродвигатели с полым короткозамкнутым ротором серии АДП, двухфазные управляемые конденсаторные электродвигатели с полым немагнитным ротором серии ЭМ, И6, ДА, ДИД, ИД; однофазные электродвигатели серии АОЛБ, ЭМ; однофазные синхронные электродвигатели реактивного и реактивно-гистерезисного типа серий ДВС, СД, СРД, ДВД и др.

Глава IV. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

§ 12. ПОНЯТИЕ ОБ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВАХ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Любой объект автоматизации судовой энергетической установки (дизель, насос, паровая машина, котел, электродвигатель, расходная цистерна и т. д.) характеризуется количеством энергии или количеством рабочего вещества, проходящего через него в единицу времени. Поэтому правильный выбор схем автоматизации, типа регулирующей аппаратуры и ее характеристик возможен лишь при точном знании и учете свойств объекта.

Количество вещества или энергии, содержащихся в объекте автоматизации, принято называть емкостью объекта или его аккумулирующей способностью.

Установившийся режим работы объекта автоматизации характеризуется постоянством регулируемых величин: он может быть достигнут при различных значениях регулируемых величин.

Однако установившийся режим работы объекта может быть по тем или иным причинам нарушен. В этом случае различные объекты автоматизации ведут себя по-разному.

Процессы, протекающие в объектах управления, характеризуются наличием или отсутствием самовыравнивания.

Самовыравниванием или саморегулированием, называется свойство объекта автоматизации самостоятельно, без участия регулятора, устранять несоответствие между притоком и расходом вещества или энергии и обеспечивать новое установившееся значение управляемой величины.

Примером объекта с самовыравниванием может служить резервуар, куда сверху поступает жидкость, которая свободно вытекает внизу через отверстие.

При равновесии притока и расхода жидкости уровень ее в резервуаре не изменяется.

Если приток жидкости увеличится, то уровень ее в резервуаре будет увеличиваться до тех пор, пока вследствие повышения давления расход не сравняется с притоком, а затем будет оставаться постоянным.

Если объект не имеет свойства самовыравнивания, то при разности между притоком и расходом среды управляемая величина неограниченно возрастает или уменьшается до нуля.

Примером объекта без самовыравнивания может служить резервуар со строго постоянным расходом жидкости. Если приток жидкости больше расхода, уровень ее неограниченно возрастает, если меньше — уменьшается до нуля.

Коэффициент самовыравнивания γ характеризует скорость изменения величины регулируемого параметра в зависимости от притока

и расхода вещества или энергии при номинальном режиме работы объекта:

$$\gamma = \left(\frac{dQ_{пр}}{dB}\right)_{ном} \cdot \frac{B_{ном}}{Q_{ном}} - \left(\frac{dQ_р}{dB}\right)_{ном} \cdot \frac{B_{ном}}{Q_{ном}},$$

где $Q_{пр}$ — приток рабочего вещества или энергии;
B — регулируемый параметр;
$Q_р$ — расход рабочего вещества или энергии.

Здесь уменьшаемое и вычитаемое умножены на $\frac{B_{ном}}{Q_{ном}}$ для того, чтобы получить безразмерным коэффициент самовыравнивания. Произведение

$$\left(\frac{dQ_{пр}}{dB}\right)_{ном} \cdot \frac{B_{ном}}{Q_{ном}} = \gamma_{под}$$

называется коэффициентом самовыравнивания на стороне подачи энергии или вещества, а произведение

$$\left(\frac{dQ_р}{dB}\right)_{ном} \cdot \frac{B_{ном}}{Q_{ном}} = \gamma_{потр}$$

коэффициентом самовыравнивания на стороне потребления.

Следовательно, общий коэффициент самовыравнивания (коэффициент самовыравнивания объекта) равен

$$\gamma = \gamma_{под} - \gamma_{потр}.$$

Коэффициент самовыравнивания γ может быть положительным, равным нулю или отрицательным. Если $\gamma > 0$, это значит, что при $t \to \infty$ регулируемый параметр стремится к некоторому определенному значению, несмотря на продолжающееся действие постоянного по величине возмущения, как это было рассмотрено нами выше на примере резервуара и электродвигателя. Объекты, у которых $\gamma > 0$, могут работать и без регулятора. Если $\gamma = 0$, это означает, что объект не обладает свойством самовыравнивания. В таких объектах регулируемый параметр отклоняется от исходного значения под действием постоянного возмущения с постоянной скоростью. Отклонение будет пропорционально истекшему времени.

При $\gamma < 0$ $\gamma_{под} < \gamma_{потр}$. Ясно, что такие процессы в объекте не могут регулироваться.

При нарушениях притока и расхода рабочего вещества или энергии новое установившееся состояние восстанавливается в различных объектах через различные промежутки времени.

Время, в течение которого в объекте достигается установленное номинальное значение регулируемой величины, считая от начального нулевого значения, при номинальном подводе рабочего вещества или энергии и отсутствии отвода, называется временем разгона объекта

$$t_п = \frac{C_{потр}}{Q_{п.р}},$$

где $C_{потр}$ — емкость объекта со стороны потребления;
$Q_{п.р}$ — подача регулируемой среды в единицу времени.

Во всех случаях, чем больше время разгона, тем медленнее будет происходить изменение регулируемой величины при нарушении энергетического баланса объекта автоматизации.

При определении времени разгона следует учитывать, что регулируемые величины в объектах автоматизации изменяются не мгновенно. В действительности между моментом равновесия и началом изменения регулируемой величины при нарушении равновесия проходит некоторое время — время запаздывания, что несколько затрудняет регулирование процесса.

Мы перечислили только основные свойства объектов автоматизации, которые необходимо знать при расчете систем автоматического регулирования. Детальное изучение этих свойств и характеристик объектов автоматизации — одна из основных задач проектирования, наладки и эксплуатации автоматических систем.

§ 13. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Каждый объект (аппарат, машина, агрегат и т. п.) проектируется на определенный режим работы, называемый номинальным. Кроме того, при расчете объекта обычно рассматривают его работу при установившемся режиме, принципиальной особенностью которого является равенство взаимодействующих в системе сил, прихода и расхода вещества или энергии и т. п.

При установившемся состоянии САРУ в каждом элементе ее существует вполне определенная зависимость между входным сигналом $X_{вх}$ (или входной координатой) и выходным сигналом $X_{вых}$ (или выходной координатой). Такая зависимость называется статической характеристикой элемента автоматической системы.

Исследуя работу отдельных элементов системы, можно построить их статические характеристики по соответствующим формулам или экспериментально. Например, статическую характеристику топливного насоса дизеля можно получить, замеряя подачу топлива при различных положениях рейки топливного насоса в установившемся режиме. Статическая характеристика центробежного измерительного элемента скорости вращения вала дизеля может быть представлена в виде зависимости перемещения муфты измерителя от числа оборотов дизеля.

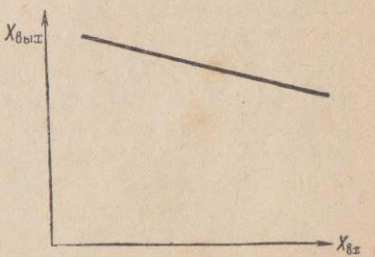


Рис. 32. Статическая характеристика линейных элементов

Статические характеристики элементов автоматической системы могут быть линейными и нелинейными.

Линейные статические характеристики имеют вид прямой линии (рис. 32).

Элементы, у которых выходная величина при изменении входной изменяется нелинейно, имеют нелинейную характеристику.

На рис. 33 показаны различные нелинейные характеристики элементов: элементы с насыщением (рис. 33, *а*); элементы с нечувствительностью и ограниченностью перемещения на выходе (рис. 33, *б*); элементы с сухим трением или мертвым ходом (рис. 33, *в*); элементы с гистерезисом в стали (рис. 33, *г*); идеальная релейная характеристика (рис. 33, *д*); реальная релейная характеристика (рис. 33, *в*).

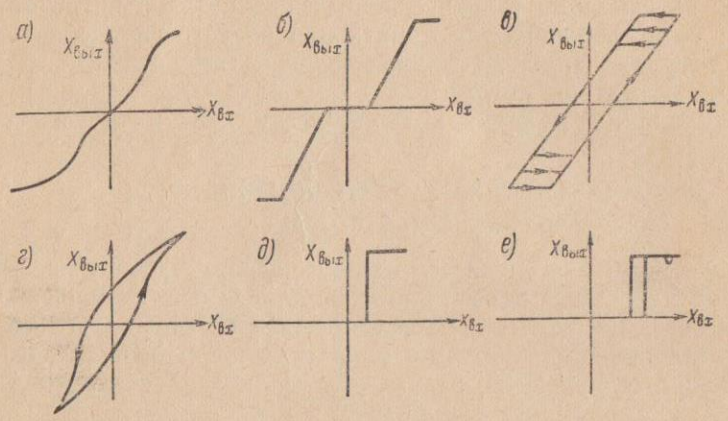


Рис. 33. Статические характеристики нелинейных элементов

Из рисунка видно, что характеристики некоторых нелинейных элементов при незначительных изменениях выходной величины могут с достаточной для практики точностью считаться линейными. В таких случаях говорят, что элементы допускают линеаризацию при малых отклонениях.

Однако есть и такие элементы, характеристики которых нельзя линеаризировать в некоторой зоне при сколь угодно малых отклонениях выходной величины (см. рис. 33, *д* и *е*).

Ясно, что статическая характеристика системы в целом зависит от статических характеристик отдельных ее элементов. Если все статические характеристики составляющих систему элементов имеют вид прямой линии, то и статическая характеристика системы будет изображаться в виде прямой линии. Такие системы называются линейными. Если система включает хотя бы один нелинейный элемент, то она будет нелинейной.

На рис. 34 приведена статическая характеристика линейной автоматической системы.

Из рисунка видно, что при изменении нагрузки от $M_{мин}$ до $M_{макс}$ скорость вращения вала может изменяться от $\omega_{макс}$ до

$\omega_{мин}$. Такая зависимость между регулируемой величиной и нагрузкой (внешним возмущением) при различных установившихся режимах работы объекта автоматизации носит название статической характеристики системы.

Ясно, что как в первом, так и втором случае скорость вращения вала электродвигателя будет несколько отличаться от ее номинального значения.

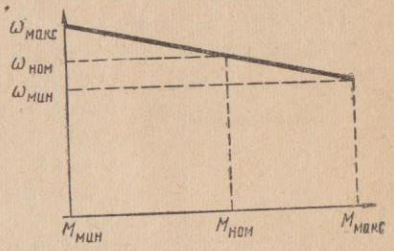


Рис. 34. Статическая характеристика автоматической системы

Разность между каким-либо установившимся значением регулируемой величины ω и ее номинальным значением $\omega_{ном}$ называют статической ошибкой системы

$$\Delta\omega = \omega - \omega_{ном}.$$

Статическая ошибка характеризует неравномерность действия системы регулирования.

В теории автоматики разность $\omega_{макс} - \omega_{мин}$ называют зоной неравномерности, а отношение $\delta = \frac{\omega_{макс} - \omega_{мин}}{\omega_{ном}}$ — степенью неравномерности регулирования. Чем меньше степень неравномерности регулирования, тем лучше система, и наоборот.

Статическая характеристика одного из регуляторов температуры представлена на рис. 35. Стрелками показано направление изменения температуры воды на выходе из дизеля.

Статическая характеристика такого регулирования имеет нелинейный вид. Как видно из рисунка, если, например, при температуре t и положении клапана h регулятор будет находиться в равновесии, то необходимо некоторое понижение температуры до значения $t_н$ или увеличение до $t_в$, прежде чем клапан начнет открываться или прикрываться. Клапан некоторое время не реагирует на изменение температуры воды на выходе из дизеля.

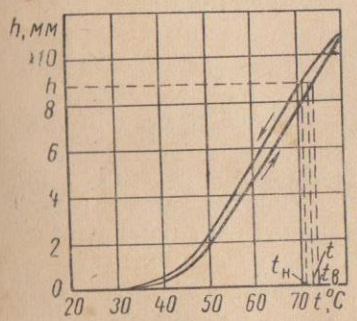


Рис. 35. Экспериментальная характеристика регулятора температуры прямого действия

Ширина петли статической характеристики регулятора температуры, равная $t_в - t_н$, называется зоной нечувствительности при данном положении h клапана.

По аналогии со степенью неравномерности отношение $\frac{t_в - t_н}{t}$ называется степенью нечувствительности регулятора.

Величина $\frac{t_в - t_н}{2}$ определяет нечувствительность регулятора. Нечувствительность вызывается трением, зазорами в механических передачах, явлениями гистерезиса в электромагнитных устройствах, возникновением знакопеременных сил в элементах системы и другими физическими причинами.

По характеру зависимости между значением регулируемой величины и величиной внешнего возмущающего воздействия на объект (по виду статических характеристик) автоматические системы делятся на два типа: статические и астатические.

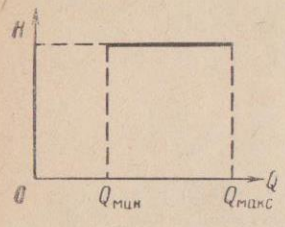


Рис. 36. Характеристика астатического регулятора

Статическими называются такие САРУ, в которых при различных постоянных по величине внешних возмущающих воздействиях на объект регулируемый параметр принимает в установившемся режиме значения, зависящие от величины внешнего возмущающего воздействия (нагрузки). Характеристики таких систем изображены на рис. 34 и 35.

Астатическими называются такие САРУ, в которых при различных по величине внешних возмущающих воздействиях Q на объект регулируемый параметр в установившемся режиме принимает постоянное заданное значение H. Характеристика таких систем имеет вид прямой линии, параллельной оси нагрузок (рис. 36).

§ 14. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Как мы уже говорили, в условиях эксплуатации установившийся режим работы объектов может быть нарушен различными внешними возмущениями. При возникновении возмущений новый режим устанавливается не сразу, а в течение некоторого промежутка времени, причем длительность перехода от одного режима к другому и характер изменения значений регулируемых величин при этом для различных САРУ будут различными.

Режим перехода системы из одного установившегося состояния в другое называется переходным.

Для регулирования вручную характеристики переходного режима работы аппарата, машины и т. п. не являются определяющими, так как человек в процессе регулирования может приспосабливать свои действия к особенностям переходного режима.

Для автоматических же регуляторов поведение объектов автоматизации и самого регулятора в переходных режимах особенно важно, так как регуляторы должны работать в переходных режимах и практически бездействуют в установившихся режимах.

При появлении возмущения или изменении постоянно действующего возмущения автоматическая система приходит в движение,

характер которого определяется особенностями объекта автоматизации и автоматического регулятора.

Естественно, что поведение системы в переходном режиме будет зависеть не только от ее динамических свойств, но и от того, какой характер носило действие возмущения.

Внешнее возмущение может быть случайным, кратковременным, изменяющимся от нуля до какого-то постоянного значения X_0 (рис. 37, *а*). Это соответствует, например, сбросу или набросу нагрузки в системах регулирования скорости вращения вала или быстрому, практически мгновенному изменению нагрузки.

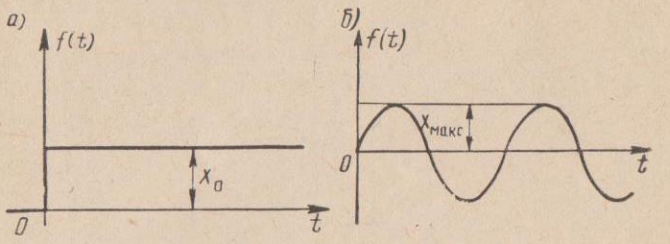


Рис. 37. Типовые возмущения

Внешнее возмущение в общем случае может иметь и произвольный характер (рис. 37, *б*). Такого рода возмущения бывают, например, при работе судовых энергетических установок в условиях качки.

Процесс изменения регулируемых величин в зависимости от времени в результате возмущающих воздействий на САРУ носит название переходного. Характеристики поведения системы в переходном процессе называются динамическими, переходными или временными.

Возможны следующие типы переходных процессов (рис. 38):

при возникновении скачкообразного возмущения система приходит в движение и по истечении некоторого времени переходит из одного установившегося состояния в другое. В первом случае регулируемая величина равнялась X_1, во втором — X_2 (см. рис. 38, *а*);

переходный процесс имеет вид затухающих колебаний, и система при новом установившемся состоянии будет поддерживать новое значение регулируемой величины — X (см. рис. 38, *б*);

после возникновения возмущения значение регулируемой величины непрерывно возрастает, и система не приходит к новому установившемуся состоянию (см. рис. 38, *в*);

регулируемая величина все время изменяется с постоянной амплитудой и частотой (см. рис. 38, *г*);

возможен случай, когда системы, выведенные из установившегося состояния, приходят в колебательное движение со все возрастающей амплитудой около значения регулируемой величины (см. рис. 38, *д*).

Из рис. 38 видно, что в первых двух случаях системы через некоторое время приходят к новому установившемуся значению — такие системы называются устойчивыми. Остальные системы являются неустойчивыми. Понятно, что неустойчивые системы не могут получить практического применения. Устойчивость и не-

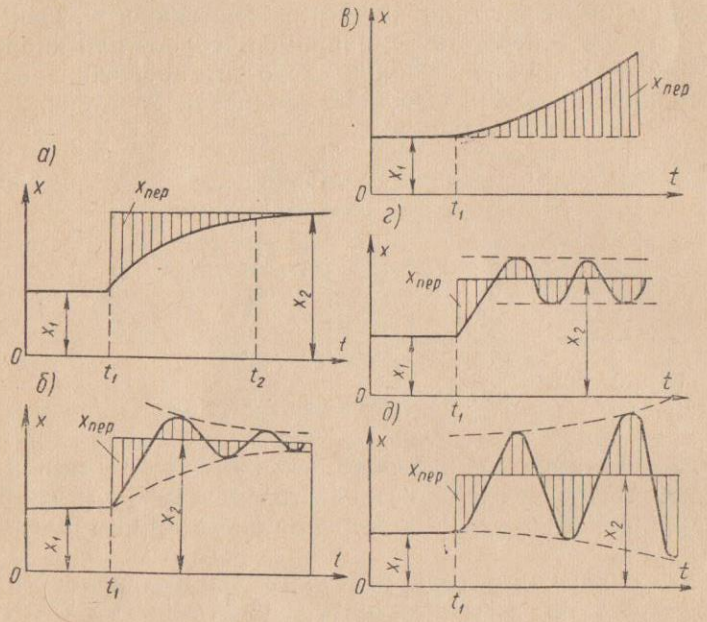


Рис. 38. Типичные кривые переходных процессов САРУ

устойчивость системы проявляется при нарушении ее равновесия, т. е. в переходных режимах. Вот почему изучению переходных режимов в САРУ и уделяется основное внимание.

Характер переходного процесса в САРУ показывает, насколько хорошо данная система удовлетворяет требованиям нормальной эксплуатации объекта. Удовлетворению этих требований и подчинена задача выбора основных параметров САРУ. Под параметрами САРУ понимаются передаточные числа, коэффициенты усиления, момент инерции, индуктивность, емкость, сопротивление цепи электрического тока и другие данные основных ее элементов.

От правильного выбора параметров САРУ во многом зависит форма кривой переходного процесса (рис. 39) и время переходного процесса $t_п$, т. е. время, в течение которого САРУ после возмущения приходит в новое установившееся состояние. Время $t_п$ — основная динамическая характеристика системы.

В каждом регуляторе перемещению его звеньев противодействуют различные силы, например, силы трения, силы инерции и т. д. Поэтому регулятор начинает действовать после того, как регули-

руемая величина уже претерпит некоторое изменение. Чем больше нечувствительность регулятора, тем большее значение приобретает начальное рассогласование между заданным и текущим значениями регулируемой величины. Для быстрого устранения такого рассогласования необходима достаточно высокая скорость процесса регулирования.

Однако высокая скорость процесса регулирования может привести к отклонению регулируемой величины в сторону изменения ее от заданного значения. Такое отклонение называется забросом или перерегулированием.

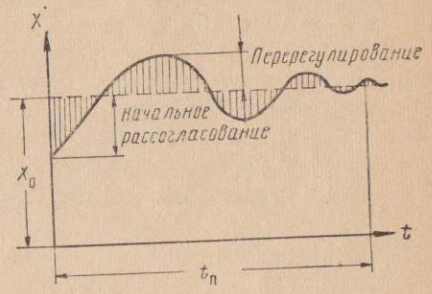


Рис. 39. График переходного процесса САРУ

Если в астатических системах при новом установившемся состоянии регулятор точно поддерживает новое номинальное значение регулируемой величины, то в статических системах новое значение регулируемой величины поддерживается с определенной степенью точности. Отклонения фактического значения регулируемой величины X от установившегося значения X_0 представляют собой переходную динамическую ошибку. В конце переходного процесса регулируемая величина X также будет незначительно отличаться от X_0. Разность $X—X_0$ в конце переходного процесса называется установившейся динамической ошибкой системы.

§ 15. ПОНЯТИЕ О ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ САРУ

Определить динамические свойства САРУ при любых возмущающих воздействиях можно по так называемым частотным характеристикам системы.

Частотные характеристики строят следующим образом. На вход системы подаются синусоидальные колебания

$$X_{вх} = a \cdot \sin \omega t ,$$

где a — амплитуда возмущающего воздействия;

ω — угловая частота.

На выходе системы в этом случае будут наблюдаться также синусоидальные колебания регулируемой величины, но с другой амплитудой A и отставанием по фазе B, т. е.

$$X_{вых} = A \cdot \sin(\omega t + B) .$$

Ясно, что при подаче на вход системы синусоидальных колебаний с различными частотами ω_1, ω_2, ω_3 и т. д. мы каждый раз будем

получать на выходе системы тоже синусоидальные колебания, но с различной амплитудой A и различным сдвигом по фазе B. Усиление амплитуды выходных колебаний $A_1 = \frac{A}{a}$ и сдвиг по фазе B будут находиться в определенной зависимости от подаваемых на вход системы частот ω_1, ω_2, ω_3 и т. д. Зависимость между указанными величинами можно изобразить в виде графика (рис. 40). Из рисунка видно, что при $\omega = \infty$ усиление амплитуды A_1 будет равно нулю, а сдвиг по фазе достигнет своего максимального значения. Такие характеристики переходного процесса называются частотными.

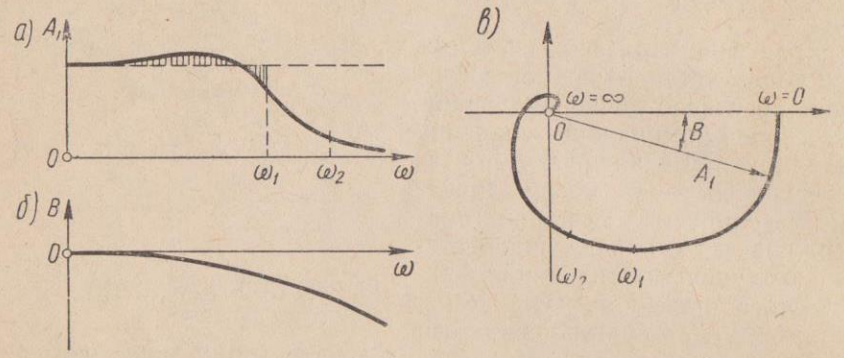


Рис. 40. Частотные характеристики САРУ

Для упрощения исследований часто эти две характеристики — амплитудную (рис. 40, *а*) и фазовую (рис. 40, *б*) — объединяют в одну.

Объединенная характеристика переходного процесса (рис. 40, *в*) строится следующим образом. От горизонтальной оси под соответствующими углами к ней, равными сдвигу по фазе B, проводят линии, равные по величине усилению амплитуды A_1. Кривая линия, соединяющая концы A_1, называется амплитудно-фазовой характеристикой системы.

При рассмотрении частотных характеристик, изображенных на рис. 40, можно сделать вывод, что в идеальных условиях необходимо иметь такой регулятор, чтобы амплитуды колебаний его на входе и выходе системы были одинаковыми, т. е. $a = A$ и $A_1 = 1$, а сдвиг по фазе B равнялся нулю.

Если усиление амплитуды больше или меньше единицы, то система будет работать в установившемся режиме с определенной ошибкой (см. рис. 40, *а*).

По частотным характеристикам, приведенным на рис. 40, можно установить, что если входная величина $X_{вх}$ изменяется с любой частотой от 0 до ω_1, то она на выходе системы при установившемся режиме будет воспроизводиться с определенной ошибкой. При изменении входной величины в пределах частот ω_1 и ω_2 входная

величина плохо воспроизводится на выходе, а колебания на входе с частотами выше ω_2 вообще не изменяют выходной величины.

Таким образом, по частотным характеристикам определяют устойчивость системы, а также устанавливают, при каких условиях система может поддерживать регулируемые величины в заданных пределах.

§ 16. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Практическая пригодность автоматических систем в первую очередь определяется их устойчивостью и качеством регулирования. Определение устойчивости переходного процесса САРУ — одна из важнейших задач их исследования, так как неустойчивая система практически не может быть использована. Если система неустойчива, то предъявлять к ней какие-либо другие требования не имеет смысла.

Под устойчивостью понимается свойство автоматической системы возвращаться к установившемуся состоянию после прекращения действия возмущения, которое вывело ее из этого состояния. Так как практически построить автоматическую систему, абсолютно точно выполняющую свои функциональные задачи при всех условиях, невозможно, то, очевидно, в этом случае речь может идти только о большей или меньшей точности выполнения функциональных задач.

О характере поведения системы в переходном процессе можно было бы судить при получении решения уравнения системы. В этом случае был бы получен ответ не только на вопрос, устойчива ли система, но и каковы показатели качества ее работы.

Однако решение уравнений системы даже третьей степени приводит к довольно сложным математическим вычислениям, а решение уравнений более высокого порядка в общем случае слишком затруднительно.

В связи со сложностью решения уравнений высокого порядка (выше квадратного) устойчивость САРУ определяют, не прибегая к решению этих уравнений, по так называемым критериям устойчивости.

Каждая автоматическая система при ее нормальной работе, кроме устойчивости, должна обладать и определенными качественными показателями. Под основными качественными показателями системы понимаются:

а) автоматическая точность регулирования, т. е. установившаяся статическая ошибка системы при изменении внешних возмущений;

б) время регулирования, т. е. время, в течение которого заканчивается переходный процесс. Этот процесс считается законченным, если отклонение регулируемой величины не превышает нового установившегося значения на $\pm 5\%$;

в) перерегулирование, т. е. максимальное отклонение регулируемой величины от нового установившегося значения;

г) колебательность системы, характеризующаяся числом колебаний в течение переходного процесса.

Несмотря на различие физических процессов, поведение многих звеньев системы в переходных процессах описывается одними и теми же уравнениями. Следовательно, любую электрическую и неэлектрическую систему можно представить в виде электрического контура и вычисление свести к построению электрической модели звена или системы в целом. При этом модель системы в соответствующем масштабе будет отражать реальный процесс САРУ.

Можно построить также гидравлическую или пневматическую модель тех или иных физических явлений.

Однако метод аналогии, несмотря на его наглядность, не получил широкого распространения вследствие относительной сложности построения моделирующих систему элементов. В последнее время значительное распространение получил метод решения (моделирования) уравнений системы с помощью электронно-вычислительных машин.

Использование электронно-вычислительных машин значительно облегчает анализ динамических свойств САРУ. Метод замены реальной системы соответствующей электронной моделью значительно ускоряет анализ автоматических систем и позволяет определить оптимальные значения их параметров.

Физическая сущность перечисленных методов исследования динамических свойств автоматических систем здесь не предусматривается, так как для этого необходимо знание сложного математического аппарата.

Глава V. ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

§ 17. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕНЬЕВ САРУ

Для изучения характера переходных процессов автоматические системы расчленяют на простейшие составные части (звенья), имеющие вполне определенные динамические свойства.

Все звенья САРУ, независимо от назначения, конструкции и принципа действия, по характеру переходных процессов, происходящих в них, можно разделить на следующие основные типы: пропорциональные, апериодические, колебательные, интегрирующие и дифференцирующие. В основу классификации звеньев положена зависимость, связывающая входные и выходные величины звена в переходном процессе при скачкообразном изменении входной величины. При этом считается, что до возмущения входная и выходная величины в звене равнялись нулю.

Пропорциональными называются такие звенья, у которых величина на выходе изменяется пропорционально величине на входе. Иногда пропорциональные звенья называют также усилительными, безынерционными, идеальными или звеньями нулевого порядка.

В пропорциональном звене (рис. 41) изменение входной величины мгновенно передается на выход звена с некоторым усилением. Зависимость между входной и выходной величинами в этом случае описывается простейшим алгебраическим уравнением

$$X_{вых} = kX_{вх},$$

где k — коэффициент усиления (преобразовательный коэффициент) звена.

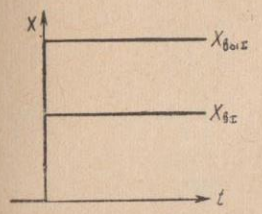


Рис. 41. Переходная характеристика пропорционального звена

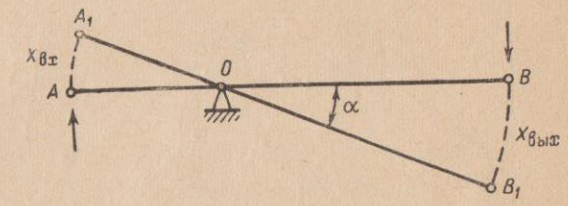


Рис. 42. Пропорциональное звено

Такая зависимость называется переходной функцией звена.

Зависимость между входной и выходной величинами может изображаться и в виде дроби $\frac{X_{вых}}{X_{вх}} = W$. Такая зависимость называется передаточной функцией звена.

К пропорциональным относятся звенья, выполненные в виде рычага, электронного усилителя, механической передачи, а также преобразователя механических перемещений в электрические напряжения с помощью реостатов.

Передаточная функция такого звена имеет определенный физический смысл. Например, для пропорционального звена, выполненного в виде рычага (рис. 42),

$$\frac{X_{вых}}{X_{вх}} = \frac{\smile BB_1}{\smile AA_1},$$

или

$$\frac{X_{вых}}{X_{вх}} = k = \frac{OB}{OA} \cdot \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha} = \frac{OB}{OA},$$

т. е. передаточная функция равна отношению плеч рычага.

Звенья, в которых при скачкообразном изменении величины на входе величина на выходе постепенно стремится к новому установившемуся значению, называются устойчивыми апериоди-

ческими. Их называют также инерционными, статическими, одноемкостными или звеньями первого порядка.

К апериодическим звеньям относятся магнитные усилители, термопары, контуры из активных сопротивлений R с емкостью C или индуктивностью L, электрические генераторы постоянного тока с независимым возбуждением (без учета индуктивности цепи якоря) и т. п.

Переходная характеристика апериодического звена показана на рис. 43.

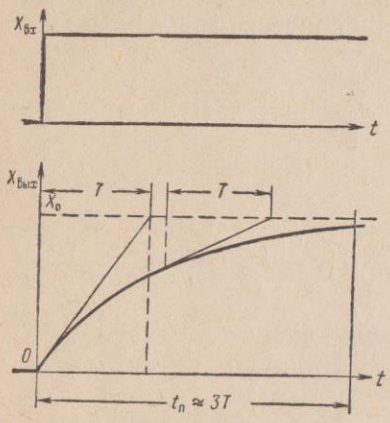


Рис. 43. Переходная характеристика апериодического звена

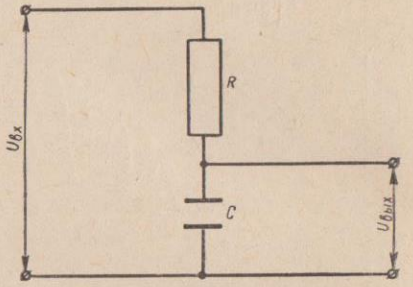


Рис. 44. Апериодическое звено

Математически эта кривая описывается формулой

$$X_{вых} = X_0\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right),$$

где T — постоянная времени переходного процесса;

X_0 — установившееся значение выходной величины.

Постоянная времени T имеет определенный геометрический смысл. Она определяется на графике переходной характеристики апериодического звена, как величина проекции касательной на линию установившегося значения регулируемой величины X_0.

Таким образом, имея из опыта переходную характеристику звена, можно определить его постоянную времени T, наоборот, если известны постоянная времени звена и коэффициент усиления k, то по ним можно построить переходную характеристику звена.

Длительность переходного процесса в апериодическом звене, как это видно из рис. 43, будет $t_п \approx 3T$ *сек*. Следовательно, определив величину T, можно сразу же установить в данном случае и $t_п$.

Постоянная времени переходного процесса T имеет также и определенный физический смысл. Например, для апериодического звена, представляющего собой цепь постоянного тока с активным сопротивлением и емкостью (рис. 44)

$$T = RC.$$

Звено, в котором при скачкообразном изменении величины на входе величина на выходе стремится к новому установившемуся значению, совершая затухающие колебания, называется колебательным звеном, или звеном второго порядка.

К таким звеньям относятся грузы, подвешенные на пружинах, центробежные механизмы, а также колебательные контуры, состоящие из активного, индуктивного и емкостного сопротивлений, электродвигатели постоянного тока независимого возбуждения и т. п.

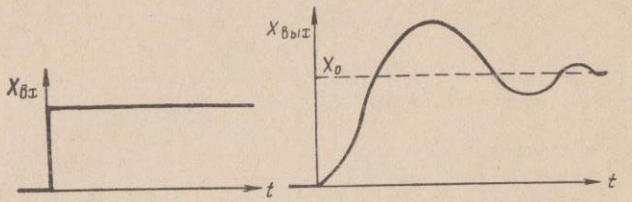


Рис. 45. Переходная характеристика колебательного звена

Переходная характеристика колебательного звена изображена на рис. 45. Формула для переходной характеристики колебательного звена будет иметь вид:

$$X_{вых} = X_0\left[1 - e^{-\frac{t}{T}}\left(\cos\omega t + \frac{1}{Tw}\sin\omega t\right)\right].$$

Звено, в котором скорость изменения величины на выходе пропорциональна времени, прошедшему после подачи сигнала на входе звена, называется интегрирующим. Характер переходного процесса в интегрирующем звене показан на рис. 46.

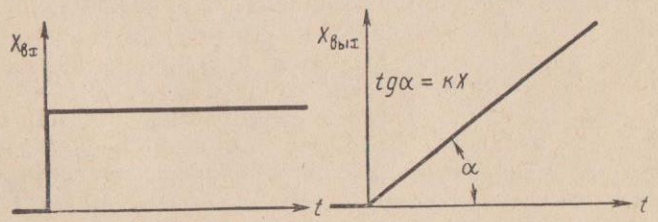


Рис. 46. Переходная характеристика интегрирующего звена

К интегрирующим звеньям относятся, например, гидравлические поршневые механизмы, у которых массой подвижных частей и силами трения можно пренебречь.

Математически кривая переходного процесса интегрирующего звена описывается уравнением

$$X_{вых} = t \cdot \mathrm{td}\alpha.$$

Звено, в котором величина на выходе после первоначального изменения постоянно снижается до нуля, называется реальным дифференцирующим звеном. Его иногда называют также импульсным звеном второго порядка.

К таким звеньям относятся гидравлические успокоители — катаракты (поршни с пружиной и дроссельным клапаном), стабилизирующий трансформатор и т. п.

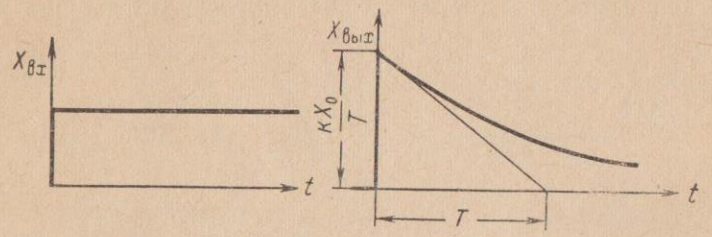


Рис. 47. Переходная характеристика дифференцирующего звена

Переходная характеристика дифференцирующего звена показана на рис. 47 и описывается формулой

$$X_{вых} = \frac{kX_0}{T} e^{-\frac{t}{T}}.$$

§ 18. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В зависимости от характера переходного процесса рассмотренные звенья структурно изображаются в виде прямоугольника, слева от которого указывается направление входной величины, а справа — направление выходной величины. Внутри прямоугольника изображается характер изменения выходной величины в зависимости от времени при подаче на вход звена скачкообразного возмущения.

Таким образом, наряду с элементной схемой, которая отражает состав системы, назначение ее элементов и направление взаимодействий между элементами, любую автоматическую систему можно изобразить в виде структурной схемы, которая отражает ее динамические свойства. Звенья в этом случае могут совпадать с элементом системы, могут объединять несколько элементов или, наоборот, быть частью одного элемента.

Составим для примера структурную схему автоматической системы регулирования числа оборотов дизеля (см. рис. 3). Такая автоматическая система включает следующие звенья. Регулируемый объект (дизель) служит апериодическим звеном, у которого входная величина определяется количеством топлива, поступающего на насосы, а выходная — числом оборотов вала. Измерительный

элемент (центробежный механизм) — колебательное звено, входная величина которого определяется скоростью вращения вала, а выходная — положением муфты. Перемещение муфты через преобразовательные элементы — рычаг и золотник (пропорциональные звенья) — преобразуется в давление жидкости на поршень гидравлического усилителя. Давление жидкости на входе усилителя (интегрирующее звено) преобразуется на выходе в перемещение поршня. Линейное перемещение поршня через рычаг и рейку (пропорциональные звенья) передается на вход топливного насоса, который изменяет подачу топлива в цилиндры дизеля. Топливный насос представляет собой интегрирующее звено.

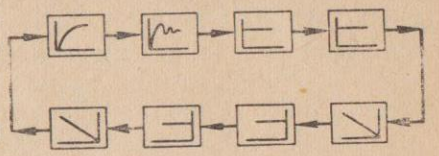


Рис. 48. Структурная схема системы автоматического регулирования числа оборотов дизеля

Структурная схема указанной автоматической системы, состоящая из восьми звеньев, показана на рис. 48. Все звенья в такой системе включены последовательно, т. е. выход, например, первого звена является входом второго и т. д.

В практике эксплуатации могут быть также системы с параллельным и комбинированным включением звеньев. По структурным схемам САРУ и передаточным функциям ее отдельных звеньев путем ряда математических преобразований можно определить передаточную функцию системы в целом, т. е. установить характер поведения системы в переходном процессе или, как принято говорить, составить уравнение движения системы.

Глава VI. СРЕДСТВА УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

§ 19. МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Улучшение качественных показателей работы САРУ заключается в уменьшении ее статической и динамической ошибки и времени переходного процесса.

Повышения статической точности САРУ можно достигнуть путем увеличения общего коэффициента усиления. В ряде случаев удается подобрать такой общий коэффициент усиления, при котором статическая ошибка, время переходного процесса и колебательность системы не превышают допустимых пределов.

Однако возможность увеличения общего коэффициента усиления САРУ всегда ограничена, так как при больших коэффициентах усиления могут появиться нежелательные колебания регулируемых

величин в переходных процессах и даже неустойчивость системы. Иногда конструкция САРУ исключает возможность увеличения ее общего коэффициента усиления.

Второй путь повышения статической точности систем — изменение их структурной схемы таким образом, чтобы регулятор работал как астатический, т. е. без статической ошибки.

Как влияет структурная схема регулятора на статическую точность системы, покажем на примере регулятора числа оборотов дизеля (см. рис. 3). Если исключить из этой схемы золотник и поршневой гидравлический двигатель и заменить их жесткой связью, например, тягой, то, как видно из рисунка, при установившихся режимах работы каждому значению регулируемого параметра ω соответствовало бы единственное, вполне определенное положение рейки топливного насоса. Ясно, что такой регулятор был бы проще по конструкции, но работал бы как статический, т. е. с определенной статической ошибкой, и характеристика его имела бы вид, изображенный на рис. 34. Для устранения статической ошибки в схему регулятора вместо жесткой связи (тяги) включили золотник и гидравлический двигатель, как показано на рис. 3. При такой структурной схеме регулятор работает как астатический и его характеристика показана на рис. 36.

Действительно, установившийся режим работы системы возможен только при неподвижном поршне гидравлического двигателя, когда окна золотника *4* перекрыты. Такое положение золотника может быть только при одном строго определенном положении муфты *2* измерительного элемента, т. е. при определенном значении регулируемого параметра ω. Но поршень *6* гидравлического двигателя может занимать любое положение в момент перекрытия окон золотника, следовательно, и рейка топливного насоса в установившихся режимах может занимать различные положения в зависимости от того, какая подача топлива необходима для дизеля при изменении его нагрузки. Такой регулятор улучшает статические свойства системы и несколько ухудшает ее динамические свойства.

Однако, как указывалось выше, качественные показатели работы системы определяются не только их статической точностью, но и, что особенно важно, характером переходных процессов. Улучшить качество переходных процессов (динамические характеристики САРУ) можно путем изменения параметров регулируемого объекта и регулятора. Такой путь связан с большими затратами на модернизацию системы и не всегда оправдан. Чаще всего для корректирования динамических характеристик систем в них вводят дополнительные пропорциональные, дифференцирующие или интегрирующие звенья, называемые корректирующими.

По способу включения в систему корректирующие устройства подразделяются на два типа: последовательные и параллельные.

Последовательные корректирующие устройства включаются последовательно в контур регулирования.

Параллельные корректирующие устройства, называемые дополнительными обратными связями, включаются параллельно одному или нескольким элементам системы.

§ 20. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Поясним, как можно улучшить динамические свойства системы на примере регулятора скорости вращения вала электродвигателя (рис. 49), представляющего собой систему непрямого действия. Из-

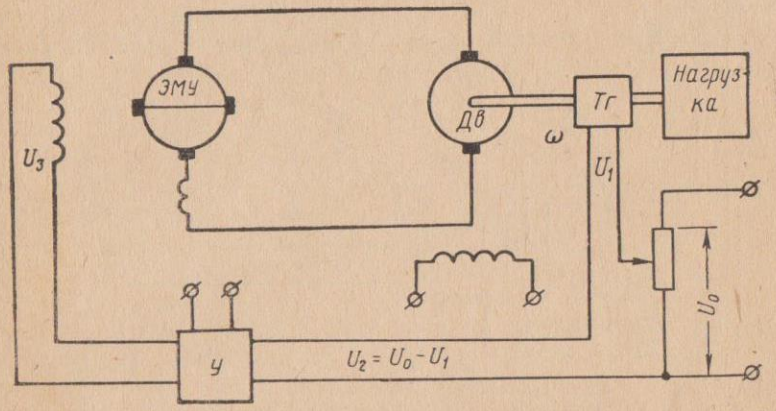


Рис. 49. Схема регулятора скорости вращения вала электродвигателя

мерительным элементом системы служит тахогенератор *Тг* (электрический тахометр), вырабатывающий напряжение U_1, пропорциональное угловой скорости вращения вала ω. На потенциометре настройки устанавливается напряжение U_0, соответствующее требуемому значению угловой скорости ω.

Рассогласование $U_2 = U_0 - U_1$ подается через предварительный электронный усилитель *У* в виде сигнала U_3 на ЭМУ, а последний в соответствии с поступающим в его обмотку возбуждения сигналом изменяет ток в цепи якоря электродвигателя *Дв*. Величина тока в цепи якоря будет регулирующим воздействием, которое ликвидирует создавшееся отклонение угловой скорости ω от заданного значения ω_0 (для увеличения общего коэффициента усиления с целью повышения статической точности системы в схему регулятора включено два усилителя). При большом коэффициенте усиления системы колебания могут постепенно нарастать и возможен даже случай, когда автоматическая система будет неустойчивой.

Рассмотрим принцип работы такого регулятора с вводом в его схему последовательного корректирующего устройства, состоящего из двух сопротивлений и емкости (рис. 50). Такое устройство в автоматике называется корректирующим четырехполюсником.

Так же как и в рассмотренной выше схеме, в зависимости от числа оборотов электродвигателя тахогенератор $Тг$ как измерительный элемент системы вырабатывает соответствующее напряжение U_1. Напряжение на выходе из тахогенератора сравнивается с заданным напряжением U_0 настройки и при рассогласовании на вход усилителя будет подаваться напряжение $U_2 = U_0 - U_1$.

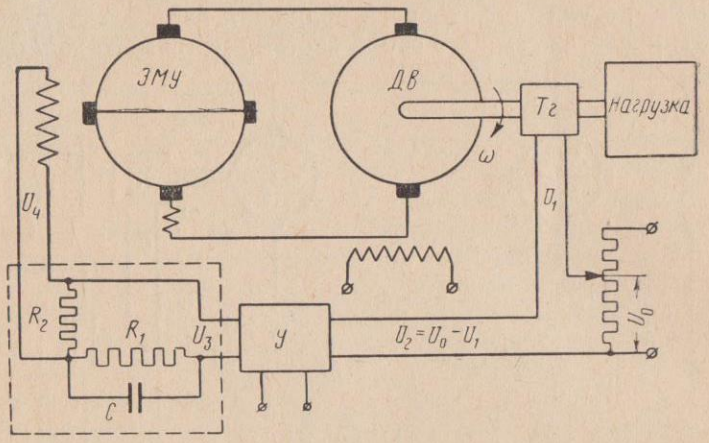


Рис. 50. Астатический регулятор скорости электродвигателя с корректирующим четырехполюсником

Напряжение U_2, увеличенное в усилителе $У$ до значения U_3, воспринимается затем корректирующим устройством, показанным на рисунке пунктиром. Отличительной особенностью такого устройства является его свойство создавать на выходе напряжение U_4, равное сумме двух слагаемых, первое из которых пропорционально абсолютному отклонению регулируемой величины, а второе — скорости отклонения этой величины.

Усиленное напряжение U_4 подается в обмотку возбуждения ЭМУ, вследствие чего изменяются ток в цепи якоря электродвигателя и число его оборотов.

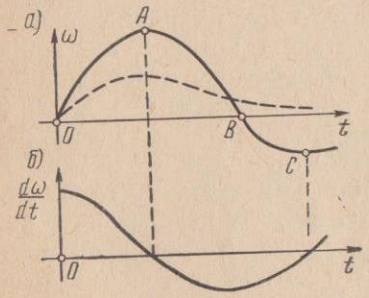


Рис. 51. График переходного процесса системы с корректирующим четырехполюсником

Если бы данный регулятор реагировал только на абсолютное отклонение регулируемой величины ω, то кривая переходного процесса имела бы вид, изображенный на рис. 51, *а* сплошной линией, т. е. на участке OAB регулятор вырабатывал бы такой ток в цепи якоря электродвигателя, который бы уменьшал отклонение регулируемой величины.

В определенный момент (точка B) электродвигатель достигает заданного числа оборотов, однако система продолжает действовать по инерции и число оборотов двигателя может, например, уменьшиться на определенную величину от заданного значения. Регулятор переключается на действие в обратном направлении и т. д.

Таким образом, в зависимости от инерционных свойств автоматическая система совершит несколько колебаний, прежде чем достигнет заданного значения регулируемой величины. Отметим, что колебательность системы в переходном процессе будет тем больше, чем больше ее коэффициент усиления.

Если регулятор оказывает дополнительное воздействие на объект автоматизации в зависимости от скорости отклонения регулируемой величины ω (рис. 51, *б*), чувствительность автоматической системы возрастает и регулятор даже при минимальных отклонениях ω от заданного значения начинает воздействовать на электродвигатель. Получив сигнал об увеличении скорости изменения числа оборотов, корректирующее устройство будет форсировать действие регулятора на участке возрастания отклонения ω от заданного значения и, наоборот, тормозить действие регулятора на участке AB, когда уменьшается величина отклонения ω от заданного значения.

Отсюда можно сделать вывод, что при последовательном включении корректирующего устройства, показанного на рис. 50, регулятор приобретает способность «предвидеть» развитие переходного процесса и работает с опережением, т. е. при увеличении отклонения регулируемой величины ω стремится форсировать процесс регулирования, а при уменьшении отклонения ω замедляет действие системы.

Кривая переходного процесса в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 51, *а* пунктирной линией. Следовательно, данная автоматическая система с введением в нее корректирующего четырехполюсника быстрее приходит к установившемуся состоянию, с меньшей колебательностью и меньшими отклонениями регулируемой величины от заданного значения.

§ 21. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Для улучшения качества процесса регулирования в автоматические системы обычно вводят параллельные корректирующие устройства.

При положительной обратной связи сигнал, вводимый ею на вход элемента системы, имеет тот же знак, что и сигнал, поступающий в этот элемент по основной цепи. При отрицательной обратной связи сигнал, вводимый ею на вход элемента системы, имеет знак, противоположный знаку сигнала, поступающего в этот элемент по основной цепи (рис. 52).

В первом случае основной сигнал $X_{вх}$ и сигнал, поступающий от обратной связи $X_{о.с}$, складываются на входе элемента, во втором случае — вычитаются.

Положительная обратная связь обычно применяется для увеличения коэффициента усиления того или иного звена системы, а это приводит к увеличению колебаний в системе и при определенных условиях — к неустойчивости. Поэтому за редким исключением положительные обратные связи не получили широкого применения. В дальнейшем, говоря о параллельных корректирующих устройствах, мы будем иметь в виду только отрицательные обратные связи.

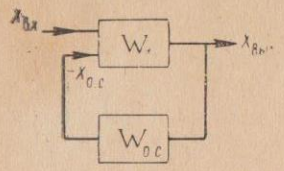


Рис. 52. Схема включения отрицательной обратной связи

По своей структуре отрицательные обратные связи могут быть жесткими, гибкими и комбинированными.

Жесткими называются такие обратные связи, в которых сигнал $X_{о.с}$ пропорционален абсолютному значению выходной величины элемента, включенного параллельно.

Принцип действия таких связей рассмотрим на примере автоматического регулирования числа оборотов дизеля (рис. 53). В качестве жесткой обратной связи здесь используется рычаг *4*, один конец которого шарнирно соединен со штоком поршня *3*, а второй — с подвижной втулкой *5* золотника.

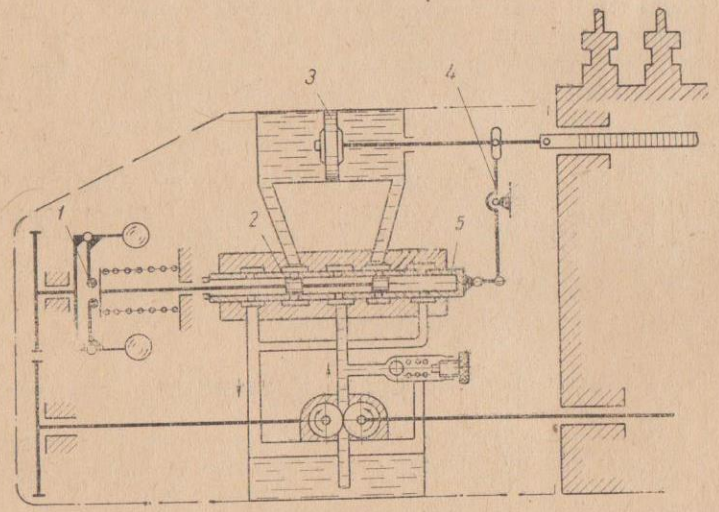


Рис. 53. Автоматический регулятор числа оборотов дизеля с жесткой обратной связью

При рассмотрении методов улучшения качества процессов регулирования в § 19 мы отмечали, что в аналогичном регуляторе без жесткой обратной связи (см. рис. 3) при установившихся режимах работы заданному значению регулируемого параметра ω соответствовало вполне определенное положение муфты измерительного элемента, т. е. система работала как астатическая.

Проследим, как будет себя вести подобный регулятор без жесткой обратной связи в переходном процессе. Предположим, что нагрузка на дизель в момент t_1 скачкообразно уменьшилась с Q_1 до Q_2 (рис. 54, *а*). Скорость вращения вала двигателя резко увеличится (рис. 54, *б*, кривая *AB*). Регулятор начнет уменьшать угловую скорость до заданного значения ω_0. Когда скорость вала достигнет значения ω_0, золотник перекроет каналы, через которые масло поступает в полости гидродвигателя, и поршень остановится. Однако

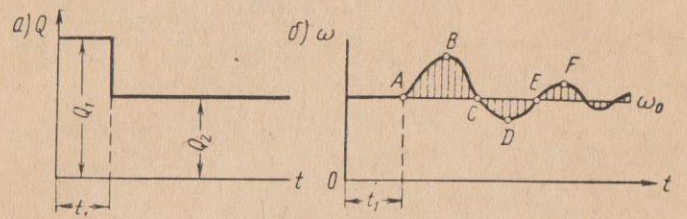


Рис. 54. График переходного процесса системы без жесткой обратной связи

остановка поршня в момент достижения валом скорости вращения ω_0 может оказаться поздней, так как вследствие инерционности системы регулирования скорость будет уменьшаться и дальше (кривая *CD*).

При уменьшении скорости ниже ω_0 измерительный элемент переместит золотник вверх (см. рис. 3), масло поступит в верхнюю полость гидродвигателя, поршень *6* сместится вниз, рейка топливного насоса переместится в сторону увеличения подачи топлива и двигатель снова начнет набирать обороты (кривая *DE*). Таким образом система придет к установившемуся значению после длительных затухающих колебаний.

Уменьшить перерегулирование, а следовательно, и время переходного процесса, можно только в результате предварительного отключения исполнительного элемента системы на участке *BC*. Жесткая обратная связь как раз и играет роль предварительного выключателя исполнительного элемента.

Рассмотрим теперь характер протекания переходного процесса в системе с жесткой обратной связью (см. рис. 53). При внезапном уменьшении нагрузки скорость вала увеличится, центробежный измерительный элемент *1* переместит золотник *2* вправо и последний откроет окно для подачи масла в правую полость гидродвигателя, поршень *3* которого, перемещаясь влево, уменьшит подачу топлива к дизелю. Скорость вращения вала начнет уменьшаться. Одновременно с перемещением поршня влево произойдет и поворот верхнего плеча рычага *4* влево. Нижнее же плечо рычага, смещаясь вправо, начнет перемещать втулку *5* золотника вправо. Последняя будет постепенно прикрывать канал золотника, через который масло поступает в правую полость гидродвигателя.

Следует также указать, что с уменьшением скорости вращения и золотник *2* будет постепенно перекрывать правый маслоподводящий канал. Наконец, в какой-то момент t_2 правый канал перекроется полностью. В связи с этим отключение исполнительного элемента произойдет не в точке *C*, а несколько раньше, в точке *N* (рис. 55).

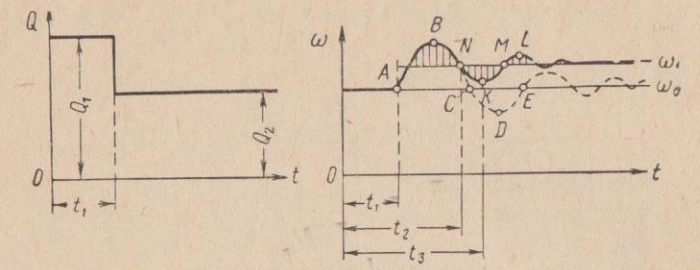


Рис. 55. График переходного процесса в системе с жесткой обратной связью

Однако даже при полном перекрытии правого маслоподводящего канала поршень еще некоторое время под давлением поступившего в его правую полость масла будет перемещаться влево, уменьшая скорость вращения вала. Это приведет к дополнительному смещению втулки *5* (см. рис. 53) вправо, а золотника *2* влево. В момент времени t_3 с напорной магистралью масляного насоса сообщится левый маслоподводящий канал. Давление масла в левой полости гидродвигателя начнет увеличиваться, и поршень *3* получит импульс для движения в обратную сторону (вправо). На графике переходного процесса этот момент соответствует точке *K*. Далее процесс будет протекать в обратном направлении, по линии *KML*, в сторону увеличения скорости вращения вала двигателя. Около точки *L* перекроется левый маслоподводящий канал. Система будет работать в сторону уменьшения ω и т. д.

Новый установившийся режим работы дизеля наступит в тот момент, когда оба канала золотника будут перекрыты; при этом угловая скорость вала ω_1 будет несколько отличаться от заданного значения ω_0, т. е. система будет работать со статической ошибкой $\omega_1 - \omega_0$.

На рис. 55 пунктирной линией показан график переходного процесса аналогичной системы, но без жесткой обратной связи. Из сравнения этих графиков видно, что ввод в систему жесткой обратной связи приводит к более быстрому затуханию переходного процесса, т. е. к увеличению устойчивости системы в переходных режимах и уменьшению времени регулирования; при этом жесткая обратная связь превращает астатическую систему регулирования в статическую. С вводом жесткой обратной связи повышается чувствительность системы, что очень важно даже при наличии определенной статической ошибки.

Повысить устойчивость системы и ликвидировать ее статическую ошибку можно с помощью введения в регулятор гибкой обратной связи. Такие связи реагируют не на абсолютное отклонение выходной величины, как жесткие обратные связи, а на скорость отклонения $X_{вых}$, т. е.

$$X_{о.с} = k\frac{dX_{вых}}{dt},$$

где $X_{о.с}$ — сигнал обратной связи;
k — преобразовательный коэффициент, или коэффициент усиления связи;
$\frac{dX_{вых}}{dt}$ — скорость изменения выходной величины.

При гибких обратных связях регулирующий орган системы может занимать различные положения в установившихся режимах, обеспечивая постоянное значение регулируемой величины.

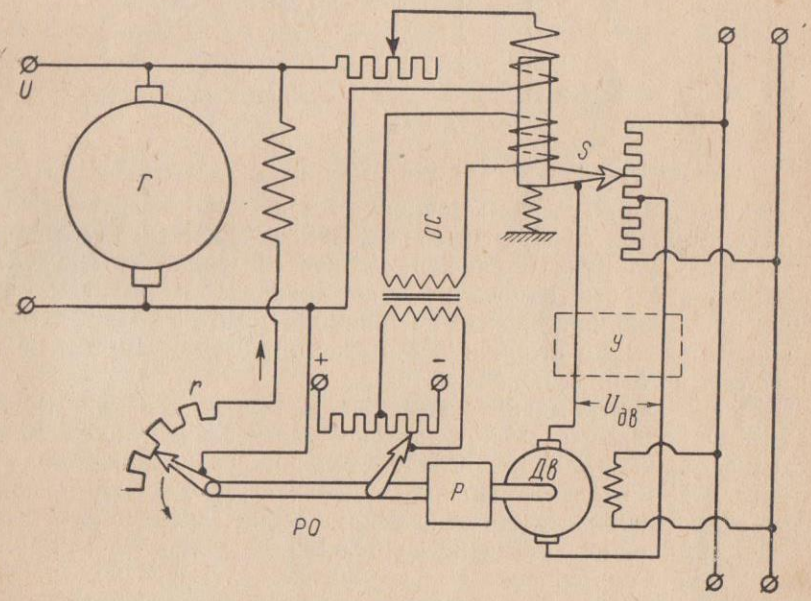


Рис. 56. Автоматическая система регулирования напряжения генератора

Эффект действия гибкой обратной связи рассмотрим на примере автоматической системы регулирования напряжения генератора (рис. 56). В качестве гибкой обратной связи здесь используется дополнительная цепь электромагнита, включенная во вторичную обмотку трансформатора.

При установившемся режиме работы системы движок измерительного элемента S неподвижен, двигатель *Дв* не работает, напряжение, подводимое к первичной обмотке трансформатора, постоянно и во вторичной обмотке его не наводится э. д. с.

В установившихся режимах работы системы гибкая обратная связь *ОС* не действует, так как при постоянном значении напряжение в первичной обмотке трансформатора $U_{о.с}$ будет равно нулю. В этом случае работа системы ничем не отличается от работы системы без гибкой обратной связи.

Рассмотрим, как будет себя вести данная система в переходном режиме. Допустим, что в какой-то момент t_1 нагрузка на генератор *Г* резко уменьшилась (рис. 57, *а*). Напряжение генератора в этом случае увеличится на некоторую величину от заданного значения

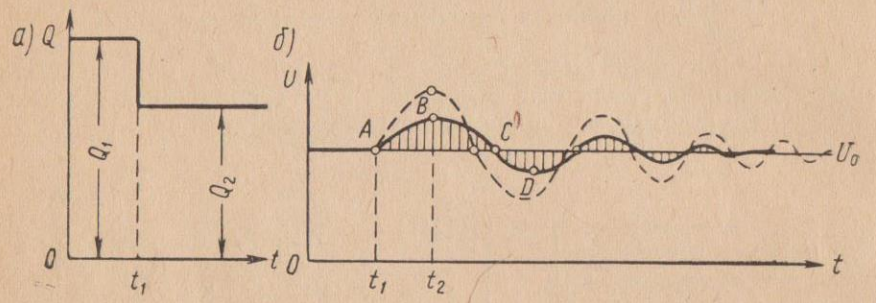


Рис. 57. График переходного процесса системы с гибкой обратной связью

U_0. Увеличится при этом напряжение и в верхней обмотке электромагнита. Движок S переместится вверх, включится двигатель *Дв* и реостат регулирующего органа *РО* через редуктор *Р* увеличит сопротивление обмотки возбуждения генератора. В этом случае изменится также напряжение в первичной обмотке трансформатора обратной связи. Во вторичной обмотке трансформатора и нижней цепи электромагнита появится ток.

Обмотки электромагнита намотаны так, что возникающее тяговое усилие дополнительной обратной связи увеличит линейное перемещение движка S вверх. Следовательно, регулирующий орган получит дополнительный сигнал от двигателя *Дв* и еще более увеличит сопротивление в обмотке возбуждения генератора. Увеличение сопротивления в обмотке возбуждения генератора приведет к уменьшению напряжения U. Следовательно, скорость возрастания напряжения генератора в момент падения нагрузки будет меньшей (рис. 57, *б*) по сравнению со скоростью в системе без гибкой обратной связи.

На рис. 57, *б* пунктирной линией показан график переходного процесса в системе без гибкой обратной связи. В точке *B* переходного процесса скорость возрастания напряжения достигнет нуля, а отклонение U от заданного значения U_0 будет максимальным. Из рисунка видно, что в системе с гибкой обратной связью первый

максимальный наброс напряжения (перерегулирование) несколько меньше по величине, чем в системе без обратной связи. С момента времени t_2 напряжение генератора начнет уменьшаться, причем скорость приближения его к заданному значению U_0 будет меньше, чем в системе без обратной связи.

По мере приближения U к заданному значению движок S начнет перемещаться вниз, однако двигатель *Дв*, получающий питание, будет продолжать работу и, следовательно, регулирующий орган будет увеличивать сопротивление в обмотке возбуждения генератора.

Процесс увеличения сопротивления в обмотке возбуждения генератора прекратится, как только движок S займет нейтральное положение и выключит двигатель *Дв*. Напряжение генератора в этот момент будет равно заданному значению U_0 и гибкая обратная связь не будет влиять на работу системы.

Однако вследствие инерционности системы напряжение генератора будет уменьшаться и дальше по линии *CD*. При уменьшении напряжения генератора движок электромагнита переместится от своего нейтрального положения вниз, включится двигатель *Дв*, который через регулирующий орган уменьшит сопротивление в обмотке возбуждения генератора, и процесс будет повторяться в обратном направлении. Гибкая обратная связь теперь будет увеличивать скорость отработки реостата регулирующего органа, уменьшая скорость изменения напряжения генератора при его падении ниже заданной величины U_0. Далее процесс регулирования происходит так же, как было описано выше.

Таким образом, гибкая обратная связь все время стремится уменьшить перерегулирование системы и точно поддерживает заданное значение регулируемой величины, т. е. ликвидирует статическую ошибку регулятора.

Из рассмотренных примеров следует, что жесткие обратные связи улучшают качество переходного процесса (снижают колебательность, уменьшают время регулирования), но не ликвидируют статической ошибки системы. Гибкие обратные связи полностью ликвидируют статическую ошибку системы и в некоторой степени снижают колебательность переходного процесса. Поэтому в САРУ получили широкое применение так называемые комбинированные обратные связи, которые сочетают преимущества жестких и гибких обратных связей. Такие связи называются также изодромными.

Рассмотрим действие изодромной обратной связи на примере ее использования в автоматическом регуляторе числа оборотов дизеля (рис. 58).

Данная система отличается от регулятора с жесткой обратной связью тем, что в нее дополнительно введен элемент гибкой обратной связи, состоящий из катаракта *4* и пружины *2*. Цилиндр катаракта жестко связан с поршнем *5* гидравлического усилителя. Рычаг *6* обратной связи, соединяющий муфту центробежного изме-

рителя и шток золотника, другим своим концом шарнирно соединен со штоком поршня *3* катаракта. С этим же штоком связана пружина *2* (пропорциональное звено), сила упругости которой может регулироваться винтом *1*. Совокупность пружины, катаракта и рычага *6* в данном случае и называется изодромом.

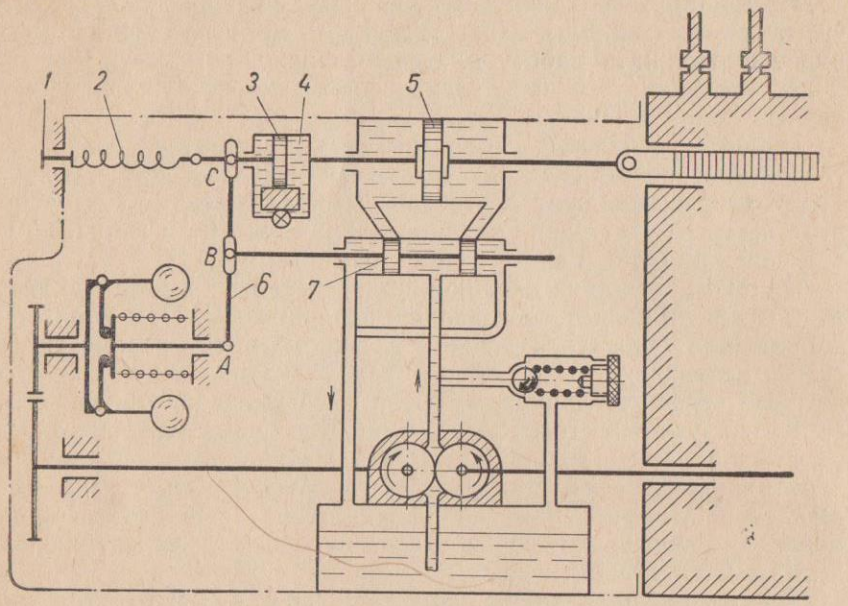


Рис. 58. Автоматический регулятор числа оборотов дизеля с изодромной обратной связью

При установившемся режиме работы все звенья системы будут находиться в положении, показанном на рис. 58. Пружина *2* в этом случае расслаблена, а точка *C* рычага *ABC* занимает определенное положение, не зависящее от положения рейки топливного насоса.

Предположим, что нагрузка на дизель в момент времени t_1 резко упала (рис. 59, *а*). Скорость вращения вала в этом случае увеличится, грузы центробежного измерительного элемента разойдутся и точка *A* рычага переместится вправо (рычаг *ABC* на рис. 58 повернется против часовой стрелки относительно неподвижной точки *C*). При этом золотник *7* тоже переместится вправо и через правый маслоподводящий канал в цилиндр гидродвигателя поступит масло. Под давлением масла поршень *5*, смещаясь влево, уменьшит подачу топлива в цилиндры дизеля. Скорость вращения вала начнет уменьшаться. Так как поршень *5* жестко связан с рейкой топливного насоса и с цилиндром катаракта *4*, одновременно с перемещением поршня будет перемещаться влево, сжимая пружину *2*, и цилиндр катаракта. В начальный момент скорость перемещения поршня *5* будет сравнительно большой и противодействие

пружины, стремящейся сохранить неизменным положение точки *C* рычага *6*, будет недостаточным. Точка *C* повернется влево относительно точки *A* (условно будем считать, что в этот момент точка *A* будет относительно неподвижной). В рассматриваемый момент поршень *3* катаракта перемещается вместе с цилиндром, так как отверстие, сообщающее правую и левую масляные полости катаракта, сравнительно мало и масло за короткий промежуток времени не может перейти из правой полости катаракта в левую.

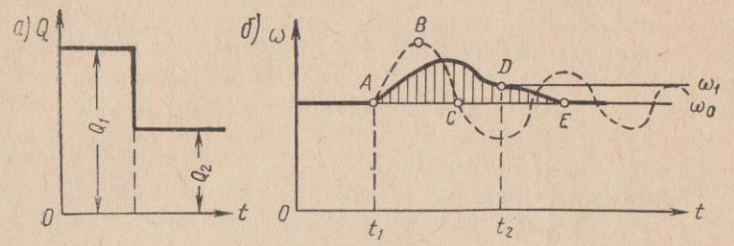


Рис. 59. График переходного процесса системы с комбинированной обратной связью

При повороте точки *C* рычага влево золотник *7* тоже начнет перемещаться влево, прикрывая правый маслоподводящий канал; скорость движения поршня *5* уменьшится. Остановка поршня *5* произойдет в тот момент, когда золотник перекроет каналы для подачи масла к гидродвигателю.

В системе без жесткой обратной связи отключение исполнительного элемента производилось в точке *C* (рис. 59, *б*), когда скорость вращения вала достигала заданного значения ω_0. В рассматриваемом регуляторе отключение исполнительного элемента произойдет в момент времени t_2, в точке *D*, при скорости вращения вала ω_1, несколько отличающейся от заданного значения. С момента времени t_2, соответствующего нейтральному положению золотника *7*, поршень *3* катаракта под действием упругих сил пружины и давления масла в левой полости (к этому времени часть масла успевает перейти в левую полость катаракта) начнет перемещаться вправо, возвращая точку *C* рычага *6* в нейтральное положение. Золотник *7* на этом этапе регулирования несколько сместится вправо, снова откроет правый маслоподводящий канал, рейка топливного насоса еще несколько уменьшит подачу топлива к дизелю и скорость вращения вала по линии *DE* будет постепенно приближаться к заданному значению ω_0.

Таким образом, процесс регулирования скорости вращения в данном случае можно условно разделить на два этапа.

На первом этапе (линия *AD*) регулирование производится так же, как и в системе с жесткой обратной связью. В этот период регулятор быстро воздействует на систему и выключает исполнительный элемент в момент t_2, когда система еще имеет статическую

ошибку $\omega_1 - \omega_0$, т. е. на первом этапе регулятор работает как статический. На втором этапе изодромная связь регулятора уничтожает статическую ошибку системы. Этот процесс регулирования с разделением его на два этапа разумеется схематичен. На самом деле в процессе восстановления системой нарушенного равновесия происходит одновременное воздействие как жесткой, так и гибкой обратных связей.

Глава VII. ДИЗЕЛЬНЫЕ СУДОВЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

§ 22. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБЪЕМУ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИЗЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Повышение экономических показателей работы, а также безопасность плавания судов в различных путевых и гидрометеорологических условиях во многом зависят от степени оснащенности их средствами комплексной автоматизации.

Комплексная автоматизация силовых установок судов позволяет:

1) отказаться от несения постоянных вахт в машинных отделениях судов;

2) организовать работу команд по совмещенным профессиям;

3) сократить штат команды и в связи с этим снизить затраты на содержание судна;

4) облегчить условия работы судовых команд и повысить производительность их труда;

5) обеспечить надежную безаварийную работу механизмов;

6) повысить уровень технической эксплуатации и в связи с этим удлинить межремонтный период и срок службы механизмов.

Уже сейчас в составе речного флота имеется много судов, оборудованных средствами автоматизации судовождения, современной радионавигационной аппаратурой, дистанционным автоматизированным управлением дизелями и другими автоматическими устройствами, с помощью которых поддерживается заданный режим работы энергетической установки судна без постоянной вахты (с обязательным осмотром машинного отделения при смене каждой вахты в рулевой рубке).

Однако специфические условия эксплуатации речных судов и некоторые конструктивные их особенности (значительная насыщенность механизмами, разветвленная сеть трубопроводов и электрических цепей) в известной мере затрудняют автоматизацию всех производственных операций на судне. Автоматизация ряда производственных процессов на судне невозможна без решения таких

проблем, как дистанционная и автоматическая подготовка аппаратов, машин и агрегатов к действию; автоматическое определение износов трущихся деталей; использование электронно-вычислительных машин для оптимального ведения процесса и т. д. С учетом особенностей устройства и условий работы элементы автоматических систем судовых энергетических установок должны иметь малый вес и габариты, отличаться надежностью действия, высокой экономичностью и длительное время работать без вмешательства обслуживающего персонала.

Конструктивное выполнение отдельных элементов автоматических систем должно отличаться простотой; настройка, ремонт и эксплуатация их должны быть также несложными. Крен, дифферент, повышенная температура и влажность воздуха в машинно-котельных отделениях не должны значительно влиять на надежность их действия.

Помимо рассмотренных общих требований, к судовой автоматике предъявляется и ряд других частных требований, например, удобство монтажа в судовых условиях, приспособленность к дистанционному управлению, пожаро- и взрывобезопасность и т. д.

Многие из перечисленных вопросов не получили еще технического решения и нуждаются в длительных конструкторских и экспериментальных проработках.

Поэтому в настоящее время на речных теплоходах автоматизации подвергаются только следующие основные операции.

По главным двигателям

1. Дистанционное автоматическое управление (ДАУ) из рулевой рубки; на небольших судах с реверс-редукторной передачей допускается неавтоматическое дистанционное управление (ДУ).

2. Автоматическое поддержание заданного температурного режима в системах охлаждения и смазки.

3. Автоматическое включение и выключение навешенных на дизели компрессоров (при минимальных и максимальных давлениях воздуха в пусковых баллонах).

4. Дистанционное автоматическое управление маслоперекачивающим насосом с независимым приводом.

5. Дистанционное автоматическое управление циркуляционными насосами с независимым приводом, включенными в системы смазки и охлаждения дизеля.

6. Аварийная автоматическая сигнализация, предупреждающая о недопустимом повышении температуры отработавших газов, воды и смазки, а также чрезмерном понижении давлений в системах смазки и охлаждения.

7. Автоматическая защита, предусматривающая снижение числа оборотов или остановку дизеля при недопустимом повышении числа оборотов, а у быстроходных дизелей также при недопустимом понижении давления в системе смазки.

По судовым электростанциям

1. Автоматическое переключение с валогенератора на дизель-генератор без нарушения питания рулевого привода, дистанционного автоматического управления, сигнальных огней, электромашинных телеграфов и независимых циркуляционных насосов главных двигателей.

2. Дистанционное управление дизель-генераторами.

3. Оборудование дизель-генераторов:

а) терморегуляторами, поддерживающими заданный температурный режим в системах охлаждения и смазки;

б) аварийной сигнализацией, предупреждающей о падении давления в системе смазки и недопустимом повышении температуры воды и масла;

в) автоматической защитой, обеспечивающей снижение числа оборотов или остановку дизеля при падении давления масла и предельном увеличении числа оборотов.

По вспомогательным котлоагрегатам

1. Автоматический пуск циркуляционных и питательных насосов утилизационных котлов одновременно с запуском главных двигателей.

2. Автоматическое зажигание топлива у автономных котлов.

3. Регулирование давления пара (в паровых котлах) и температуры воды (в водогрейных котлах) в заданных пределах.

4. Регулирование уровня воды в паровых котлах.

5. Аварийная автоматическая сигнализация, предупреждающая об обрыве топливного факела, о недопустимом снижении уровня воды в паровых котлах, об остановке циркуляционного насоса и чрезмерном повышении температуры воды в водогрейных котлах.

6. Автоматическая защита, отключающая подачу топлива при прекращении его горения и при уменьшении уровня воды в паровом котле ниже допустимых пределов.

По вспомогательным механизмам и системам

1. Автоматическое включение и выключение санитарных насосов при минимальном и максимальном давлениях в пневмоцистернах.

2. Дистанционное управление пожарным насосом из рулевой рубки и машинного отделения.

3. Автоматическое управление компрессорами с независимым приводом.

4. Автоматическое поддержание уровня и температуры в топливных цистернах.

5. Автоматическое поддержание уровня воды в теплом ящике.

6. Аварийная автоматическая сигнализация при предельных температурах в подшипниках валопровода.

7. Аварийная автоматическая сигнализация с передачей сигнала в рубку при чрезмерном повышении температуры или загазованности в машинном отделении.

8. Предупредительная аварийная сигнализация при предельных уровнях в цистернах фекальных и сточных вод.

9. Дистанционное управление буксирными лебедками (на буксирных судах мощностью 300 *л. с.* и более). Автоматическое или полуавтоматическое сцепное устройство (на толкачах всех типов и мощностей).

Рассмотреть все средства автоматики, используемые на судах речного флота, здесь невозможно. Они подробно изучаются в курсах «Устройство и эксплуатация судовых дизелей», «Судовые вспомогательные механизмы» и др.

Ниже рассматриваются только принципиальные схемы наиболее распространенных средств судовой автоматики.

§ 23. ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЛАВНЫМИ ДИЗЕЛЯМИ

Дистанционное управление должно обеспечивать на расстоянии (из рулевой рубки и с крыльев мостика или с центрального поста, находящегося в машинном отделении) пуск, изменение числа оборотов и остановку главного дизеля, а также реверсирование дизеля.

Различные типы дистанционных управлений (механические — тросиковые или рычажные, пневматические, гидравлические или электрические) практически дублируют все операции по управлению двигателем: «Стоп», «Реверс», «Пуск» и изменение числа оборотов — «Работа».

В любую дистанционную систему входят пост управления, задающий команду, исполнительный механизм (обычно находящийся на дизеле), выполняющий команду, и дистанционные передачи, связывающие пост управления с исполнительным механизмом.

Дистанционное управление из рубки, требующее от судоводителя строгого соблюдения последовательности всех операций, особенно неудобно при наличии трех или двух рукояток управления каждым двигателем, так как значительно затрудняет управление судном. Поэтому в последние годы суда речного флота начали оборудовать автоматизированными системами дистанционного управления (ДАУ). В системах ДАУ управление двигателем сведено в один орган управления (маховик или рукоятка), перемещением которого устанавливается необходимый режим работы двигателя. Так, например, для изменения работы двигателя с «Полного вперед» на «Полный назад» достаточно переместить орган управления в положение «Полный назад». Двигатель автоматически снизит обороты, остановится, произойдет реверс, затем двигатель запус-

тится и разовьет обороты до «Полного назад», т. е. система ДАУ автоматически выполнит все промежуточные операции. При этом перемещение органа управления производится без ограничения скорости. Такое управление облегчает действия судоводителя и исключает возможность неправильной последовательности операций при управлении двигателем.

В настоящее время на судах речного флота применяют гидромеханические, электромеханические и пневмомеханические системы ДАУ. Выбор типа системы ДАУ зависит от того, насколько полно удовлетворяются предъявляемые к системе требования.

Системы ДАУ должны обеспечивать:

надежность работы силовой установки при всех условиях плавания судна;

быстроту и точность выполнения любого маневра при плавном изменении числа оборотов главных двигателей;

возможность управления с нескольких постов (из рубки, с крыльев мостика и из машинного отделения);

минимальные усилия на рукоятках поста управления, доступные для одного человека при длительной работе (не более 8 *кГ*);

непрерывность действия на период, необходимый для пуска резервных источников энергии в случае выхода из строя основных;

быстрый переход (не более 10 *сек*) с ДУ или ДАУ на ручное управление из машинного отделения и обратно;

контроль работы силовой установки и автоматическую защиту ее от ненормальных режимов;

сокращение затрат по уходу, малый износ и возможность быстрого устранения возникающих дефектов силами судовой команды.

Приведенным требованиям в наибольшей степени удовлетворяют пневматические системы автоматического управления дизелями. Они наиболее просты и надежны в эксплуатации. Преимущества этих систем подтверждаются зарубежной практикой, в том числе ФРГ и США, где они получили наибольшее распространение в судовых силовых установках.

В связи с этим новые дизели для речного флота в ближайшем будущем будут выпускаться в основном с пневмомеханическим дистанционным автоматическим управлением.

Отличительная особенность пневматического ДАУ — автоматизация управления самим двигателем; все управление производится одной рукояткой или маховиком. Связь между исполнительным механизмом (постом управления на двигателе) и задающим механизмом (постом управления в рулевой рубке) при небольших расстояниях — до 30 *м* осуществляется тросиковыми дистанционными передачами, при расстояниях 30—50 *м* пневмомеханическими и при расстояниях свыше 50 *м* электромеханическими передачами.

В настоящее время уже созданы пневмомеханические системы ДАУ для основных типов главных двигателей 8ФД-36, 6С275Л, 6ФД-48 и 6ЧРП 25/34. Большинство узлов в этих системах ДАУ

унифицировано, что значительно упрощает их эксплуатацию и ремонт.

Принципиальная схема исполнительного механизма пневматической системы дистанционного автоматизированного управления двигателя 6ФД-48 показана на рис. 60.

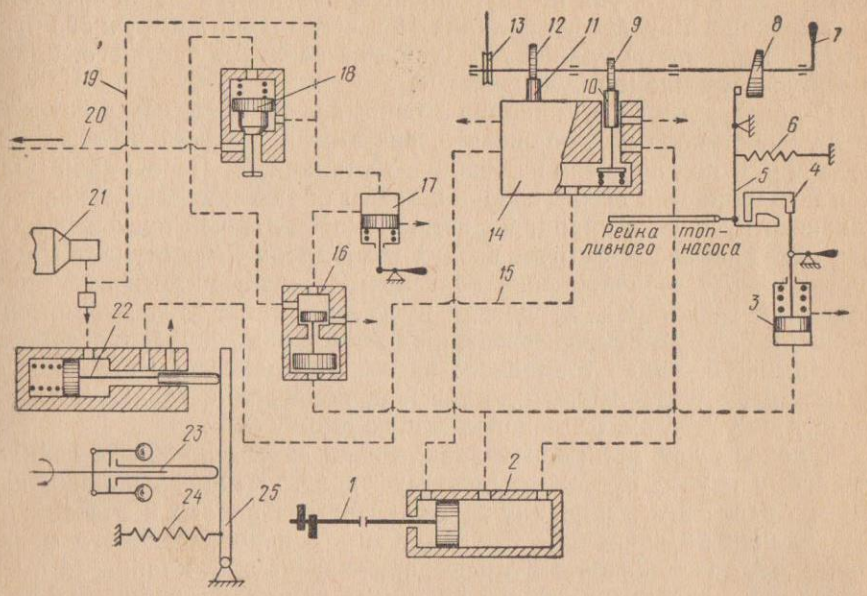


Рис. 60. Принципиальная схема пневмомеханической системы ДАУ двигателя 6ФД-48

Вместо заводского поста управления в носовой части дизеля устанавливается пульт с кулачками *9* и *12*, топливоподающей шайбой *8*, механизмом топливоподачи и защелкой *4*, а в кормовой части за маховиком монтируется пусковое реле. Из пульта выведены рукоятка управления *7* и звездочка *13* дистанционной передачи.

Пусковое реле состоит из золотникового клапана *22*, центробежной муфты *23*, толкателя *25* клапана и пружины *24*. Когда рукоятка *7* находится в положении «Стоп», клапаны реверса *10* и *11* закрыты, золотниковый клапан *22* под действием пружины *24* и толкателя *25* сдвинут в крайнее левое положение. В этом случае рейка находится в положении нулевой подачи топлива, а сжатый воздух из баллона *21* по трубопроводам *19* и *15* поступает к главному пусковому клапану *18* и клапанной коробке *14* реверса.

При переводе рукоятки *7* в положение «Назад» кулачок *9* поворачивается, открывает клапан *10* и сжатый воздух поступает в правую полость цилиндра реверса *2*, перемещая поршень вместе с распределительным валом *1* в крайнее левое положение. Одно-

временно с поворотом рукоятки *7* поворачивается на определенный угол и топливоподающая шайба *8*. Однако в момент реверса рейка топливных насосов будет находиться в положении нулевой подачи топлива, так как рычаг *5*, соединенный с рейкой защелкой *4*, застопорен. В момент реверса невозможен также пуск двигателя, так как воздух из баллона по трубопроводу *19* поступает в среднюю часть главного пускового клапана *18* и через золотник ручного пуска *17* и перекидной клапан *16* — также в верхнюю часть его. Главный пусковой клапан будет закрыт.

В конце реверса в цилиндре *2* открывается окно, через которое воздух поступает под поршень *3*, связанный с защелкой топливоподачи *4*, и под поршень перекидного клапана *16*. Перекидной клапан перемещается вверх, сообщая таким образом верхнюю полость главного пускового клапана с атмосферой. Главный пусковой клапан открывается, и сжатый воздух из баллона *21* поступает в магистраль *20* к воздухораспределительным золотникам и пусковым клапанам цилиндров, производя пуск дизеля. В этот же момент поршень *3*, перемещаясь вверх, поднимает защелку *4* и освобождает рычаг *5*. Рейка топливного насоса под действием пружины *6* будет перемещаться влево до тех пор, пока ролик верхнего плеча рычага не упрется в топливоподающую шайбу *8*.

В конце пуска при раскручивании вала дизеля до 80—90 *об/мин* рычагами грузов пускового реле муфта *23*, смещаясь вправо, повернет, растягивая, пружину *24*, толкатель *25* вправо и золотниковый клапан *22* закроется. Трубопровод *15* исполнительного механизма ДАУ сообщится с атмосферой, перекидной клапан *16* сместится вниз, главный пусковой клапан *18* закроется, поршень *3* под действием пружины подготовит защелку *4* к фиксации рейки топливного насоса в нулевом положении. Этим заканчивается процесс пуска, и двигатель продолжает работать на топливе.

Реверсирование и пуск дизеля «Вперед» производятся переводом рукоятки *7* из положения «Назад» в противоположную сторону. В этом случае при переходе рукоятки через положение «Стоп» защелка *4* топливоподачи застопорит рычаг *5*, рейка установится на нулевую подачу топлива и двигатель начнет снижать обороты. При снижении скорости вращения вала дизеля до 80—90 *об/мин* (безопасной для перекладки распределительного вала и пуска дизеля в другом направлении) откроется золотниковый клапан *22* пускового реле.

Реверсирование и пуск дизеля производятся в рассмотренной выше последовательности.

Описанная автоматическая система, как видно из схемы, многоконтурная. Она состоит из трех контуров: контура управления реверсом, пуском и регулирования оборотов дизеля, причем все эти контуры связаны определенной последовательностью включения: реверс — пуск — обороты. Управление системой производится из рулевой рубки или из машинного отделения. Роль задающего устройства здесь выполняют клапанная коробка *14* и валик управления

с кулачками реверса *9, 12* и топливоподающей шайбой *8*. Регулирующими органами системы реверса и пуска служат поршень со штоком цилиндра *2* реверса и пусковой клапан *18*. Исполнительным элементом системы регулирования служит рейка топливного насоса.

Рассматриваемая система управления дизелем работает как следящая релейная автоматическая система, так как во все контуры включены релейные элементы (конечные выключатели) — перекидной клапан *16*, защелка *4* топливоподачи, пусковое реле. Роль корректирующих устройств в системе выполняют пружины *24, 6* и рычаг *5*.

§ 24. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ И СМАЗКИ ДИЗЕЛЯ

При сгорании топлива в цилиндрах двигателя выделяется большое количество теплоты, из которой в лучшем случае 40% преобразуется в работу на валу двигателя, а остальные 60% теряются.

Примерно половина потерянной теплоты уходит в атмосферу с продуктами сгорания топлива, а остальная часть воспринимается деталями, соприкасающимися с горячими газами. Если эти детали не охлаждать, то они настолько сильно нагреются, что работа двигателя станет невозможной.

Цилиндры, крышки цилиндров и выпускной коллектор обязательно охлаждают.

Для правильной технической эксплуатации дизеля весьма важно, чтобы в его системе охлаждения и смазки постоянно поддерживался оптимальный температурный режим.

Как показали исследования, при оптимальном температурном режиме в системе охлаждения повышается эффективная мощность двигателя, снижается удельный расход топлива и значительно уменьшается износ цилиндро-поршневой группы.

Устройства автоматического регулирования должны обеспечивать поддержание заданного режима в системе охлаждения и смазки независимо от нагрузки и колебаний внешних температур.

Оптимальный режим по температуре воды, выходящей из двигателя, находится в пределах 75—90°С для замкнутых систем; 50—55°С для открытых систем охлаждения.

Температурный режим для систем смазки двигателя зависит от применяемого сорта масла и ряда конструктивных условий. Обычно температура масла в быстроходных двигателях поддерживается в пределах 80—90°С; в двигателях средней быстроходности и тихоходных, где применяется менее качественное масло — в пределах 40—70°С.

В соответствии с ГОСТ 10150—62 система терморегулирования должна обеспечивать поддержание температуры воды на выходе из дизеля и масла на входе в дизель в пределах зоны неравномерно-

сти не более 8°С при нагрузке 25—100% и изменении температуры забортной воды от 5 до 35°С.

При работе двигателя на установившемся режиме амплитуда колебаний температуры воды или масла не должна превышать 1—2°С.

Автоматическое регулирование температуры в системе охлаждения производится одно- и двухклапанными терморегуляторами, установленными на ветви внутреннего контура или забортной воды.

Терморегуляторы, применяемые в системе смазки, устанавливают непосредственно на масляной магистрали и водяном трубопроводе как показано на рис. 61, *а* и *б*. Измерительный элемент *4* (термобаллон с легкоиспаряющейся жидкостью), установленный на маслопроводе *3*, посылает соответствующие импульсы через соединительную трубку *5* на клапанный исполнительный элемент терморегулятора *1*. Последний в соответствии с этим увеличивает или уменьшает приток воды, циркулирующей через холодильник *2*, изменяя в нужном направлении температуру масла в системе смазки дизеля.

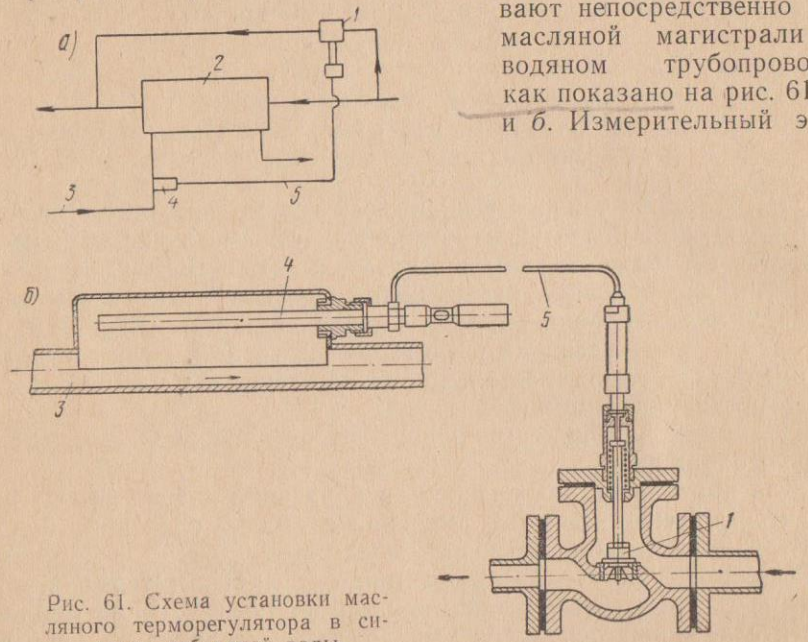


Рис. 61. Схема установки масляного терморегулятора в системе забортной воды

Аналогично действует и терморегулятор в системе охлаждения.

Одноклапанные терморегуляторы прямого действия получили наибольшее распространение в двигателях малой мощности. Такие терморегуляторы хорошо работают на номинальных режимах, однако, при частых изменениях нагрузки они не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Одноклапанные терморегуляторы не обеспечивают также быстрого нагрева воды и масла после пуска двигателя в ход.

В процессе эксплуатации двигатель часто нагружается в холодном состоянии, что, естественно, увеличивает интенсивность износа его цилиндро-поршневой группы.

Чтобы обеспечить оптимальную температуру воды при всех режимах работы двигателя, необходимо регулировать количество воды, поступающей не только на перепуск, но и в водяной холодильник. Кроме того, если температура воды на выходе из двигателя ниже 70°С, то доступ ее в водяной холодильник должен быть закрыт. В таком случае при пуске двигателя вода будет направляться только на перепуск, минуя водяной холодильник, в результате чего сократится время на подогрев воды (масла) и прогрев двигателя. Этого можно достигнуть только путем установки на магистрали двухклапанного терморегулятора, одновременно регулирующего потоки воды на холодильник и на перепуск. Поэтому большинство судовых дизелей средней и повышенной мощности оборудуются двухклапанными терморегуляторами.

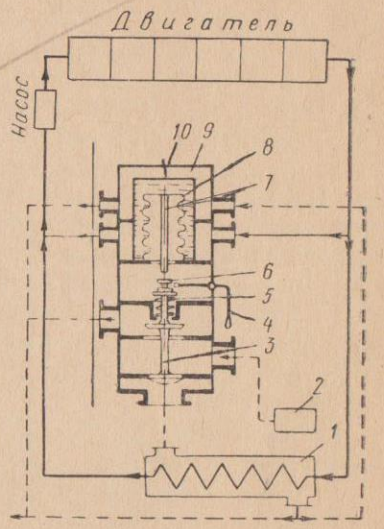


Рис. 62. Принципиальная схема двухклапанного терморегулятора

Схема устройства двухклапанного терморегулятора показана на рис. 62.

Терморегулятор состоит из исполнительного элемента в виде двухседельного клапана *3*. Измерительный элемент представляет собой латунный стакан *9* с сильфоном *8*, пространство между которыми заполнено легкоиспаряющейся жидкостью. Латунный стакан установлен в верхней части корпуса *10* терморегулятора так, что он омывается охлаждающей водой, выходящей из дизеля, и забортной водой от холодильника *1*. Настройка терморегулятора производится регулировочным болтом *6* с пружиной *5*.

На рисунке терморегулятор показан в положении, когда двигатель еще не прогрет. Забортная вода, подаваемая насосом *2*, в этом случае направляется клапаном *3* в обход холодильника. По мере повышения температуры охлаждающей и забортной воды в холодильнике зазор между штоком *7* сильфона и болтом *6* уменьшается и примерно при температуре 70—75°С шток, воздействуя на клапан *3*, приоткрывает магистраль для прохода забортной воды в холодильник *1* и перекрывает ей путь в обход холодильника.

При неисправности терморегулятор отключают открытием клапана *3* рукояткой *4*.

§ 25. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОМПРЕССОРАМИ

Для приготовления сжатого воздуха на речных судах с главными дизелями мощностью свыше 300 *л. с.* устанавливают компрессоры с приводом от главного двигателя и с независимым электрическим приводом.

На судах с подводными крыльями, где применяются нереверсивные быстроходные главные дизели и мощность судовой электростанции незначительна, независимый воздушный компрессор обычно приводится в действие от дизель-генератора.

Как правило, навешенные на главные дизели компрессоры полностью удовлетворяют потребность в сжатом воздухе на ходу судна, а компрессоры с электроприводом включаются в работу на маневрах судна и на стоянке.

При автоматизации компрессоров предусматривается:

1) автоматическое включение в работу при падении рабочего давления в баллонах от 60 и 30 *кГ/см*^{2} соответственно до 40 и 20 *кГ/см*^{2}; при этом должна производиться автоматическая продувка сепаратора;

2) автоматическое выключение (остановка компрессора) при достижении номинального рабочего давления в баллонах;

3) дистанционный пуск компрессоров с независимым приводом.

Схема автоматического управления навешенными на главный дизель компрессорами зависит от конструкции компрессора.

На рис. 63 показана принципиальная схема автоматического регулирования работы компрессора, навешенного на дизели 8НФД-36 и 6НФД-48. Коленчатый вал компрессора жестко соединен с коленчатым валом главного дизеля, поэтому при работе дизеля кривошипно-шатунный механизм компрессора также находится в движении. Выключение компрессора может произойти только в случае, если впускной клапан цилиндра низкого давления компрессора будет принудительно открыт.

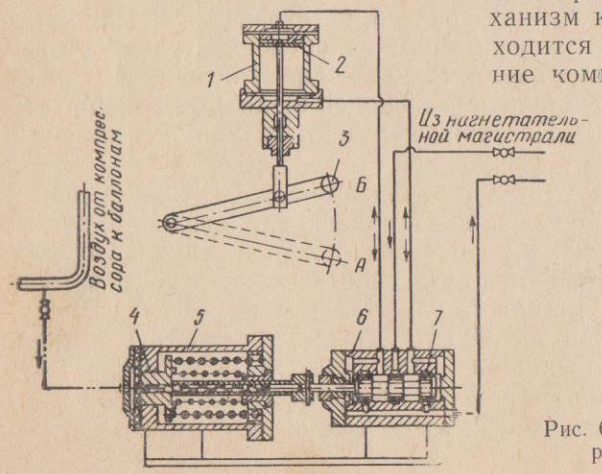


Рис. 63. Схема автоматического регулирования работы компрессора

Автоматическое устройство состоит из мембранного измерительного элемента *5*, золотникового усилителя *6* и исполнительного механизма (силового цилиндра) *1*. Последний находится над рукояткой *3* включения компрессора, с которой соединен шток поршня *2*, находящийся внутри цилиндра. Полости над поршнем и под ним соединены трубами с корпусом золотника *7*, к которому подведено масло из системы смазки двигателя.

Положение золотника *7* зависит от положения мембраны *4* измерительного элемента. Мембрана нагружена справа пружинами, а слева к ней подведен сжатый воздух из магистрали, идущей от компрессора к баллонам. Когда давление воздуха в баллонах достигнет расчетного, мембрана прогнется вправо и сдвинет золотник *7*. Масло под давлением поступит в верхнюю полость цилиндра *1*, а из нижней полости откроется для него выход на слив. Поршень под давлением масла опустится и поставит рукоятку *3* в положение *А*, когда всасывающие клапаны компрессора будут отжаты и подача воздуха компрессором прекратится.

При падении давления в баллонах пружины переместят мембрану и золотник *6* влево, благодаря чему под давлением окажется нижняя полость цилиндра *1*, и поршень *2*, поднявшись, поставит рукоятку *3* в положение *Б*, т. е. включит компрессор.

§ 26. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ И ЗАЩИТА ДИЗЕЛЯ

При проектировании той или иной системы автоматической сигнализации и защиты особенно важно правильно выбрать параметры контроля и первичные приборы, определяющие аварийное состояние двигателя.

Число параметров контроля должно быть минимально возможным при условии, что двигатель огражден от аварий и контролем охвачены все наиболее важные его элементы, обеспечивающие нормальную эксплуатацию.

К контролируемым аварийным параметрам относятся:

1) температура воды и масла на выходе из двигателя;
2) температура отработавших газов;
3) давление масла в системе смазки двигателя;
4) давление (или уровень) воды в системе охлаждения;
5) число оборотов коленчатого вала двигателя.

В число контролируемых параметров не следует включать температуру картера, подшипников гребного вала, подшипников электрогенератора и пр. Эти параметры в меньшей степени влияют на надежность работы силовой установки, а отнесение их к контролируемым параметрам усложняет и удорожает эксплуатацию системы сигнализации.

В систему автоматической сигнализации включаются также сигналы неаварийного характера, так называемые исполнительные и предупредительные. Исполнительная сигнализация извещает об исполнении той или иной заданной операции, предупредительная сигнализация — о достижении каким-либо параметром заданного значения.

Защита двигателя от аварии сводится к его остановке в том случае, если один из аварийных параметров достигает своего предельного значения.

Сигналы, предупреждающие о наступлении аварийного состояния двигателя, подаются на пост управления или на специальный сигнализационный пульт от измерительных элементов, контролирующих рабочие параметры двигателя.

К системам сигнализации и защиты, как и к другим системам автоматики, предъявляются следующие требования:

1) надежность действия в течение не менее 4000 *ч*;
2) малый расход энергии;
3) малые габариты и вес;
4) возможность проверки исправности цепей и оборудования системы при работающем двигателе;
5) автоматическое включение в действие при работе механизма и выключение при маневрах или остановке механизма;
6) наличие в системе двух дублирующих сигналов: светового и звукового.

В настоящее время на судах речного флота применяются несколько конструкций систем автоматической сигнализации и защиты.

На рис. 64 показана принципиальная схема автоматической сигнализации и защиты двигателей 18Д, 6Л275 и 8ФД-36.

Система автоматической сигнализации и защиты предусматривает подачу предупредительных сигналов (световых и звуковых) в машинном отделении и в рулевой рубке от четырех измерительных элементов (двух реле минимального давления и двух реле максимальных температур для смазочного масла и охлаждающей воды) при нарушении нормального режима работы двигателя.

В случае достижения максимальной температуры воды в системе охлаждения дизеля, минимального давления охлаждающей воды или максимальной температуры в системе смазки срабатывают установленные на магистралях охлаждения и смазки соответствующие реле, замыкая свои контакты *8, 9* или *10* в цепи защиты и сигнализации. При замыкании этих контактов напряжение подается на катушки промежуточных реле *16, 15, 14*, имеющие н. з. и н. о. контакты. При отсутствии напряжения на катушках реле ток от источника питания проходит через н. з. контакты к зеленым лампам *19*, установленным на пульте в машинном отделении и рулевой рубке. Когда реле с контактами *8, 9* или *10* подает напряжение на соответствующую катушку промежуточного реле (при достижении предельных значений контролируемых параметров), н. з. контакты

размыкаются и зеленые лампы гаснут, а н. о. контакты замыкаются, включая красные лампы *20* и *21*. Одновременно другая пара контактов промежуточных реле замыкает цепь катушки силового реле *12*, которое включает сирену *24* в машинном отделении и звонок *23* в рулевой рубке.

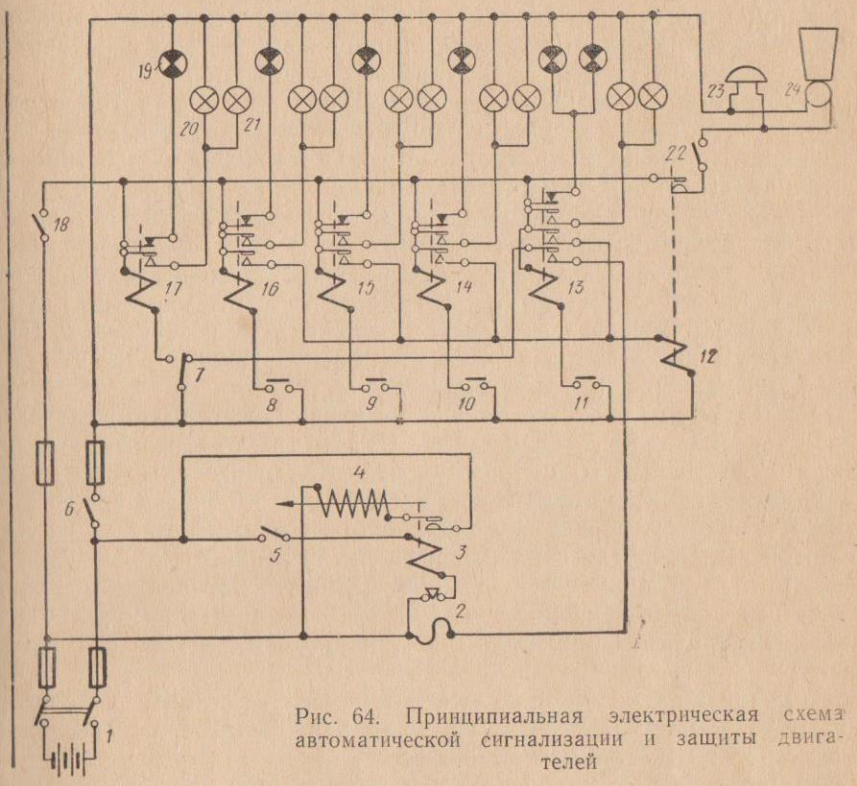


Рис. 64. Принципиальная электрическая схема автоматической сигнализации и защиты двигателей

Таким образом, при нормальной работе двигателя на пультах управления горят зеленые сигнальные лампы. В случае каких-либо отклонений от нормальной работы двигателя гаснут соответствующие зеленые лампы, загораются красные и включаются звуковые сигналы. С помощью выключателя 22, находящегося на пульте в машинном отделении, звуковые сигналы могут быть выключены.

Цепь реле с контактами *11*, контролирующая наиболее ответственный параметр двигателя — давление масла в системе смазки, отличается от цепей остальных реле тем, что его промежуточное реле *13*, кроме контактов, переключающих сигнальные лампы и включающих звуковой сигнал, имеет еще одну пару н. о. контактов,

включающих устройство для автоматической остановки двигателя. При замыкании этих контактов подается напряжение на термореле времени *2*, которое своими контактами замыкает цепь катушки силового реле *3*; последнее в свою очередь включает тяговое реле (соленоид) *4*. Сердечник соленоида связан с системой подачи топлива так, что при срабатывании соленоид выключает подачу топлива и двигатель останавливается. Выключатель *5* механически соединен с сердечником соленоида и предназначен для обесточивания соленоида после его срабатывания.

Необходимость включения в схему реле времени, которое обеспечивает некоторую задержку срабатывания защиты, вызвана тем, что условия плавания не всегда допускают мгновенную остановку двигателя. Получив предупредительный сигнал — звуковой и световой, судоводитель принимает решение о возможности остановки двигателя. Если обстановка на фарватере не допускает мгновенной остановки двигателя, он с помощью переключателя *7*, находящегося на пульте в рулевой рубке, отключает устройство для автоматической защиты двигателя, разрывая цепь термореле времени *2*. При этом переключатель *7* замыкает цепь промежуточного реле *17* и на обоих пультах загораются красные лампы.

Таким образом, механик всегда видит, включена или выключена автоматическая защита двигателя. Чтобы автоматическая защита не срабатывала при малых числах оборотов двигателя (при пуске и реверсах), предусмотрен выключатель *6*, механически связанный с рукояткой регулирования числа оборотов. При малых числах оборотов выключатель *6* разрывает цепь питания.

Схема получает питание от аккумуляторной батареи *1*.

Система автоматической сигнализации и защиты может быть выключена с пульта управления в машинном отделении выключателем *18*.

В приведенной схеме предупредительная сигнализация совмещена с устройством защиты. На ряде двигателей его выполняют и отдельно от системы сигнализации.

Защитное устройство — основной элемент общей системы автоматики, позволяющий без вмешательства обслуживающего персонала останавливать двигатель в случае наступления аварийного состояния в его системах и вспомогательных механизмах.

Аварийное состояние двигателя может наступить в следующих случаях:

а) при падении давления смазочного масла и охлаждающей воды;

б) при повышении температуры отработанного масла и выходящей из двигателя охлаждающей воды;

в) при разносе двигателя, вызванном повреждением регулятора или поломкой гребного винта.

В зависимости от типа и назначения двигателя система аварийной защиты может быть установлена для любого из перечисленных параметров и состояний. Аварийная защита судовых двигателей

обычно срабатывает только при падении давления смазочного масла в системе двигателя ниже допустимого предела.

По принципу действия защитные устройства подразделяются на электромеханические, пневматические и электропневматические.

В конструктивном отношении защитные устройства просты, но схемы их разнообразны; каждая из них увязывается с конструктивными особенностями двигателя.

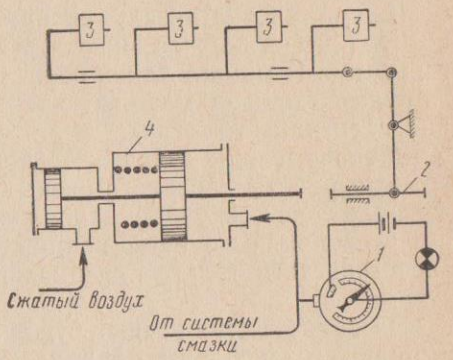


Рис. 65. Принципиальная схема масляного выключателя

Одна из конструкций масляного выключателя для дизелей небольшой мощности представлена на рис. 65. К основным узлам системы относятся выключатель *4* и электроконтактный манометр *1* с сигнальной лампой. Выключатель представляет собой двухступенчатый цилиндр, в котором на общем штоке могут передвигаться два поршня. При пуске двигателя сжатый воздух поступает в правую полость меньшего цилиндра и передвигает поршни влево. В этом случае между штоком выключателя и тягой 2, связанной с устройством управления дизеля, установится определенный зазор. С пульта управления включаются топливные насосы *3*, и дизель будет работать с заданным числом оборотов. По окончании пуска сжатый воздух из правой полости меньшего цилиндра будет выпущен через неплотности в атмосферу. За это время в масляном трубопроводе давление поднимется до нормы, а так как этот трубопровод сообщен с правой полостью большего цилиндра, то шток выключателя будет удерживаться в крайнем левом положении. В момент падения давления в системе смазки дизеля до установленного предела стрелка электроконтактного манометра замкнет цепь сигнальной лампы или звуковой сигнализации (сирены), предупреждая обслуживающий персонал о начале предаварийного режима дизеля. В случае падения давления масла ниже допустимого пружина переместит поршни и шток вправо, последний, воздействуя на тягу *2* механизма управления, выключит топливные насосы и двигатель остановится.

§ 27. АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ

Для выработки электроэнергии на судне устанавливают дизель-генераторы с приводом от вспомогательного двигателя и валогенераторы с приводом от главного двигателя.

В ходовом режиме от «Самого полного» до «Среднего хода» питание потребителей электроэнергией производится от валогене-

ратора. Валогенераторы приводятся в действие, как правило, через клиноременную передачу от гребного вала. В случае снижения частоты или напряжения валогенератора автоматически подается импульс на автоматический запуск дизель-генератора; при запуске его валогенератор отключается, а дизель-генератор должен автоматически подключиться к шинам главного распределительного щита.

При остановке дизель-генератора из рубки вручную, наоборот, автоматически должен включиться под нагрузку работающий валогенератор. В момент таких переключений не должны обесточиваться рулевой привод, машинные телеграфы, системы ДАУ, радиостанция и сигнальные огни.

В современных судовых энергетических системах изменение режима работы связано с очень быстрым изменением (в течение десятых долей секунды) напряжения и частоты генераторов. В таких условиях постоянство напряжения и частоты генераторов может обеспечиваться только специальными автоматическими устройствами.

На большинстве речных судов в качестве приводов дизель-генераторов установлены вспомогательные двигатели 4Ч 10,5/13 и 6Ч 12/14, пуск которых чаще всего производится электростартером.

Включение в действие дизель-генератора сводится к:

1) открытию подачи топлива;
2) включению спиралей накала;
3) пуску стартера;
4) подрегулировке числа оборотов работающего дизель-генератора;
5) подключению генератора к общим шинам.

С помощью блока автоматического запуска (рис. 66) можно нажатием одной кнопки «Пуск» запустить дизель-генератор. При этом посредством реле времени *1РВ*, *2РВ* и *3РВ* и промежуточных реле *1ПР* и *2ПР* включаются спирали накала и начинает подаваться топливо. Спустя 5 *сек* после подачи топлива включается стартер. При несостоявшемся пуске процесс повторяется три-четыре раза. В случае неудачного пуска реле *3РВ* через 0,5—1 *мин* отключит устройство автоматического запуска.

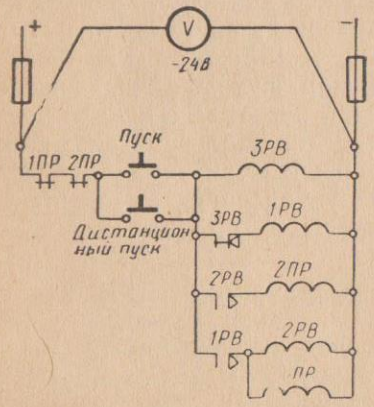


Рис. 66. Схема блока автоматического запуска дизель-генератора

Операция остановки заключается в снятии нагрузки с генератора и прекращении подачи топлива к дизелю.

На рис. 67 показана схема судовой автоматизированной элект-

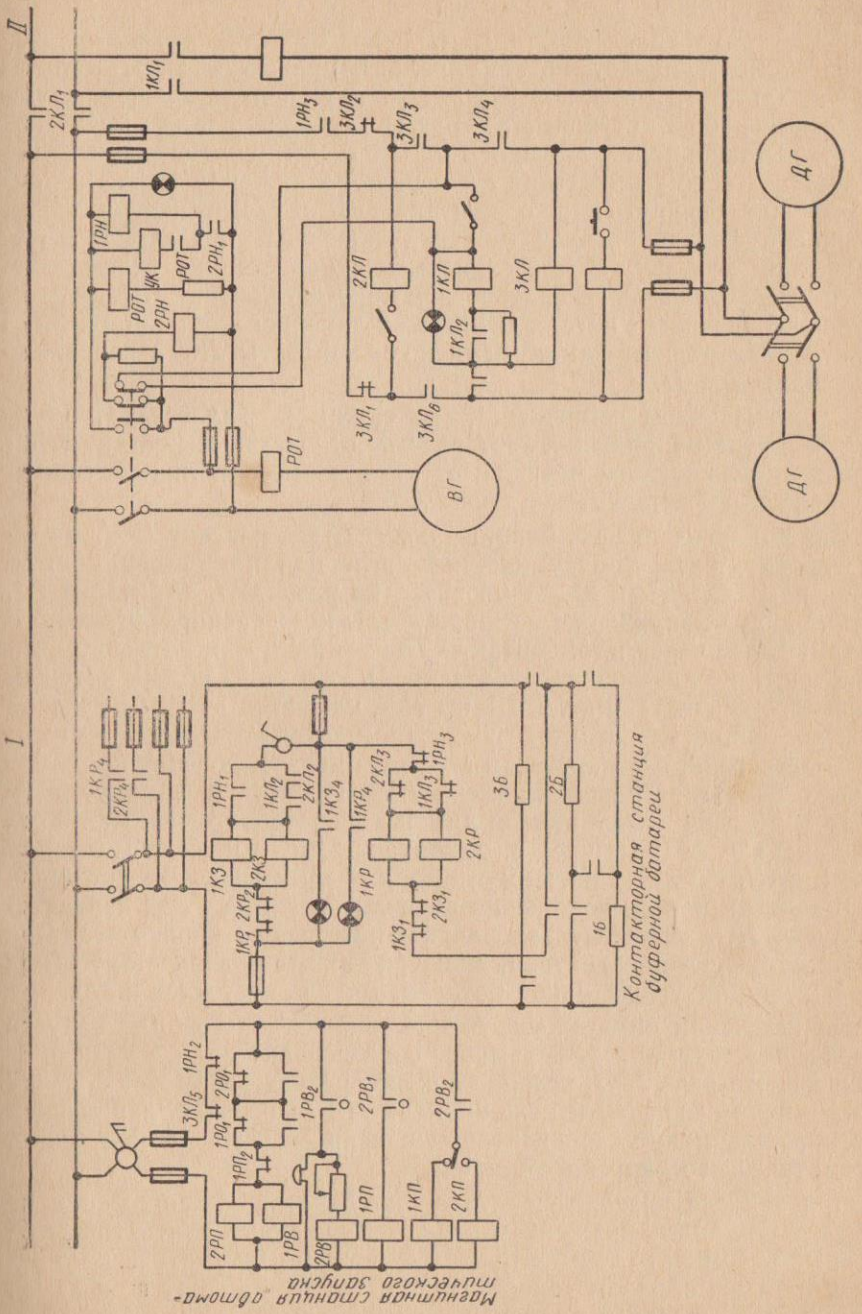


Рис. 67. Схема автоматического управления судовой электрической станцией с навешенным генератором

ростанции грузовых теплоходов типа «Шестая пятилетка» грузоподъемностью 2000 *т* и мощностью 600 *л. с.*

При работе валогенератора *ВГ* через сопротивление, как видно из схемы, получает питание реле напряжения *2РН*, которое держит замкнутым н. о. контакт $2РН_1$ в цепи реле напряжения *1РН* и удерживающей катушки *УК*. В этом случае под током будут находиться также реле обратного тока *РОТ*, удерживающая катушка автоматического выключения *УК* и реле напряжения *1РН*. Последнее держит замкнутым н. о. контакт *1РН* в схеме контакторной станции буферной батареи (батарея включена под заряд) и разомкнутым контакт $1РН_2$ в схеме магнитной станции автоматического запуска дизель-генераторов. Замкнутый контакт $1РН_3$ в этом случае обеспечивает питанием катушку линейного контактора *2КЛ*, а последний держит замкнутыми н. о. контакты $2КЛ_1$, соединяющие шины *I* и *II*.

С уменьшением напряжения на зажимах валогенератора до 85—90 *в* реле напряжения *2РН* разомкнет свой н. о. контакт $2РН_1$ в цепи удерживающей катушки *УК*. В этот момент лишатся питания реле напряжения *1РН* и реле *РОТ*.

При отключении реле напряжения *1РН* его контакт $1РН_1$ в схеме буферной батареи разомкнется и последняя при помощи контакторов разряда *1КР* и *2КР* включится на разряд, т. е. батареи *1Б*, *2Б*, *3Б* дадут напряжение на шины *I* главного распределительного щита и далее через н. о. контакты $1КР_4$ и $2КР_4$ — к потребителям. Одновременно разомкнутся контакты $1РН_3$ и $2КЛ_1$ в цепи катушки линейного контактора *2КЛ*. Шины *II* отключатся от *ГРЩ* судовой электростанции. Контакт $1РН_2$ в схеме автоматического запуска дизель-генератора замкнется, и получат питание катушки промежуточного реле *2РП* и реле времени *1РВ*. Последние замкнут свои контакты в цепи свечей накала дизель-генераторов, а через 7—9 *сек* реле времени *2РВ* замкнет н. о. контакт $2РВ_2$ в цепи контакторов *1КП* и *2КП*, осуществляющих стартерный пуск дизель-генераторов.

В зависимости от положения переключателя на *ГРЩ* контакторы пуска *1КП* или *2КП* закорачивают пусковую кнопку стартера соответствующего генератора, включая таким образом стартер под напряжение аккумуляторной батареи. Дизель пускается в ход.

По истечении определенного времени, заданного для запуска дизеля, реле времени *2РВ* замкнет свой контакт $2РВ_1$ в цепи промежуточного реле *1РП*, которое в свою очередь разомкнет контакт $1РП_2$ в цепи реле *2РП* и реле времени *1РВ*. Оба реле, лишившись питания, разомкнут свои контакты в цепи свечей накала и схема автоматического запуска отключится.

При запуске дизель-генератора и появлении напряжения на его зажимах под напряжением окажется линейный контактор *3КЛ*, который разомкнет свой контакт $3КЛ_5$ в схеме автоматического запуска и таким образом окончательно отключит ее от шин *ГРЩ*. Если дизель-генератор не пущен, то повторный его пуск возможен

лишь после того, как он остановится и контакт реле оборотов $1РО_2$ (или $2РО_1$) замкнется.

После пуска дизель-генератора и срабатывания линейного контактора *3КЛ* через его н. о. контакт $3КЛ_6$ получат питание катушки линейных контакторов *1КЛ* и *2КЛ*. Контактор *1КЛ* через главные контакты $1КЛ_1$ подключит дизель-генератор к шинам *ГРЩ*, а контактор *2КЛ* через главные контакты $2КЛ_1$ соединит шины *I* и *II*.

Буферная батарея перейдет на режим «Заряд».

Переключение батареи с одного режима на другой производится контакторами разряда *1КР* и *2КР* и контакторами заряда *1КЗ* и *2КЗ*.

Автоматическое регулирование напряжения судовых генераторов выполняется по одной из трех блок-схем (рис. 68).

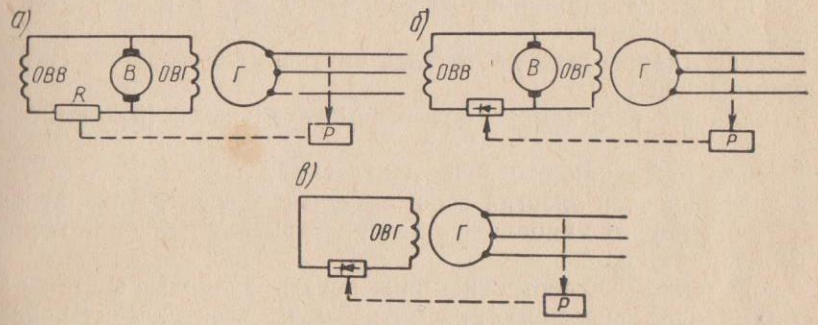


Рис. 68. Блок-схемы систем автоматического регулирования напряжения генераторов

Первая из них (рис. 68, *а*) характерна тем, что автоматическое регулирование напряжения генератора *Г* достигается воздействием регулятора *Р* на сопротивление *R* обмотки возбуждения возбудителя *ОВВ*.

В системах автоматического регулирования, выполненных по второй схеме (рис. 68, *б*), постоянное напряжение генератора поддерживается путем изменения дополнительной энергии, поступающей через регулятор с выхода генератора в цепь обмотки возбуждения возбудителя.

В системах, выполненных по третьей схеме (рис. 68, *в*), процесс автоматического регулирования напряжения осуществляется за счет энергии, которая через регулятор передается с выхода генератора непосредственно на его обмотку возбуждения *ОВГ*, минуя промежуточное звено — возбудитель *В*.

Главное достоинство таких систем регулирования заключается в отсутствии вращающихся машин, что делает их весьма перспективными для применения на речных судах.

Электрические схемы регуляторов частоты на судах речного флота пока не получили широкого распространения. На эксплуатируемых судах постоянная частота синхронных генераторов поддер-

живается механическими регуляторами скорости вращения вала дизеля.

Дизель-генераторы снабжаются также терморегуляторами, поддерживающими заданный температурный режим в системах охлаждения и смазки; автоматической сигнализацией и защитой.

§ 28. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ КОТЛОАГРЕГАТОВ

Пар или горячая вода для отопления помещений судна, удовлетворения санитарных и бытовых нужд, подогрева масла и топлива, обогрева механизмов, подогрева груза в танках и т. д. приготовляется на теплоходах вспомогательными котлоагрегатами (на пароходах — главными паровыми котлами).

Для приготовления пара или горячей воды в котлоагрегатах могут использоваться:

1) отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания (утилизационные котлы);

2) топливо, сжигаемое во вспомогательных (автономных) котлах;

3) тепло охлаждающей воды двигателей;

4) электрическая энергия вспомогательных электрогенераторов.

На речных судах наибольшее распространение получили первые два источника тепла.

В современном котлостроении применяют различные системы автоматики (гидравлическую, пневматическую, электрическую, электромеханическую, электрогидравлическую). Для пуска и остановки вспомогательных котлоагрегатов, сигнализации и защиты их на судах речного флота применяют главным образом электромеханические схемы автоматики. Целесообразность применения электромеханической схемы подтверждается еще тем, что она может быть унифицирована для различных котлоагрегатов — паровых и водогрейных.

Принципиальная схема электромеханического регулирования одного из котлоагрегатов КОАВ-68, установленного на судах типа «Спендиаров», показана на рис. 69.

Вспомогательный котел *3* на стоянке может работать на жидком топливе; в ходу вода в нем нагревается теплом отходящих газов главных двигателей. На выхлопных трубопроводах двигателей установлены газовые захлопки, позволяющие направлять поток отходящих газов в котел или по обводному трубопроводу мимо котла в атмосферу.

С помощью биметаллических измерительных элементов температуры (термореле *4* и *5*) при работе котлоагрегата на жидком топливе и двух термореле, не показанных на рисунке, при работе котлоагрегата на отходящих газах температура воды в котле поддерживается в пределах 80—95°С. При выключении форсунки (в случае достижения температуры воды в котле 95°С) аккумулированного котлом тепла, как показала практика эксплуатации,

достаточно для отопления помещений в течение 4—5 *ч*. Циркуляция воды в системе отопления обеспечивается насосом *2* или *1*, получающим питание от аварийной аккумуляторной батареи. Пополнение утечек воды в системе производится автоматически, из санитарной цистерны, через автоматический поплавковый клапан, установленный в расширительной цистерне на магистрали водяного отопления.

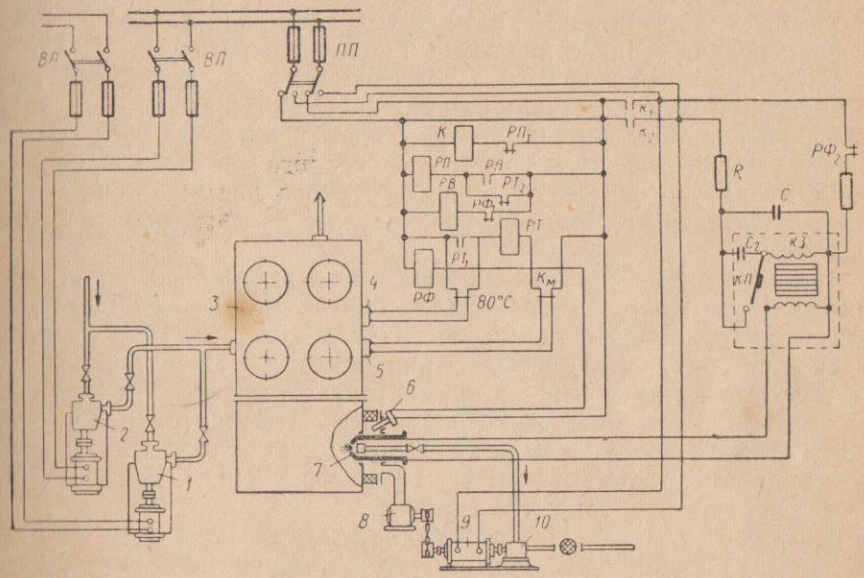


Рис. 69. Электромеханическая система регулирования котлоагрегата на теплоходах типа «Спендиаров»

Автоматическое управление котлоагрегатом производится следующим образом. С помощью двухполюсного пакетного выключателя *ВП* ток подается к циркуляционному насосу *2*, а двухполюсный пакетный переключатель поворотом рукоятки *ПП* устанавливают в положение «Автомат». При этом через н. з. контакты $РП_1$ получает питание катушка контактора *К*. Н. о. контакты $К_1$ и $К_2$ замыкаются и включают электродвигатель *9* топливного насоса *10* и котельного вентилятора *8*. Одновременно через н. з. контакты $РФ_1$ и $РФ_2$ подается питание на реле выдержки времени *РВ* и первичную обмотку катушки зажигания *КЗ*. Для понижения напряжения в первичной обмотке катушки зажигания до 30—36 *в* в цепь катушки включен реостат *R*. Для уменьшения степени обгорания контактов прерывателя *КП* в цепь катушки включены два конденсатора $С_1$ и $С_2$. При подаче тока к катушке зажигания *КЗ* прерыватель замкнет контакты электродов зажигания *7* и топливо воспламенится. При воспламенении топлива световой поток, падая на фотосопротивление *6*, замкнет цепь фотореле *РФ*, н. з. контакты $РФ_2$ разомкнутся и катушка зажигания обесточится. В тот же момент

размыкаются н. з. контакты $РФ_1$ и выключается реле выдержки времени *РВ*. Если же топливо по тем или иным причинам не воспламенится или факел при работающем котле оборвется, фотосопротивление *6* разомкнет цепь фотореле; при этом контакты $РФ_1$ и $РФ_2$ замкнутся и сработает реле выдержки времени *РВ*. Если в течение 10 *сек* топливо не воспламенится, реле выдержки времени замкнет контакты $РВ_1$ в цепи промежуточного реле *РП*. Контакты $РП_1$ в цепи контактора *К* разомкнутся, электродвигатель *9* включится, и подача топлива и воздуха в котел прекратится.

Система автоматического управления работой котла работает как релейная по двухпозиционному принципу «Включено — Выключено». При повышении температуры воды в котле до 95°С срабатывает термореле *5* и выключает электродвигатель *9*. При понижении температуры до 80°С термореле *4* снова включает систему в работу. Датчиками температуры служат два термореле типа ТР-200.

Термореле *4* и *5* включены в цепь последовательно. В эту же цепь включено промежуточное реле *РТ*, н. о. контакты $РТ_1$ которого включены параллельно термореле *4*, а н. з. контакты $РТ_2$ — параллельно цепи реле *РП*. При включении системы промежуточное реле *РТ* получает питание через н. з. контакт термореле *4* и контакт термореле *5*. Если промежуточное реле *РТ* находится под током, оно закрывает н. о. контакты $РТ_1$ и открывает н. з. контакты $РТ_2$. Промежуточное реле *РП* при этом включено и н. з. контакт $РП_1$ закрыт.

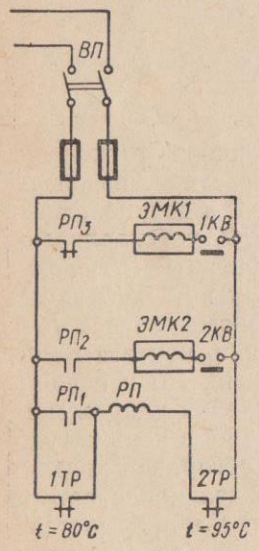


Рис. 70. Схема переключения газовой захлопки

При достижении температуры воды в котле 80°С контакты у термореле *4* разомкнутся, однако реле *РТ* будет находиться под током, получая питание через контакт $РТ_1$, шунтирующий термореле *4*.

При достижении температуры воды в котле 95°С размыкается контакт у термореле *5* и обесточивается промежуточное реле *РТ*; при этом контакты $РТ_1$ размыкаются, а контакты $РТ_2$ в цепи промежуточного реле $РП_1$ замыкаются. Реле *РП*, получив питание, размыкает контакт $РП_1$ в цепи контактора *К*. Цепь электродвигателя *9* разрывается и котел выключается. При снижении температуры воды до 80°С термореле *4* и *5* замыкаются. Реле *РТ*, получив питание, включит н. з. контакты $РТ_2$, промежуточное реле *РП* отключится, и система снова вступит в работу.

Для включения в работу утилизационной части котла двухполюсный выключатель *ВП* (рис. 70) ставят в положение «Работа».

При работе котла на отходящих газах газовая захлопка переключается пневматическим сервомотором в зависимости от температуры воды в котле, измеряемой двумя термореле *1ТР* и *2ТР* типа ТР-200. Термореле *1ТР* срабатывает при температуре 80°С, а *2ТР* — при температуре 95°С. Если температура воды в котле ниже 80°С, электрический ток через н. з. контакты термореле *1ТР* и *2ТР* поступает в промежуточное реле *РП*, которое размыкает н. з. контакты $РП_3$ в цепи электромагнитного клапана *ЭМК1* и замыкает н. о. контакты $РП_1$, шунтирующие реле *1ТР* и н. о. контакты $РП_2$ в цепи *ЭМК2*. Электромагнитный клапан *ЭМК2*, получив питание, откроется. Воздух при этом поступит в одну из полостей сервомотора, поршень которого, перемещаясь, передвинет газовую захлопку. Последняя перекроет выхлопной трубопровод и газы поступят в котел. Клапан *ЭМК2* будет открыт и в том случае, когда температура воды в котле достигнет 80°С. Хотя в этот момент н. з. контакты термореле *1ТР* разомкнутся, промежуточное реле *РП* через шунтирующий контакт $РП_1$ будет получать питание. При достижении температуры воды в котле 95°С срабатывает термореле *2ТР*, н. о. контакты $РП_1$ и $РП_2$ при этом разомкнутся и замкнутся н. з. контакты $РП_3$ в цепи *ЭМК1*. Электромагнитный клапан *ЭМК1* откроется, и газовая захлопка переместится в обратную сторону, направляя газы мимо котла. При снижении температуры воды в котле до 80°С снова сработает клапан *ЭМК2* и газовая захлопка направит газ в котел. При достижении крайних положений поршень сервомотора с помощью конечных выключателей *1КВ* и *2КВ* размыкает цепь соответствующего электромагнитного клапана.

§ 29. АВТОМАТИКА СУДОВЫХ СИСТЕМ

В настоящее время на речных теплоходах автоматизируют санитарные, противопожарные, топливоподкачивающие системы, системы сжатого воздуха и фаново-сточные системы.

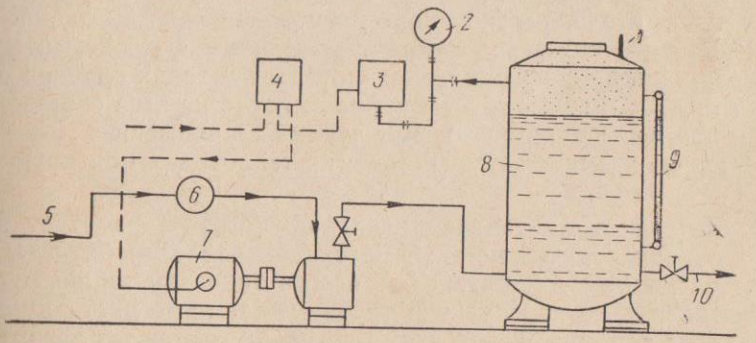


Рис. 71. Принципиальная схема автоматического управления санитарным насосом

Принципиальная схема автоматического управления санитарным насосом представлена на рис. 71.

Для автоматизации подачи воды в санитарную систему включают гидрофор 8, называемый также пневмоцистерной. Гидрофор представляет собой герметический резервуар, в верхней части которого при заполнении водой образуется воздушная подушка. Уровень воды в гидрофоре определяют по водомерному стеклу *9*. В зависимости от расхода воды в сети *10* объем воздуха в гидрофоре и его давление изменяются. Давление воздуха в гидрофоре контролируется манометром *2*. Предельная величина давления ограничивается предохранительным клапаном *1*.

Электрический насос *7* забирает воду из забортной магистрали *5* через фильтр *6*. Насос включается и выключается манометрическим реле *3* через пусковое устройство *4* при минимальном и максимальном давлении воздуха в гидрофоре.

Включение и выключение насоса возможно и с помощью поплавкового реле, установленного в санитарной цистерне, при изменении уровня воды в последней.

Противопожарная защита судов обеспечивается извещательной сигнализацией. Система автоматической пожарной сигнализации состоит из датчиков-извещателей, установленных в помещениях судна, аппаратуры, принимающей импульсы датчика, линий связи и сигналов оповещения.

На судах речного флота в качестве извещателей устанавливают датчики, реагирующие на повышение температуры, появление пламени, искр и дыма.

В качестве температурных извещателей на судах используют максимальные ртутные или биметаллические извещатели, которые при повышении температуры воздуха в помещении замыкают электрическую цепь световой или звуковой пожарной сигнализации.

По аналогичному принципу работают и сигнализаторы предельных температур подшипников валопровода.

Наибольшее распространение на судах получили фотоэлектрические извещатели, реагирующие на появление пламени или дыма в помещении. В них используются электронные фотоэлементы и полупроводниковые сопротивления. Фотореле в таких случаях срабатывает при затемнении дымом направленного на него светового луча или при освещении световыми лучами от пламени.

Топливоподкачивающие системы на теплоходах монтируются по двум системам.

По первой схеме теплоподкачивающий насос работает непрерывно с производительностью, превышающей потребную. В этом случае расходный топливный бак всегда заполнен топливом, а излишки топлива по перепускной трубе сливаются в цистерну основного запаса топлива. Такая схема не предусматривает автоматического управления насосом.

По второй схеме топливоподкачивающий насос работает периодически, а включение и выключение его обеспечивается поплавковым реле.

Принципиальная схема автоматического управления электродвигателем топливоподкачивающего насоса дана на рис. 72.

Схема предусматривает ручное и автоматическое управление электродвигателем с помощью универсального переключателя *УП*.

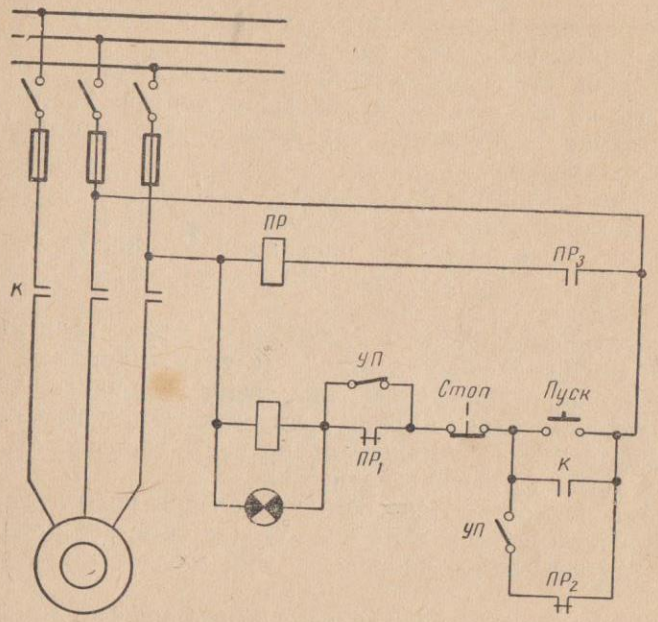


Рис. 72. Схема автоматического управления электродвигателем топливоподкачивающего насоса

При наинизшем уровне топлива поплавковое реле *ПР*, установленное в расходном топливном баке, обесточивается, н. з. контакты $ПР_1$ и $ПР_2$ включают в цепь катушку контактора, н. о. контакты *К* замыкаются, ток поступает к электродвигателю и насос включается в работу. При достижении наивысшего уровня топлива в расходном баке поплавковое реле замыкает н. о. контакты $ПР_3$ в цепи сигнализации предельного уровня топлива и размыкает н. з. контакты $ПР_1$ в цепи катушки контактора. Контакты *К* размыкаются и электродвигатель выключается.

Фекальные и сточные воды удаляют из сборных цистерн путем откачки центробежным насосом или водоструйным эжектором или продувки цистерн сжатым воздухом. Реле верхнего и нижнего уровня жидкости в системе вызывают пуск или остановку отключающего насоса или воздействуют на электромагнитные клапаны, управляющие потоком сжатого воздуха.

Цистерны фекальных и сточных вод оборудуются также поплавковыми реле, при достижении наивысшего уровня жидкости в ци-

стерне замыкающими цепь электрической световой или звуковой сигнализации.

§ 30. АВТОМАТИКА СУДОВЫХ УСТРОЙСТВ

Полная автоматизация судовой силовой установки предполагает также автоматизацию всех судовых устройств.

Управление судовыми устройствами заключается во внешнем воздействии на них с целью пуска, регулирования скорости вращения, изменения направления вращения (реверсирования), торможения и остановки.

На речных теплоходах большинство механизмов судовых устройств электрифицировано, поэтому управление ими сводится к управлению электрическими приводами. Различают полуавтоматическое и автоматическое управление электроприводами.

При полуавтоматическом управлении для выполнения любой операции по управлению электродвигателем (например, изменение скорости его вращения, включение схемы под напряжение) необходима подача первого импульса вручную, путем нажатия кнопки или поворота ручки командо-аппарата. В дальнейшем заданная операция выполняется автоматически.

Система полуавтоматического управления позволяет осуществлять различные виды автоматической защиты электродвигателей, а также дистанционное управление ими с одного или нескольких мест.

При автоматическом управлении электродвигателем все операции производятся автоматически, без участия обслуживающего персонала, в результате изменения параметров электрической цепи или каких-либо внешних импульсов (резкого повышения температуры, перемены давления и т. д.).

В настоящее время на современных теплоходах применяют в основном полуавтоматическое управление судовыми устройствами по контакторной, таймтакторной системам или схеме генератор — двигатель. Выше (см. рис. 7) нами были рассмотрены устройство и принцип работы одного из приводов рулевого устройства, работающего по схеме генератор — двигатель.

§ 31. СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СУДОВОЖДЕНИЯ

На речных судах используют значительное число различных приборов и устройств, автоматизирующих процесс судовождения и облегчающих труд судоводителей. К ним следует отнести автоматические рулевые, позволяющие без участия человека вести судно или состав по прямой; эхолоты, предназначенные для непрерывного определения глубины судового хода; радиолокаторы, обеспечивающие видимость пути и судоходной обстановки при любой погоде;

лаги, по которым можно непрерывно определять скорость движения судна или состава относительно воды и т. д.

Автоматизация процесса судовождения в речных условиях — наиболее сложная задача.

Оснащение судов внутреннего плавания средствами автоматизации судовождения и электрорадионавигационной аппаратурой в сочетании с комплексной автоматизацией судовых силовых установок должно обеспечить:

а) безопасность плавания судов и составов в различных путевых и гидрометеорологических условиях;

б) создание условий для работы судовых команд с совмещением профессий и сокращение численности команд;

в) увеличение скорости движения судов и составов и сокращение простоев флота;

г) облегчение труда судовых команд;

д) повышение производительности труда, снижение себестоимости перевозок грузов и пассажиров, ритмичность работы флота, а следовательно, и портов.

Автоматическое управление движением судна возможно с помощью устройств для непрерывного определения местонахождения движущегося судна и стабилизаторов курса, или авторулевых.

Устройства, непрерывно определяющие местонахождение движущегося судна, сравнивающие пройденный путь с заданным и выдающие команды авторулевым, наиболее сложны и дороги. Задача обеспечения речных судов такими устройствами окончательно еще не решена.

На речных судах в последнее время широко применяют стабилизаторы курса, удерживающие судно на прямолинейном участке пути и получившие название авторулевых.

Авторулевые могут стабилизировать прямолинейный курс судна или устранять его рыскливость на криволинейном участке пути.

Известно много авторулевых, в которых для стабилизации курса судна в качестве измерительного элемента используются гироскопические приборы, индукционные датчики, вращающиеся трансформаторы.

На рис. 73 показана принципиальная схема одной из следящих систем управления рулем.

Принцип действия следящей системы управления рулем аналогичен принципу действия обычной следящей системы управления. Так, в режиме автоматического управления при уходе судна с заданного курса от сельсина-датчика гирокомпаса *ГК* на сельсин-приемник *СП* авторулевого поступает сигнал, величина которого пропорциональна углу отклонения α судна от заданного курса. Под действием этого сигнала сельсин-приемник *СП* разворачивает ротор линейного вращающегося трансформатора курса *ЛВТ* на угол, пропорциональный углу отклонения судна от заданного курса. Одновременно с этим от сельсина-приемника *СП* через механическую передачу приводится во вращение тахогенератор *Тг*, выраба-

тывающий сигнал, пропорциональный скорости изменения угла курса. Тахогенератор выполняет роль корректирующего устройства. Сигналы с трансформатора судна $ЛВТ_к$ и тахогенератора *Тг* суммируются на масштабном вращающемся трансформаторе *МВТ* и, усиленные в фазочувствительном усилителе *ФЧУ*, подаются на обмотку управления электромашинного усилителя *ЭМУ*. В результате

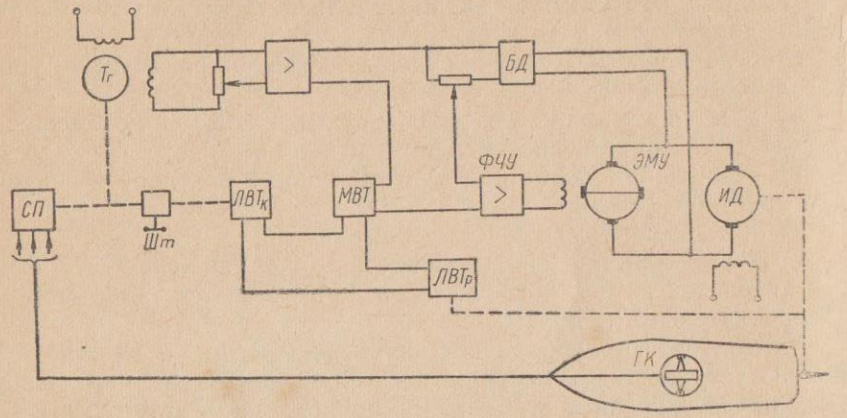


Рис. 73. Принципиальная схема авторулевого

этого приводится во вращение исполнительный двигатель *ИД*, который через механическую передачу (на рисунке механические передачи изображены пунктирной линией) поворачивает баллер руля в ту или другую сторону. Одновременно с поворотом руля разворачивается линейный вращающийся трансформатор руля $ЛВТ_р$ и в схему суммирования поступает сигнал, величина которого пропорциональна углу отклонения β пера руля от диаметральной плоскости, что приводит к уменьшению угла рассогласования между трансформаторами $ЛВТ_к$ и $ЛВТ_р$. Другим сигналом обратной связи является напряжение, снимаемое с клемм двигателя *ИД*. Этот сигнал пропорционален скорости перекладки руля. Преобразуясь в блоке демпфирования *БД*, сигнал поступает в схему суммирования. Под действием руля судно возвращается на заданный курс. При этом сельсин-датчик гирокомпаса *ГК* повернется в обратную сторону, а следовательно, изменяет направление вращения тахогенератор *Тг* и трансформатор $ЛВТ_к$. Знак напряжения тахогенератора изменится, а выходное напряжение трансформатора $ЛВТ_к$ уменьшится: суммарный сигнал на фазочувствительном усилителе также изменит знак. В этом случае исполнительный двигатель *ИД* изменит направление вращения, в результате чего руль начнет движение в сторону диаметральной плоскости.

В момент выхода судна на заданный курс руль будет в диаметральной плоскости. При управлении вручную с помощью штурвала *Шт* система работает аналогично.

В последнее время на судах речного флота для автоматического поддержания заданного курса в подобных системах в качестве измерительных элементов начали широко использовать индукционные датчики — приборы, весьма чувствительные к изменению магнитного поля Земли.

При движении судна индукционный датчик все время стремится занять такое положение, при котором вектор магнитного потока Земли был бы перпендикулярен к его оси. В этом случае на выходе датчика электрические сигналы отсутствуют.

При отклонении судна от заданного курса перпендикулярность оси индукционного датчика к вектору магнитного потока Земли нарушается, в его обмотке индуктируется э. д. с. и он начинает подавать электрические сигналы через избирательный усилитель напряжения, выпрямитель и модулятор в фазочувствительный усилитель мощности.

Принцип работы автоматических рулевых с индукционными датчиками аналогичен описанному выше.

Глава VIII. КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ СУДОВЫХ ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

§ 32. ОБЪЕМ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ СУДОВЫХ ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Современные серийные суда с паросиловыми установками выполняют пока значительный объем транспортной работы. На этих судах установлены малоэкономичные вспомогательные механизмы. Для упрощения конструкции в паросиловых установках применены нерациональные тепловые схемы, вызывающие дополнительные потери тепла. Использование на серийных буксирных пароходах паровых котлов с повышенными потерями тепла, малоэкономичных машин (кроме МП-10) и вспомогательных механизмов, а также работа на паре низких параметров (14—15 $кГ/см^2$), наряду с нерациональными тепловыми схемами, снижает теплотехнические и экономические показатели указанных судов.

Для улучшения эксплуатационных показателей силовые установки пароходов в настоящее время подвергают значительной модернизации, которая в основном сводится к оборудованию их средствами комплексной автоматизации.

В соответствии с требованиями комплексной автоматизации на пароходах должно обеспечиваться:

1) дистанционное управление главными паровыми машинами;
2) автоматическое продувание цилиндров;
3) автоматическое регулирование уровня воды в котле;
4) автоматическое регулирование процесса горения жидкого топлива;

5) автоматическое управление работой автономного топливного насоса;

6) автоматическое регулирование уровня и температуры мазута в расходных цистернах.

§ 33. ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЛАВНЫМИ ПАРОВЫМИ МАШИНАМИ

Подготовка к пуску и управление главными паровыми машинами, а также их реверсирование более просты, чем у двигателей внутреннего сгорания. Поэтому дистанционное управление главными паровыми машинами обычно выполняется неавтоматизированным.

В настоящее время на пароходах применяют две системы дистанционного управления главными паровыми машинами: гидромеханическую и электромеханическую.

На рис. 74 показана схема электромеханического дистанционного управления главной паровой машиной типа МП-10.

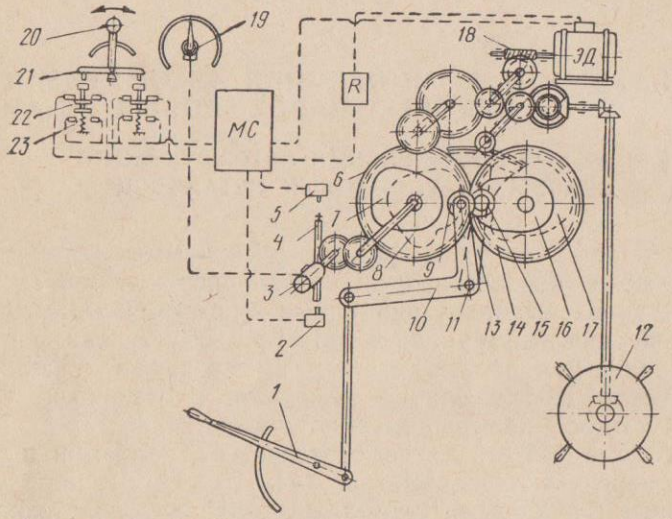


Рис. 74. Принципиальная схема электромеханического ДУ паровой машиной

Дистанционное управление имеет следующие основные узлы:

1) три пульта управления: один в рулевой рубке и два на крыльях капитанского мостика;

2) магнитную станцию;

3) исполнительный механизм;

4) сельсинную синхронную связь.

Пульты управления, магнитная станция и исполнительный механизм электрически связаны друг с другом.

Система управления обеспечивает:

1) пуск машины;

2) регулирование открытия главного стопорного клапана;

3) продувку цилиндров;

4) управление реверсом и изменение наполнения цилиндров;

5) остановку машины.

Принцип действия дистанционного управления заключается в следующем.

При повороте рукоятки *20* поста управления в рулевой рубке в ту или другую сторону (в зависимости от требуемого хода) коромысло *21*, жестко связанное с рукояткой, размыкает н. з. контакты *22*. При этом от магнитной станции *МС* через балластное сопротивление *R* будет подано питание к электродвигателю *ЭД*. В зависимости от положения рукоятки электродвигатель поворачивает в соответствующую сторону червяк *18*, который через систему шестеренок и валиков приводит во вращение шестерни *6* и *14*.

На ступицах шестерен *6* и *14* жестко посажены профильные кулачки *7, 8, 16* и *17* (кулачки *8* и *17*, находящиеся с другой стороны шестерен *6* и *14*, на рисунке показаны пунктиром). Кулачки *7* и *16* предназначены для управления пусковым клапаном машины; кулачки *8* и *17* — реверсивным устройством.

Между кулачками *7* и *16* находится ролик *9*, свободно сидящий на угловом рычаге *10*. При вращении шестерен *6* и *14* ролик *9* под действием кулачков *7* и *16* может перемещаться вправо или влево, поворачивая при этом в соответствующую сторону рычаг *1*, связанный с главным пусковым клапаном, и открывает или закрывает последний. Одновременно при вращении шестерен *6* и *14* вращаются и кулачки *8* и *17*, перемещая вправо или влево находящийся между ними ролик *15*. Ролик свободно сидит на рычаге *13*, верхний конец которого имеет форму зубчатого сектора, а нижний свободно закреплен на оси *11*.

При повороте ролика *15* зубчатый сектор рычага *13* через систему шестеренок и валиков поворачивает в ту или другую сторону штурвал *12* реверсивного устройства.

Пары кулачков *7* и *16*, а также *8* и *17* спрофилированы и посажены относительно друг друга на ступицах шестерен *6* и *14* так, что определенному положению пускового клапана соответствует определенное положение штурвала реверсивного устройства.

При повороте рукоятки *20* на одном из пультов управления, например на передний ход, исполнительный механизм начнет работать с помощью электродвигателя, поворачивая штурвал реверсивного устройства в сторону переднего хода машины. При этом, пока штурвал не придет в положение переднего хода, кулачки *7* и *16* удерживают пусковой клапан в закрытом положении, и только после того, как закончится реверс, начнет отклоняться в сторону ролик *9* и будет открываться пусковой клапан машины.

При реверсе машины с полного переднего на полный задний ход процесс взаимодействия главного стопорного клапана и реверсивного устройства будет протекать в обратном порядке.

Контроль работы исполнительного механизма ДУ, а следовательно, и работы машины, осуществляется с помощью обратной сельсинной связи, которая состоит из сельсина-датчика *3* и сельсина-приемника *19*.

Ротор сельсина-датчика связан с исполнительным механизмом посредством цилиндрических шестерен. Сельсин-приемник *19* смонтирован в пульте управления; на оси его закреплена стрелка, указывающая положение органов управления паровой машины. С ротором сельсина-датчика связана зубчатая рейка *4*. При максимальном угле поворота рычага *1* пускового клапана и штурвала реверса *12* зубчатая рейка, воздействуя на конечные выключатели *2* или *5*, разрывает электрическую цепь ДУ и исполнительный механизм выключается.

Рассмотренная система ДУ обеспечивает двухскоростной режим регулирования работы паровой машины, т. е. полный ее реверс (с «Полного вперед» на «Полный назад») может быть произведен в соответствии с требованием Речного Регистра за 15 *сек* или за большее время. В последнем случае достигается более плавное изменение числа оборотов паровой машины.

Плавная регулировка числа оборотов машины достигается при таком положении рукоятки *20* поста управления, когда открыты н. з. контакты *22* и питание подается к электродвигателю *ЭД* через балластное сопротивление *R*.

В случае необходимости для ускорения процесса реверса рукоятку *20* поста управления поворачивают в ту или другую сторону в такое положение, при котором будут замкнуты н. о. контакты *23*. В этом случае ток от магнитной станции будет подаваться к электродвигателю, минуя балластное сопротивление *R*. Электродвигатель будет работать с бóльшим числом оборотов и обеспечит реверс машины в установленное Речным Регистром время.

§ 34. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОДУВАНИЕ ЦИЛИНДРОВ ПАРОВОЙ МАШИНЫ

С помощью устройства для продувания удаляют воду из цилиндров при прогревании и пуске паровой машины, когда происходит интенсивная конденсация пара, поступающего в нее, а также во время работы машины, когда в ее цилиндры из котла вместе с паром может поступать вода. Во всех этих случаях скопление воды в цилиндрах может привести к аварийным повреждениям машины.

Схема одного из автоматических приводов кранов продувания изображена на рис. 75.

Автоматическая система продувания цилиндров состоит из гидравлического сервомотора *14*, соединенного с циркуляционной системой смазки машины, датчиков *5*, смонтированных на предохранительных клапанах паровой машины, и электрического реле *3*, управляемого электромагнитным клапаном сброса *2*.

Гидравлический сервомотор в системе выполняет роль исполнительного элемента, а клапан сброса — роль усилителя.

Автоматический привод кранов продувания работает по релейному принципу «Включено — Выключено».

При пуске машины давление в системе смазки возрастает и поршень *15* сервомотора, сжимая пружину *13*, через шток *12* и рычаг *10* поворачивает по часовой стрелке валик *9*, сблокированный с кранами продувания всех цилиндров машины.

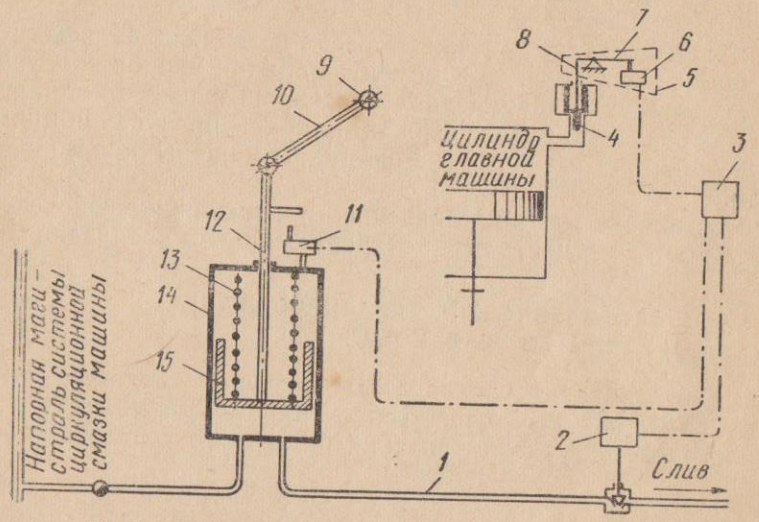


Рис. 75. Схема автоматического привода кранов продувания цилиндров паровых машин

При перемещении поршня *15* сервомотора в крайнее верхнее положение краны продувания цилиндров машины полностью закрываются и дальнейшая работа ее при условии полного удаления конденсата из цилиндров происходит с закрытыми кранами продувания.

Если же при пуске машины в ход не весь конденсат был удален из цилиндров до момента закрытия кранов продувания или на ходу машины в цилиндры попала вода, то это приведет к подъему предохранительного клапана *4*. Шток *8* предохранительного клапана в этом случае повернет рычаг *7*, сработает микропереключатель *6* датчика *5* и через реле *3* к электромагнитному клапану сброса *2* поступит ток от судовой электросети. Электромагнитный клапан сброса откроется и сообщит нижнюю полость гидравлического сервомотора со сливной магистралью *1*. Давление масла в сервомоторе упадет, поршень под действием пружины *13* опустится вниз, что приведет к открытию кранов продувания цилиндров паровой машины.

При достижении поршнем *15* крайнего нижнего положения сработает конечный выключатель *11*, электрическая цепь питания реле *3* разорвется и электромагнитный клапан сброса снова закроет сливную магистраль *1*. Под давлением масла в циркуляционной системе смазки поршень *15* сервомотора вновь переместится вверх, закрывая краны продувания. Электрическая цепь будет подготовлена к включению системы при очередном срабатывании предохранительного клапана.

Если при движении поршня *15* вверх из цилиндров машины не будет удалена вся вода, то в момент закрытия кранов продувания вновь произойдет срабатывание предохранительного клапана *4*, система включится и будет удерживать краны продувания в открытом положении до тех пор, пока цилиндры машины не освободятся от воды.

При остановке машины давление в циркуляционной системе смазки падает, что приводит к открытию кранов продувания.

§ 35. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ В КОТЛЕ

Для регулирования уровня воды в главных судовых паровых котлах применяют преимущественно гидромеханические и термогидравлические регуляторы питания различного исполнения.

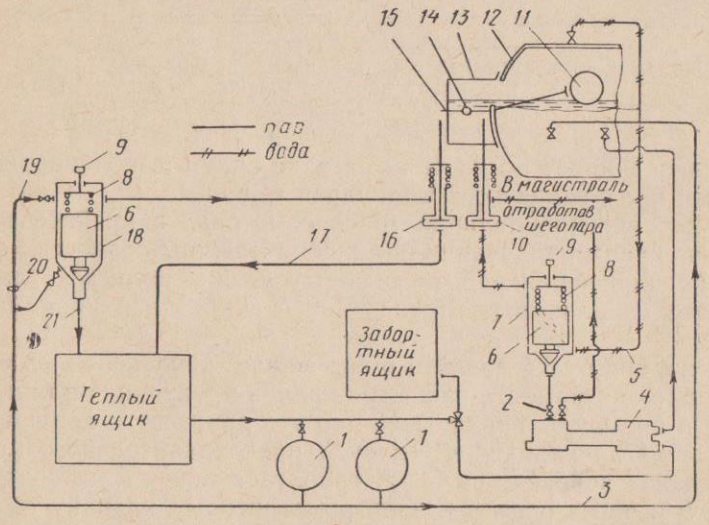


Рис. 76. Принципиальная схема гидромеханического регулятора питания

На рис. 76 изображен гидромеханический релейный регулятор питания прямого действия, получивший наиболее широкое распространение на судах речного флота.

Автомат питания состоит из клапана сброса *18*, парового регулирующего клапана *7*, поплавка *11* с рычагом и двух датчиков *16* и *10*. Клапаны датчиков открываются двуплечим рычагом *15*, который закреплен на конце валика *14*, выведенного за пределы поплавковой камеры *13*, и закрываются под действием пружин. Поплавок *11* с рычагом *15*, представляющий собой чувствительный элемент, в совокупности с датчиками *10* и *16* составляют измерительный элемент автоматической системы. Принцип действия клапана сброса *18* и парового регулирующего клапана *7* одинаков: они работают по релейному принципу.

В корпусе парового регулирующего клапана установлен разгрузочный поршенек *6* с отверстием диаметром 2 *мм*. В нижней части он имеет форму игольчатого клапана, сверху он нагружен пружиной *8*, давление на которую регулируется установочным винтом *9*.

Клапан сброса имеет аналогичное устройство и отличается от парового регулирующего клапана только тем, что у него верхняя полость сообщается с нижней не через сверление в поршеньке, а через трубопровод *19* с дроссельной шайбой *20*.

Клапан сброса трубопроводами *21* и *17* через датчик *16* соединен с теплым ящиком.

Автоматическая система обеспечивает подачу воды в котел машинопитательными насосами *1* при работе главных машин и резервным насосом *4* на стоянке. При работе машинопитательных насосов вода из теплого ящика подается по трубопроводу *3* в котел и по трубопроводу *19* — в верхнюю и нижнюю полости клапана сброса. Резервный насос выключен (клапан *2* закрыт). При понижении уровня воды в котле *12* поплавок, опускаясь, поворачивает валик *14* и соединенный с ним двуплечий рычаг *15* по часовой стрелке. Клапан датчика *16* в этом случае под действием пружины закроется, трубопровод *17* разобщится от теплого ящика, отчего давление в верхней полости клапана сброса увеличится, поршенек *6* переместится вниз и перекроет трубопровод *21*. Вся вода, забираемая питательными насосами из теплого ящика, будет подаваться в котел.

При повышении уровня воды в котле *12* клапан датчика *16* открывается и соединяет верхнюю полость клапана сброса с теплым ящиком, отчего давление в верхней полости клапана упадет и поршенек *6*, сжимая пружину, переместится вверх, трубопровод *21* сообщится с теплым ящиком и подача воды в котел прекратится.

Аналогично действует и паровой регулирующий клапан *7*. При понижении уровня воды в котле верхняя полость клапана сообщается с магистралью отработавшего пара, поршенек *6* поднимается и пар из котла по трубопроводу *5* поступает к насосу. Насос автоматически включается в работу.

Когда вода в котле достигнет рабочего уровня, клапан датчика *10* закроется, верхняя полость парового регулирующего клапана

разобщится от магистрали отработавшего пара, поршенек *6* опустится вниз, подача пара к насосу прекратится и насос выключится.

При работе автоматической системы подача воды в котел в зависимости от величины открытия клапанов датчиков регулируется в пределах установленной производительности насосов.

При достижении предельных уровней воды в котле срабатывает сигнализатор, принципиальная схема которого изображена на рис. 77.

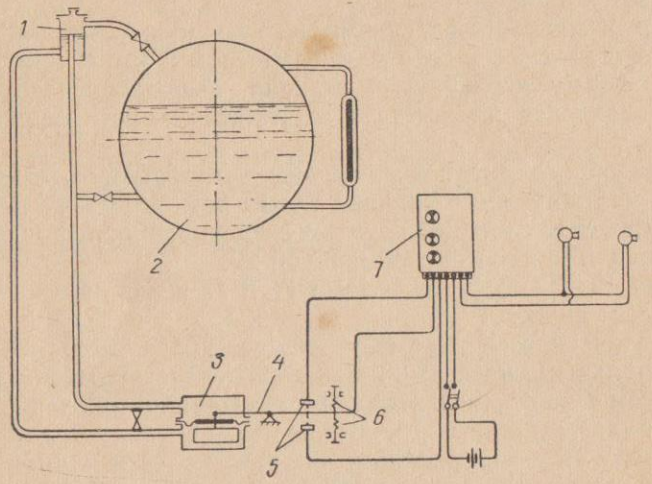


Рис. 77. Принципиальная схема сигнализатора предельного уровня воды в котле

Изменение уровня воды в барабане котла *2* воспринимается через конденсационный бачок *1* мембраной измерительного элемента *3* и передается рычагу *4*. Величина перемещения рычага в зависимости от пределов колебания уровня воды в котле устанавливается пружинами настройки *6*. Как видно из этой схемы, при достижении предельных уровней воды в котле замыкается один из контактов *5* микропереключателя, на щите управления *7* загорается соответствующая лампочка и включается звуковая сигнализация.

Термогидравлический регулятор питания прямого действия (рис. 78) состоит из датчиков *18* и *17*, которые представляют собой плотно закрытые цилиндры с ребристой наружной поверхностью для лучшего отвода тепла. Внутри датчиков проходят трубки *16*, соединенные с паровым и водяным пространством котла. Кольцевое пространство между цилиндрами и трубками *16* до рабочего уровня заполнено дистиллированной водой. Исполнительный механизм *10* состоит из клапана *11*, иглы *5* и измерительного сильфона *7*, нагруженного пружиной *8*. Общая длина иглы регулируется талрепом *9*.

Датчики трубками *6* и *19* сообщаются с исполнительным механизмом *10*, резервным насосом *2* и электроконтактным манометром *21*. При понижении уровня воды в котле *14* понизится уровень воды и в трубках *16*, что приведет к дополнительному испарению дистиллированной воды в кольцевом пространстве датчиков; давление в трубках *6* и *19* при этом возрастет и измерительный сильфон, преодолевая сопротивление пружины, прикроет клапан *11*. Слив воды из питательной магистрали *13* в теплый ящик *3* уменьшится и подача воды в котел увеличится. С повышением уровня воды в котле давление в соединительных трубках падает и сброс воды из питательной магистрали в теплый ящик по трубопроводу *4* усилится,

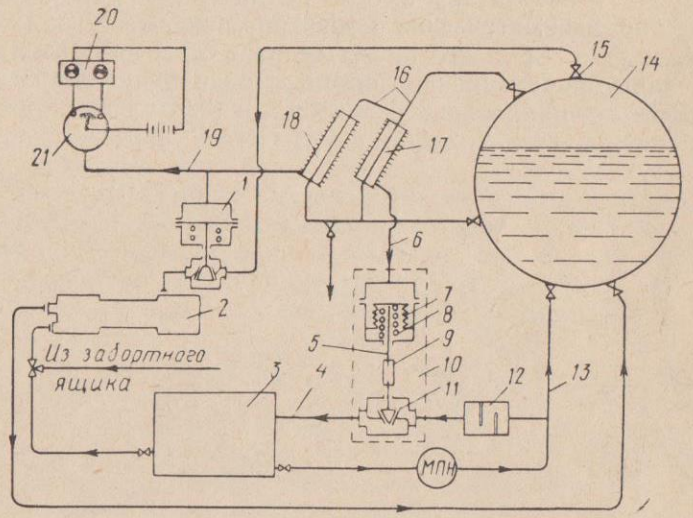


Рис. 78. Термогидравлический регулятор питания

а подача воды в котел уменьшится. Для предохранения клапана *11* от возможного засорения на сливной магистрали установлен фильтр *12*.

При неисправности питательных насосов в ходу и на стоянке включается резервный насос *2* (открывается клапан *15*). Производительность насоса регулируется клапаном *1*.

В момент достижения предельных уровней воды в котле стрелка электроконтактного манометра *21*, замыкая электрическую цепь, включает электрический звонок и одну из сигнальных ламп на щите *20*.

Термогидравлические регуляторы питания устанавливают вне котла, поэтому их можно ремонтировать, не выводя котел из эксплуатации.

Опытная эксплуатация термогидравлических регуляторов показала, что только одно автоматическое регулирование уровня воды в котле повышает среднюю эксплуатационную мощность силовой установки на 6—7% и одновременно увеличивает ее экономичность на 3—4%.

§ 36. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Конструкции регуляторов процесса горения, применяемых в настоящее время на судах речного флота, весьма разнообразны. В зависимости от конструктивного исполнения регуляторы процесса горения, как и регуляторы питания, делятся на механические, гидравлические, пневматические и электрические.

В последнее время на многих судах, главные котлы которых оборудованы паровыми форсунками, устанавливают гидравлические регуляторы горения, разработанные Ленинградским институтом водного транспорта совместно с ЦПКБ Министерства речного флота.

Автоматический регулятор давления пара АРДП поддерживает в котле постоянное давление при всех режимах его работы путем изменения количества топлива и пара, подаваемых к форсунке.

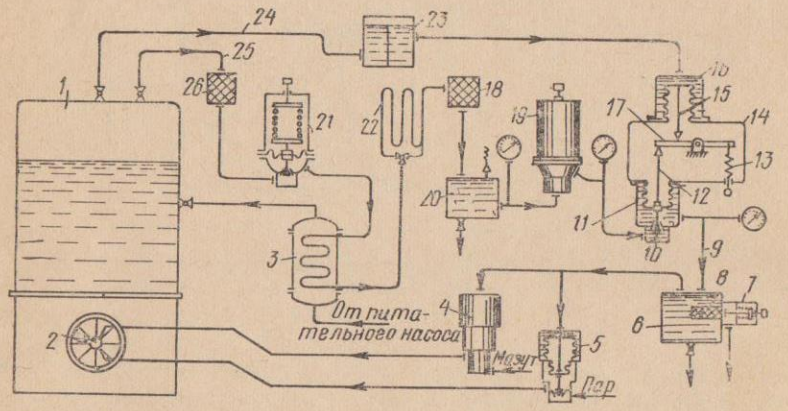


Рис. 79. Схема автоматического регулятора давления пара

В схему регулятора АРДП включены фильтры *8, 26* и *18* (рис. 79), паровой редукционный клапан *21* и водяной *19*, два бачка-отстойника *20* и *6*, измерительный элемент *14*, два регулирующих мазутных клапана *4* и два паровых *5*. Конструкция фильтров *26* и *18* одинакова: они очищают пар и воду от механических примесей и предохраняют клапан *10* измерительного элемента от возможного засорения. Фильтр *26* соединен паропроводом *25* с котлом *1*. Из фильтра пар поступает в паровой редукционный клапан *21*, в корпус которого вмонтирована мембрана из нержавеющей стали.

Мембрана нагружена сверху пружиной, сила упругости которой регулируется установочным винтом.

Пар давлением 4,5—5 *кГ/см²*, вышедший из парового редукционного клапана, пройдя конденсаторы *3* и *22* и водяной фильтр *18*, поступает в бачок-отстойник *20*. Бачок снабжен спускным и предохранительным клапанами. Водяной редукционный клапан *19* понижает давление образовавшегося конденсата до 1,6—1,7 *кГ/см²*. Клапан имеет резиновую мембрану, а в остальном его конструкция аналогична конструкции парового редукционного клапана. Давление в трубопроводе после редукционных клапанов определяют по манометрам. При работе АРДП редукционные клапаны всегда открыты. Величина проходного сечения их увеличивается при повышении давления пара в котле и наоборот.

Колебания давления пара в котле по трубопроводу *24* через конденсатный бачок *23* передаются сильфону *16* измерительного элемента, представляющему собой гофрированную трубку с глухим донышком. Нижний конец трубки припаян к корпусу измерительного элемента. При увеличении давления пара в котле сильфон прогибается и через иглу *15*, исполнительный рычаг *17*, шток *12* и сильфон *11* увеличивает величину проходного сечения клапана *10*, отчего возрастает давление конденсата в трубопроводе *9* и бачке-отстойнике *6*.

Образовавшийся конденсат температурой 30—40°С скапливается в бачке *6*, снабженном сливным и предохранительным клапанами. Последний предотвращает повышение давления в магистрали сверх установленного в случае неисправности узлов автоматики. При изменении давления пара в котле верхний сильфон *16* измерительного элемента воздействует на клапан *10*, уменьшая или увеличивая давление конденсата в импульсном трубопроводе *9*. Обратная связь (пружина *13*) измерительного элемента рассчитана на колебание давления в импульсном трубопроводе в пределах 0,7—1,4 *кГ/см²*. Для поддержания этого давления в импульсном трубопроводе бачок *6* снабжен дроссельным клапаном *7*. При увеличении давления в импульсной магистрали проходное сечение дроссельного клапана увеличивается и сброс конденсата в теплый ящик возрастает.

Из бачка *6* конденсат поступает к мазутным *4* и паровым *5* регулирующим клапанам форсунок. Применение конденсата в системе увеличивает чувствительность аппаратуры АРДП при возможных колебаниях давления пара в котле. Он в меньшей степени, чем пар, просачивается через неплотности в соединениях и меньше нагревает регулирующие детали, так как имеет небольшую температуру.

При увеличении давления пара в котле, как было сказано выше, увеличивается и давление конденсата в трубопроводах перед паровым *5* и мазутным *4* регулирующими клапанами. Сильфоны регулирующих клапанов при этом, прогибаясь, прикрывают регулирующие клапаны и уменьшают количество подаваемого к форсунке *2* пара и мазута.

При уменьшении давления в трубопроводах, наоборот, клапаны, приоткрываясь, увеличат количество поступающих в топку пара и мазута и горение усилится. Температура и уровень мазута в расходной цистерне поддерживаются в определенных пределах автоматически.

На рис. 80 показана принципиальная схема релейной автоматической системы регулирования уровня в расходной мазутной цистерне.

Мазут подается в расходную цистерну *9* по трубопроводу *5* насосом *1*. Цистерна снабжена поплавковым регулятором *11*.

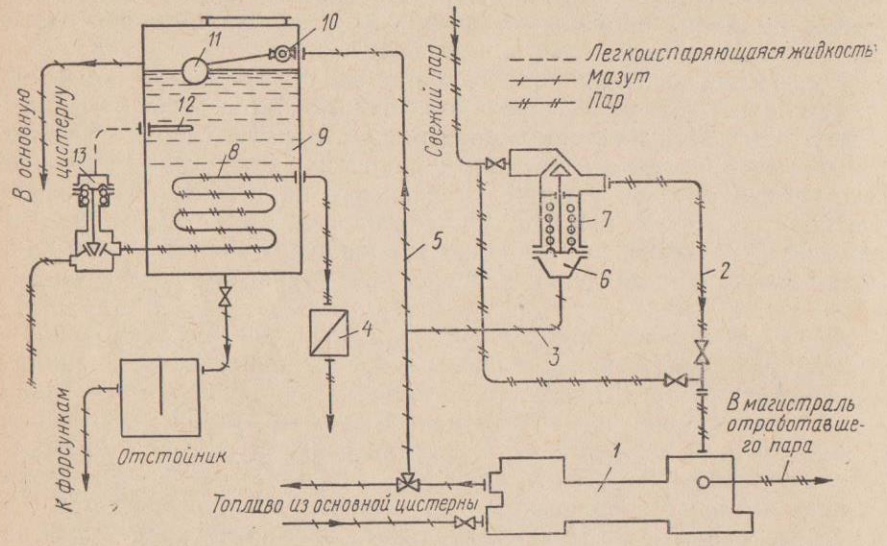


Рис. 80. Принципиальная схема релейной автоматической системы регулирования уровня мазута в расходной цистерне

При достижении наивысшего уровня мазута в цистерне поплавок, поднимаясь, перекрывает двухходовой кран *10*; давление в трубопроводах *5* и *3* при этом возрастает и мембрана *6*, прогибаясь, закрывает паровой клапан. Паровая магистраль *2* перекрывается и мазутный насос выключается.

При понижении уровня мазута в цистерне давление в трубопроводе *5* и давление на мембрану *6* уменьшается, клапан *7* открывается и насос автоматически включается. Таким образом, опускаясь и поднимаясь и непрерывно воздействуя на паровой клапан *7*, поплавок регулирует работу мазутного насоса.

Температура мазута в цистерне поддерживается в пределах 70—80°С с помощью регулятора температуры (термостата) *13*, принцип действия которого заключается в следующем. При повышении температуры мазута в цистерне легко испаряющаяся жидкость (ацетон или метиловый спирт) в термобаллончике *12* испаряется, давление на мембрану термостата возрастает и клапан уменьшает подачу пара в змеевик-подогреватель *8*. При понижении температуры мазута клапан термостата приоткрывается и увеличивает приток пара в подогреватель. Охлажденный пар из подогревателя через конденсационный горшок *4* поступает в теплый ящик.

В настоящее время для регулирования температуры мазута в цистерне применяют терморегуляторы прямого действия с биметаллическими измерительными элементами (рис. 81).

Измерительный элемент такого терморегулятора состоит из набора стальных и алюминиевых трубок *1*. При нагревании или охлаждении мазута трубки изменяют свою длину и перемещают в соответствующую сторону шток *2*, а последний через преобразовательные элементы (рычаги *4* и *5*) перемещает вверх или вниз шток *6*, соединенный с клапаном *7*. Настройка регулятора на заданную температуру производится с помощью упора *3*.

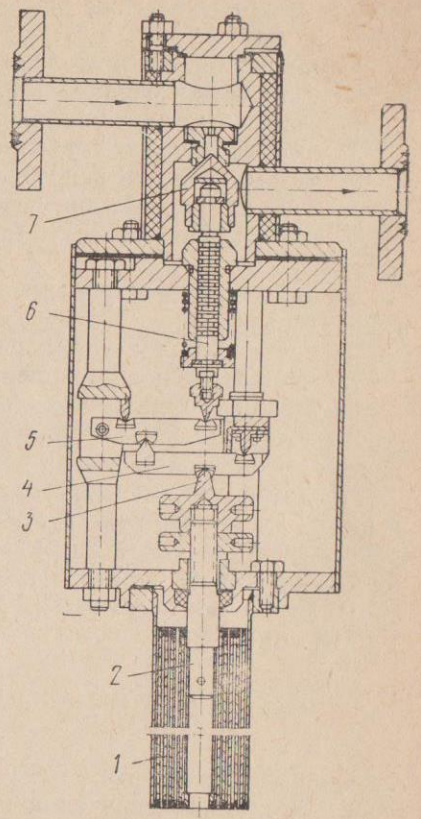


Рис. 81. Терморегулятор с биметаллическим измерительным элементом

Глава IX. АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗЕМСНАРЯДОВ

§ 37. ОБЪЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗЕМСНАРЯДОВ

Среди земснарядов наибольшее распространение получили землесосы.

Управление землесосом заключается в выполнении следующих трех основных операций: пуск, регулирование работы и остановка.

В настоящее время проводятся большие работы по комплексной автоматизации управления всеми механизмами земснарядов, оборудованию их приборами автоматического регулирования, сигнали-

зации и защиты, а также дистанционным управлением из багермейстерской рубки.

Комплексная автоматизация несамоходных дизель-электрических землесосов и черпаковых земснарядов должна включать:

1) автоматическое управление грунтонасосной установкой;
2) автоматическое управление перемещением по траншее;
3) автоматическое регулирование заглубления грунтозаборного устройства и контроля достигаемой глубины;
4) автоматическое регулирование скорости рабочего перемещения;
5) дистанционное управление главными двигателями и дизель-генераторами;
6) дистанционное управление муфтой рефулерного насоса;
7) дистанционное управление пожарным и заливочным насосом;
8) автоматическое управление топливным насосом;
9) автоматическое управление работой санитарной системы и систем горячей воды и отопления.

Средства комплексной автоматизации землесосов, указанные в пп. 5, 7, 8, 9, по конструкции и принципу действия аналогичны рассмотренным выше автоматическим устройствам, используемым на теплоходах (см. гл. VII).

Ниже рассматриваются только автоматические средства, характерные для землесосов.

§ 38. АВТОМАТИЗАЦИЯ ГРУНТОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Основным агрегатом землесоса служит насосная установка, используемая для извлечения и транспортировки грунта. Грунтонасосная установка представляет собой единый комплекс, состоящий из всасывающей части грунтопровода, центробежного насоса, приводимого в движение главным двигателем, и напорной части грунтопровода.

При автоматизации насосной установки стремятся к автоматическому поддержанию наиболее экономичного режима ее работы в различных производственных условиях.

В качестве главных двигателей на землесосах применяют дизели и паровые машины, снабженные регуляторами скорости вращения вала.

На современных землесосах вал главного двигателя соединяется с валом центробежного грунтового насоса с помощью фрикционной муфты.

Грунтонасосные установки современных дизель-электрических землесосов имеют дистанционное автоматическое управление дизелем (главным образом электромеханического типа), дистанционное управление муфтой рефулерного насоса, автоматическое управление механизмом очистки сосунового наконечника, автоматическое управление механизмами перемещения концевого понтона.

Дистанционное управление муфтой рефулерного насоса на дизель-электрических землесосах производится с помощью асинхронного двигателя, включаемого кнопкой, смонтированной на пульте управления землесоса.

Наиболее частая причина нарушения нормальной работы грунтозаборного устройства — засорение сосунового наконечника всасывающей трубы.

Автоматическое управление механизмами, установленными на грунтозаборном устройстве, сводится к включению устройства для очистки сосунового наконечника от посторонних предметов после получения сигнала о засорении. При засорении сосунового наконечника изменяется давление во всасывающей трубе, импульс по давлению воздействует на клапан и он открывает доступ чистой воде, промывающей грунтопровод.

Управление плавучим напорным грунтопроводом в современных землесосах сводится к управлению перемещением концевого понтона.

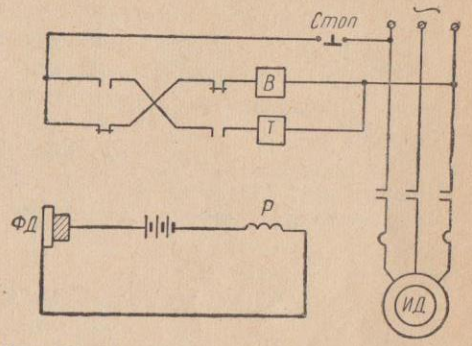


Рис. 82. Принципиальная схема автоматического управления перемещением концевого понтона

Концевой понтон удерживается на месте с помощью двух тросов, наматываемых на барабаны электрифицированной лебедки.

Сигнал о необходимости перемещения концевого понтона подается с помощью фотоэлектрического датчика (рис. 82), фиксирующего момент начала замыва понтона грунтом.

Фотоэлектрический датчик *ФД* укреплен под днищем концевого понтона. При замыве понтона грунтом прозрачность воды под понтоном уменьшится, сопротивление фотоэлемента резко увеличится, ток в обмотке реле *Р* уменьшится и его н. з. контакты замкнутся. Исполнительный двигатель *ИД* подключится к питающей сети и через реверсивный магнитный пускатель *В* будет выбирать трос, перемещая понтон в сторону от грунта. При достижении определенной заданной прозрачности воды под понтоном освещенность фотоэлемента возрастает и в результате увеличения э. д. с. фотоэлемента и снижения его внутреннего сопротивления увеличится ток в обмотке реле *Р*, н. з. контакты разомкнутся и двигатель *ИД* выключится. Если освещенность фотоэлемента превысит установленные пределы, когда запас воды под днищем понтона будет велик, замкнутся н. о. контакты в питающей сети электродвигателя. Последний через реверсивный магнитный пускатель *Т* будет ослаблять натяжение троса, в результате чего понтон с плавучим грунтопроводом будет перемещаться в сторону грунта.

В качестве датчиков глубины используют также грузы, подвешенные к понтону на тросах определенной длины. Когда груз касается грунта, натяжение троса уменьшается, отчего замыкаются контакты магнитного пускателя *В* и двигатель перемещает понтон в сторону от грунта.

§ 39. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ СНАРЯДОВ ПО ТРАНШЕЕ

Для разработки прорези заданных размеров землесос перемещают в пределах прорези с таким расчетом, чтобы траншеи покрыли всю ее площадь или определенную часть.

Чтобы получить возможность управлять перемещением землесоса по прорези, необходимо непрерывно определять его положение на ней.

В последние годы получают распространение ультразвуковые импульсно-дальномерные устройства для определения положения землесоса на прорези. Блок-схема устройства показана на рис. 83.

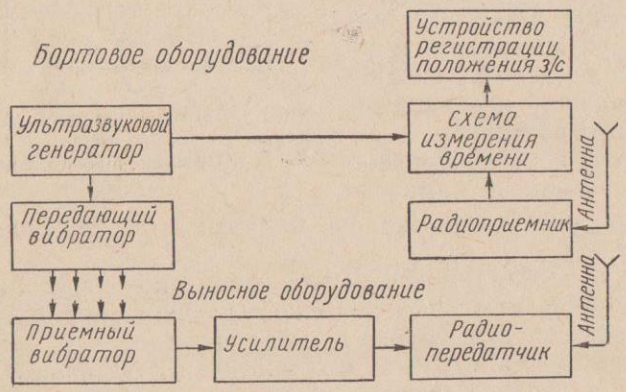


Рис. 83. Блок-схема устройства для определения местонахождения землесоса

Принцип действия устройства заключается в следующем. Ультразвуковой генератор, установленный на борту землесоса, через передающий вибратор периодически излучает импульсы, распространяющиеся в воде вокруг землесоса. В определенных точках реки на якорях устанавливают плавучие буи, каждый из которых содержит приемный ультразвуковой вибратор, усилитель и радиопередатчик. Приемный ультразвуковой вибратор воспринимает ультразвуковые сигналы, посылаемые с борта землесоса, и преобразует их в электрические сигналы, поступающие после усиления на вход радиопередатчика. Радиоимпульс от радиопередатчика в свою очередь воспринимается радиоприемным устройством, установленным на борту землесоса.

В зависимости от интервала времени между посылкой ультразвукового сигнала с борта землесоса и приходом ответного сигнала определяется расстояние между землесосом и буем.

Устройство для определения местонахождения землесоса содержит три канала измерения дальности (рис. 84): два для определения местоположения всасывающего устройства и одно для определения направления оси корпуса землесоса.

Чтобы определить, от какого из приемных буев поступает ответный радиосигнал, в схеме автоматического устройства для определения местонахождения землесоса обычно предусматривается частотно-временное разделение каналов. Сущность его заключается в следующем. На борту землесоса установлены три передающих вибратора. В носовой части землесоса устанавливают вибраторы, излучающие ультразвуковые импульсы с частотой F_1 и F_2, в кормовой части — вибратор, излучающий импульс с частотой F_2. Буй № 1 настроен на частоту F_1, буй № 2 — на частоту F_2.

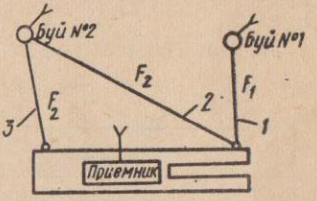


Рис. 84. Схема устройства для определения местонахождения землесоса

Передающие вибраторы возбуждаются поочередно: сначала срабатывает носовой вибратор F_1, затем носовой вибратор F_2, и, наконец, кормовой вибратор F_2.

Сигнал с частотой F_1 воспринимается приемным вибратором буя № 1. Радиопередатчик буя № 1 в этот момент излучает ответный радиоимпульс с частотой f. Бортовой радиоприемник воспринимает сигнал и подает его на вход схемы измерения времени, с которой через коммутатор сигнал подается в канал *1* устройства для определения местонахождения землесоса. После регистрации дальности по каналу *1* включается носовой передающий вибратор F_2 и устройство регистрирует дальность по каналу *2*. Затем срабатывает передающий вибратор F_2 в кормовой части землесоса, регистрирующий дальность по каналу *3*.

Сигналы об отклонении корпуса землесоса от оси траншеи поступают к системе автоматического управления рабочим перемещением.

Сигнал об отклонении носовой части корпуса землесоса от оси траншеи вправо или влево автоматически включает соответственно левую или правую папильонажную лебедку. Лебедка выбирает трос и устраняет отклонение. Таким же образом работают и кормовые папильонажные лебедки, получающие сигналы об отклонении кормовой части корпуса землесоса от оси траншеи.

Становые лебедки обеспечивают движение землесоса вдоль траншеи.

Скорость вращения барабана становой лебедки автоматически поддерживается в таких пределах, при которых не нарушается процесс всасывания и отвода грунта.

§ 40. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИН ДО И ПОСЛЕ РАБОТЫ ЗЕМЛЕСОСА. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЗАГЛУБЛЕНИЯ СОСУНА

Автоматическое измерение глубин на большинстве землесосов производится эхолотами. Для этого на землесосах устанавливают четыре эхолота (рис. 85).

Передний эхолот *1* измеряет глубину до работы землесоса. По его показаниям судят о толщине снимаемого слоя. Эхолоты *2* и *4* определяют глубину соответственно на левом и правом гребнях траншеи. С помощью эхолота *3* определяют глубину по оси траншеи.

Источником питания эхолота является судовая электросеть.

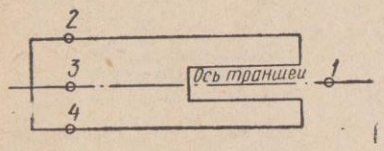


Рис. 85. Схема размещения эхолотов на землесосе

Принцип действия эхолота заключается в следующем. При подаче тока к электродвигателю *4* (рис. 86) через систему шестеренок получает вращение диск *3* с неоновой лампой и кулачок *5*. В момент, когда неоновая лампа, вращаясь вместе с диском, проходит через нулевое деление неподвижной шкалы, кулачок разрывает электрическую цепь, создавая в сердечнике вибратора-излучателя *6* высокочастотное магнитное поле, под действием которого с излучающей поверхности последнего ко дну водоема подается импульс упругих колебаний. Отраженный ультразвуковой импульс улавливается вибратором-приемником *1* и, пройдя через усилитель *2*, в виде сигнального импульса подается на неоновую лампу. За время прохождения импульса упругих колебаний до дна водоема и обратно диск с неоновой лампой повернется относительно неподвижной шкалы на некоторый пропорциональный глубине угол. Неподвижная шкала градуирована в сантиметрах, так что по вспышке неоновой лампы в момент подачи на нее сигнала от вибратора-приемника можно сразу же определить запас воды под днищем судна.

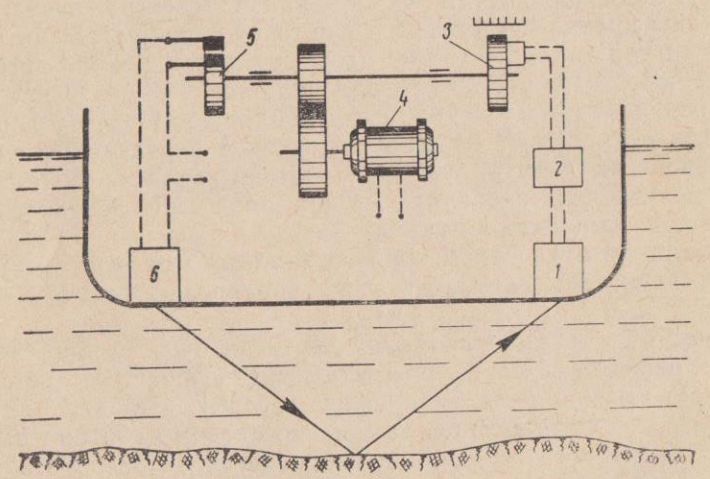


Рис. 86. Принципиальная схема эхолота

На современных дизель-электрических землесосах, построенных в Чехословацкой Социалистической Республике, для измерения глубин устанавливается так называемый эхограф, измеряющий глубины в девяти точках поперечного сечения траншеи; при этом на ленте эхографа автоматически вычерчивается поперечный профиль разрабатываемой траншеи.

На современных электрифицированных землесосах глубина опускания наконечника всасывающей трубы изменяется с помощью рамоподъемной лебедки, барабан которой приводится во вращение асинхронным двигателем переменного тока.

При управлении вручную багермейстер определяет момент касания наконечником грунта на глаз по появившейся слабине троса.

Автоматическое управление заглублением наконечника сосуна сводится к управлению реверсивным магнитным пускателем, производящим включение, выключение и реверс электродвигателя рамоподъемной лебедки.

Принципиальная схема управления заглублением сосуна изображена на рис. 87.

В схему управления введены задающие потенциометры верхнего $R_в$ и нижнего $R_н$ положений сосуна, связанные движками через трехпозиционные поляризованные реле *РВ* и *РН* с потенциометром $R_и$, установленным в измерителе глубины опускания наконечника.

При соответствии положений движков потенциометров якоря реле *РВ* и *РН* находятся в нейтральном положении.

Если напряжение на потенциометре $R_в$ или $R_н$ будет меньше напряжения на потенциометре $R_и$, реле *РВ* и *РН* сработают и замкнут контакты $РВ_2$ и $РН_2$, приводя к срабатыванию реле *РО* и опусканию сосуна.

При напряжении на потенциометрах $R_в$ или $R_н$, большем напряжения на потенциометре $R_и$, реле *РВ* и *РН* замыкают контакты $РВ_1$ и $РН_1$, что приводит к срабатыванию реле *РП* и подъему сосуна.

В цепь обмоток подъема *РП* и опускания *РО* сосуна включены концевые выключатели *КП* и *КО*, установленные в измерителе глубины опускания сосуна.

В конечных положениях сосуна концевые выключатели через реле *РП* или *РО* размыкают соответственно контакты $К_1$ или $К_2$ в цепи магнитного пускателя и электродвигатель рамоподъемной лебедки выключается.

В цепь обмотки реле *РО* включен также размыкающий контакт *Т* тягомера рамоподъемного троса, отключающий реле опускания

РО при уменьшении натяжения троса, прекращая работу лебедки после того как наконечник сосуна ляжет на грунт.

Принцип действия тягомера основан на зависимости усилия, необходимого для изгибания троса при его натяжении. Как видно из рис. 88, трос рамоподъемной лебедки изгибается тремя роликами, закрепленными на вилке *3* в шариковых подшипниках.

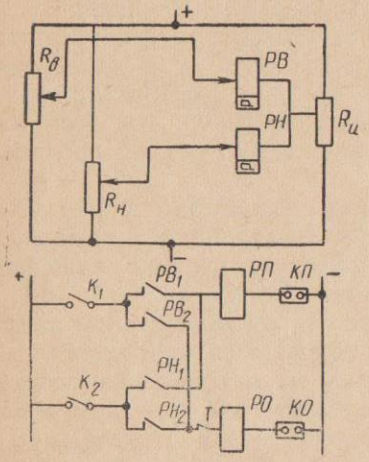


Рис. 87. Принципиальная схема управления заглублением сосуна

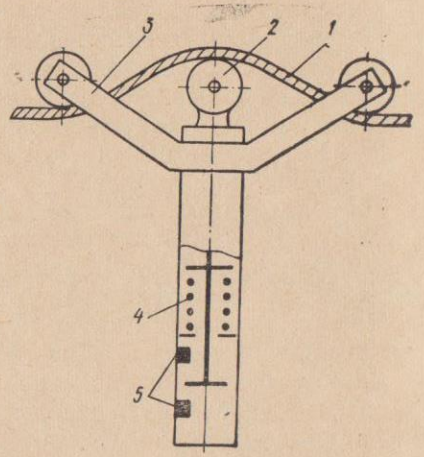


Рис. 88. Схема тягомера

Средний ролик *2* может перемещаться в направляющих относительно вилки в зависимости от усилия в тросе рамоподъемной лебедки. Усилие, с которым трос *1* давит на средний ролик, уравновешивается натяжением пружины *4*.

Если наконечник сосуна достигнет грунта, натяжение троса уменьшается, средний ролик *2* под действием пружины перемещается в сторону троса, контакт *5*, связанный с реле *РО* (см. рис. 87), размыкает электрическую цепь электродвигателя рамоподъемной лебедки и опускание рамы с наконечником сосуна прекратится.

При полной автоматизации управления работой рамоподъемной лебедки в схему, изображенную на рис. 87, включается также автоматический измеритель колебаний уровня воды.

Если уровень воды в реке изменяется, специальное устройство увеличивает его заглубление при повышении уровня воды в реке и уменьшает при падении уровня относительно средней отметки.

§ 41. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ РАБОЧЕГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗЕМЛЕСОСА

На землесосах применяется система автоматического регулирования скорости рабочего перемещения САРЗ-4км, используемая на дизель-электрических землесосах производительностью 650 $м^3/ч$ (ЧССР) и САРЗ-5к, используемая на землесосах типа «Сормовский» с технической производительностью 650 $м^3/ч$ (завод «Красное Сормово»).

Автоматическое регулирование скорости рабочего перемещения землесоса осуществляется с помощью специальных реле, изменяющих ток возбуждения генератора и, следовательно, скорость вращения вала двигателя становой лебедки.

Реверс двигателя лебедки достигается путем изменения полярности напряжения на зажимах генератора с помощью кулачкового переключателя, изменяющего направление тока в обмотке возбуждения генератора.

Надежность действия САРЗ во многом зависит от устройств, обеспечивающих его эксплуатацию с наивысшей в данных условиях производительностью. Большую роль играют датчики автоматической системы: консистомеры, подачемеры, манометры, вакуумметры, тягомеры и расходомеры.

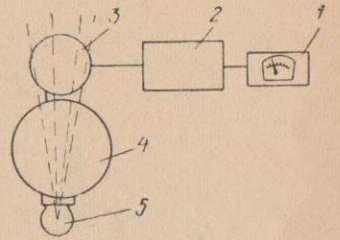


Рис. 89. Принципиальная схема гамма-грунтомера

На землесосах применяют консистомеры самых разнообразных конструкций, измеряющие процентное содержание грунта в пульпе. Их называют также грунтомерами. Действие грунтомеров основано на взвешивании некоторого определенного объема пульпы, измерении разности давлений в различных точках грунтопровода и просвечивании грунтопровода с помощью радиоактивных изотопов. К приборам последнего типа относится гамма-грунтомер, показанный на рис. 89.

Гамма-грунтомер состоит из ампулы с радиоактивным веществом (обычно с изотопом кобальта), заключенной в латунную гильзу (для улавливания α-лучей) и свинцовый контейнер (для защиты людей от вредного действия α-лучей).

Контейнер *5* с ампулой прикрепляют хомутом к нижней части всасывающего или напорного грунтопровода *4*. Над контейнером, с противоположной стороны грунтопровода, устанавливают ионизационную камеру *3*. Излучаемые изотопом через небольшое отверстие в контейнере α-лучи проходят через стенки трубопровода и движущуюся по нему пульпу. В ионизационной камере *3* измеряется интенсивность лучей, зависящая от количества грунта, содержащегося в пульпе. Чем больше грунта в пульпе, тем меньше интенсивность α-лучей. Ток, возникающий в ионизационной камере под влиянием α-лучей, пройдя усилитель *2*, поступает в указатель прибора, представляющий собой микроамперметр *1* со шкалой, градуированной в процентах насыщения пульпы грунтом.

Подачемер автоматически измеряет расстояния, проходимые земснарядом по длине прорези. Он состоит из ролика *3* (рис. 90), который под действием собственного веса всегда прижат к становому тросу *2* независимо от его натяжения. При выбирании троса

лебедкой ролик катится по нему; каждый оборот ролика соответствует определенной длине троса. Внутри ролика помещен сельсин-датчик, соединенный кабелем с сельсином-приемником, вмонтированным в прибор *1*. Поворот валика сельсина-датчика приводит к повороту ротора сельсина-приемника, а следовательно, и стрелки

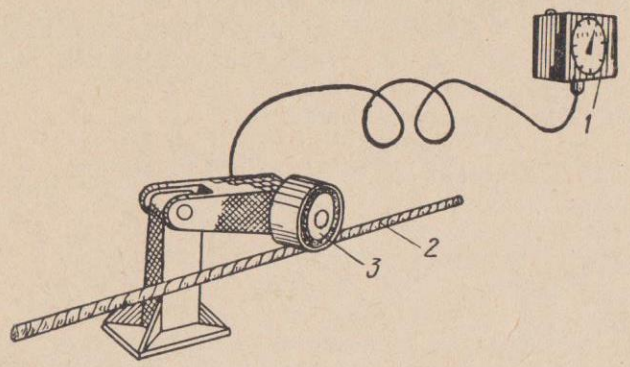


Рис. 90. Схема устройства подачемера

указателя. Указатель имеет не только стрелку со шкалой, но и счетчик числа метров выбранного лебедкой троса.

Для измерения давления в напорной части грунтопровода и вакуума во всасывающей части грунтопровода в САРЗ, как было сказано выше, включаются электроконтактные манометры и вакуумметры. Они имеют одинаковые конструкцию и принцип действия и состоят из латунной трубки эллиптического сечения, заключенной в корпус. Один конец трубки жестко укреплен в корпусе и через ниппель связан с грунтопроводом, второй может свободно перемещаться в корпусе. Свободный конец через систему рычагов, секторов и шестеренок связан со стрелкой прибора.

При достижении предельных значений давлений и вакуума в грунтопроводе манометры и вакуумметры замыкают соответствующие реле в электрической схеме САРЗ, таким образом изменяя режим работы землесоса.

Конструкция и принцип действия тягомера рассматривались в § 40 (см. рис. 88).

Расход пульпы определяется как произведение скорости ее движения на поперечное сечение грунтопровода.

Автоматически действующие расходомеры работают по принципу измерения перепада давления в переменном сечении грунтопровода и измерения э. д. с., которая возникает в пульпе, проходящей по помещенному в магнитное поле грунтопроводу.

Электроиндукционный способ измерения расхода пульпы положен в основу индуктивных измерителей, поставляемых Чехословацкой Социалистической Республикой.

На рис. 91 показана принципиальная схема прибора.

В магнитном поле электромагнита *5* помещена часть грунтопровода *3*, изготовленная из немагнитного материала нержавеющей стали или стеклопластика. В грунтопровод вставлены два электрода *4*, разность потенциалов которых увеличивается усилителем *2* и измеряется микроамперметром *1*.

Электромагнит смонтирован на трубе и закрыт разъемным по диаметру стальным водонепроницаемым кожухом.

Питание подводится к электромагниту от судовой сети переменного тока.

Возникающая в приборе э. д. с., пропорциональная скорости протекания пульпы, фиксируется микроамперметром *1*, шкала которого градуирована в единицах скорости или в единицах объема.

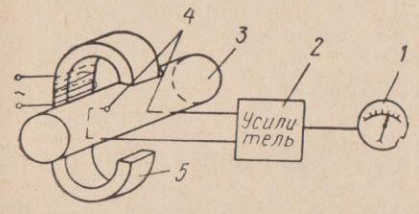


Рис. 91. Электроиндукционный расходомер

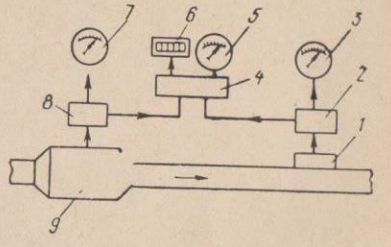


Рис. 92. Блок-схема датчика производительности землесоса

Расходомеры пульпы в сочетании с консистомерами используются в системах автоматики как датчики производительности землесосов.

На рис. 92 приведена блок-схема такого прибора, измеряющего консистенцию и расход пульпы, т. е. производительность землесоса. Консистомер *1* и расходомер *9* имеют усилители *2* и *8* и измерительные приборы *3* и *7*. Сигналы, характеризующие консистенцию и расход пульпы, поступают на множительный блок *4*. На выходе множительного блока установлены контрольно-измерительный прибор *5*, шкала которого градуируется в единицах производительности землесоса по грунту, и суммирующий счетчик *6*, показывающий объем грунта, прошедшего через поперечное сечение грунтопровода.

Суммирующий счетчик обычно устанавливают в рубке управления землесосом.

Рассмотренные выше приборы — тягомер, подачемер, консистомер и др. — служат составной частью системы автоматического регулирования работы земснарядов САРЗ.

САРЗ-4км и САРЗ-5к выполнены в виде отдельных блоков: датчиков, блоков реле, пультов управления, сервоприводов, блоков питания. Все блоки связаны электрическим кабелем. Конструкции блоков САРЗ-4км и САРЗ-5к унифицированы.

Блок-схема САРЗ-4км изображена на рис. 93. Перемещения земснаряда вдоль прорези производится с помощью становой лебед-

ки *Л*, вал которой через магнитную муфту *М* механически связан с исполнительным двигателем *ИД*.

В схему включены датчики *Д*: консистомер, вакуумметр, манометр, тягомер, подачемер, которые в зависимости от режима работы земснаряда воздействуют на генератор *Г*, увеличивая или уменьшая скорость перемещения земснаряда вдоль прорези, или на магнитную муфту *М*. В последнем случае перемещение землесоса по прорези прекращается или лебедка включается в работу.

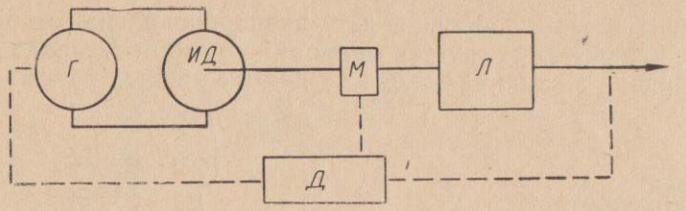


Рис. 93. Блок-схема САРЗ-4км

На рис. 94 показана основная часть принципиальной схемы САРЗ-4км.

САРЗ-5к имеет ту же самую принципиальную схему, но в ней использован несколько отличный от САРЗ-4км метод выбора скоростей. Скорость вращения серводвигателя становой лебедки на землесосах «Сормовский» регулируется с помощью системы генератор — двигатель с контроллерным управлением.

Как было сказано выше, перемещение землесоса по траншее производится с помощью троса, который наматывается на барабан передней становой лебедки, связанный через разобщительную магнитную муфту и редуктор с валом электродвигателя постоянного тока, который питается от отдельного генератора по системе генератор — двигатель. Генератор вращается асинхронным двигателем, подключенным к бортовой сети переменного тока.

САРЗ-4км оказывает воздействие на электропривод становой лебедки через магнитную муфту *ММС* сервопривода реостата возбуждения. При управлении вручную магнитная муфта обесточивается.

Включение магнитной муфты производится с помощью тумблера «Привод» одновременно с включением обмотки независимого возбуждения *ОВ* серводвигателя *СД* и подачей напряжения на контакты реле *РМ* («реле меньше») и *РБ* («реле больше»).

Управление серводвигателем производится с помощью контактов реле *РБ* и реле *РМ*, образующих контактный мостик, в диагональ которого включен якорь серводвигателя.

Срабатывание реле *РМ* приводит к повороту реостата возбуждения в сторону снижения скорости перемещения землесоса по траншее; срабатывание реле *РБ* вызывает поворот реостата возбуждения в сторону увеличения этой скорости.

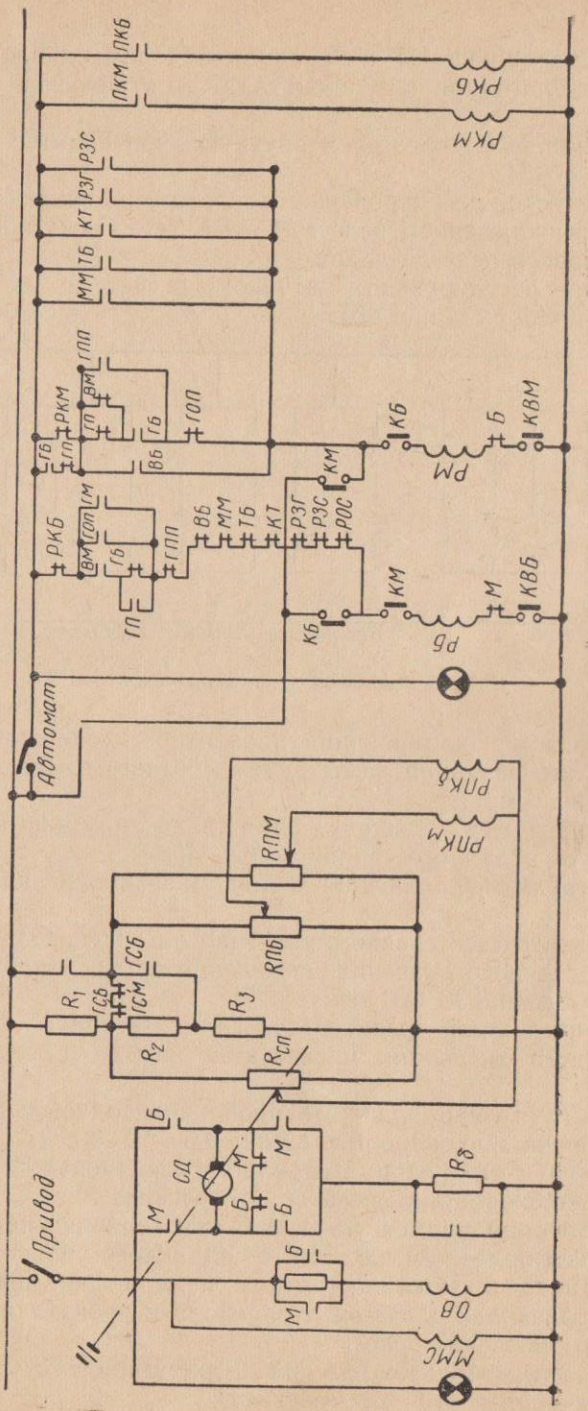


Рис. 94. Принципиальная схема САРЗ-4км

Обесточивание реле *РМ* и *РБ* приводит к замыканию якоря серводвигателя, благодаря чему происходит электрическое торможение последнего.

Управление серводвигателем вручную производится с помощью кнопок *КБ* и *КМ*.

Автоматическое регулирование скорости перемещения землесоса производится включением реле *РМ* и *РБ* через счетно-решающие группы контактов реле датчиков.

В качестве регулирующих датчиков в системе использованы следующие приборы (рис. 95):

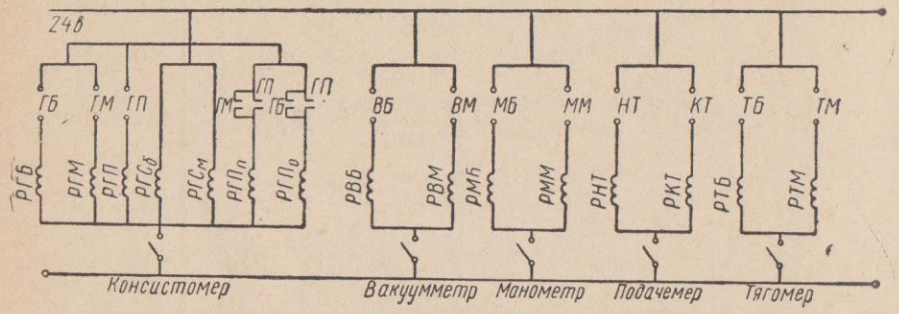


Рис. 95. Схема включения датчиков САРЗ

1. Консистомер, измеряющий процентное содержание грунта в пульпе и вызывающий замыканием соответствующих контактов срабатывание реле:

РГБ («грунтомер больше») — при увеличении насыщения пульпы грунтом от заданного уровня на 0,2—0,3%;

РГМ («грунтомер меньше») — при уменьшении насыщения на 0,2—0,03%;

$РГС_б$ («грунтомер среднего значения насыщения») — при повышении усредненного значения насыщения от заданного уровня на 0,6—0,7% в течение 30—60 *сек*;

$РГС_м$ («грунтомер среднего значения насыщения») — при снижении среднего значения насыщения на 0,6—0,7% в течение 30—60 *сек*;

$РГП_п$ («грунтомер положительной производной») — при повышении насыщения со скоростью свыше 0,5—1% в *сек*;

$РГП_о$ («грунтомер отрицательной производной») — при падении насыщения со скоростью свыше 0,5—1% в *сек*;

РГП грунтомер промежуточный — при величине насыщения, не отличающейся более чем на ±5% от заданного уровня.

2. Электроконтактный вакуумметр, измеряющий величину вакуума во всасывающей части грунтопровода и производящий своими контактами включение реле:

РВБ («вакуум больше») — при возрастании вакуума выше заданного значения на 10—20 *мм рт. ст.*;

РВМ («вакуум меньше») — при падении вакуума ниже заданного значения на 10—20 *мм рт. ст.*

3. Электроконтактный манометр, измеряющий давление пульпы в напорной части грунтопровода и замыкающий контакты в цепи обмоток реле:

РМБ («манометр больше») — при достижении верхней заданной границы давления;

РММ («манометр меньше») — при достижении нижней границы давления.

4. Подачемер, измеряющий длину выбранных и вытравленных участков станового троса и замыкающий контакты в цепи обмотки реле:

РНТ («начало траншеи») — при нулевом положении станового троса;

РКТ («конец траншеи») — при достижении стрелкой прибора положения, соответствующего заданной длине участка троса, который необходимо выбрать для достижения конца траншеи.

5. Тягомер, измеряющий натяжение станового троса и включающий реле:

РТБ («тягомер больше») — при увеличении натяжения троса выше заданного максимального значения;

РТМ («тягомер меньше») — при резком ослаблении станового троса.

При соответствии регулируемых параметров заданным значениям датчики не влияют на скорость перемещения землесоса.

При отклонении любого из регулируемых параметров от заданного значения датчики замыкают свои контакты, что приводит к срабатыванию соответствующих реле, в конечном итоге поворачивающих вал реостата возбуждения системы генератор — двигатель становой лебедки.

Таким образом, система автоматически регулирует в соответствии с сигналами датчиков скорость рабочего перемещения землесоса, все время поддерживая интенсивность грунтозабора на заданном оптимальном уровне.

Как уже указывалось, автоматическое регулирование скорости рабочего перемещения землесоса производится с помощью реле *РБ* и *РМ*, включаемых через счетно-решающие группы контактов датчиков (см. рис. 94).

При достижении реостатом возбуждения крайних положений срабатывают концевые выключатели *КВБ* или *КВМ*, отключающие своими н. з. контактами реле *РБ* или *РМ*. Последние сблокированы так, что срабатывание одного из них возможно лишь в случае обесточивания другого.

Диапазон изменения скорости перемещения землесоса задается с помощью двух переменных сопротивлений *РПБ* (потенциометр установки верхней границы скорости) и *РПМ* (потенциометр установки нижней границы скорости), смонтированных на пульте управ-

ления, реохорда $R_{сп}$, установленного в сервоприводе, и двух ограничивающих реле $РПК_б$ и $РПК_м$.

Движок реохорда $R_{сп}$ перемещается одновременно с поворотом вала реостата возбуждения. Движки сопротивлений *РПБ* и *РПМ* устанавливаются при настройке системы автоматики.

Реохорд $R_{сп}$ и сопротивления *РПБ* и *РПМ* образуют два моста, в одну диагональ каждого из которых подается питающее напряжение, а в другую включены обмотки ограничивающих реле $РПК_б$ и $РПК_м$. Когда величина скорости перемещения землесоса находится в пределах заданного диапазона, якоря обоих реле отклоняются в положения, не приводящие к срабатыванию промежуточных реле *РКБ* и *РКМ*, так как в этом случае потенциал на движке реохорда $R_{сп}$ выше потенциала на сопротивлении *РПМ* и ниже потенциала на сопротивлении *РПБ*.

При увеличении скорости перемещения землесоса движок реохорда перемещается и потенциал на нем повышается до тех пор, пока не превысит потенциал на сопротивлении *РПБ* на величину, достаточную для срабатывания реле $РПК_б$. Контакт реле $РПК_б$ включает обмотку реле *РКБ*, размыкающий контакт которого отключает обмотку реле *РБ*.

Аналогично, при уменьшении скорости перемещения землесоса потенциал на реохорде падает до тех пор, пока не станет ниже потенциала на сопротивлении *РПМ*, что вызывает срабатывание реле $РПК_м$ и *РКМ* и отключение обмотки реле *РМ*.

Таким образом, счетно-решающие группы контактов реле датчиков, вызывающие срабатывание реле *РБ* или *РМ*, автоматически изменяют скорость перемещения землесоса по прорези от нижней границы, задаваемой с помощью сопротивления *РПМ*, до верхней, задаваемой с помощью сопротивления *РПБ*.

В случае недостаточности заданного диапазона скоростей для поддержания среднего значения насыщения на необходимом уровне сработает реле $РГС_м$ (см. рис. 95) и на сопротивления *РПБ* и *РПМ* будет подано повышенное напряжение с делителя напряжения, смонтированного на сопротивлениях R_1, R_2, R_3. Это приведет к автоматическому смещению положений движка реохорда, при котором сработает реле $РПК_б$ и $РПК_м$ в сторону более высоких скоростей перемещения.

Если заданная скорость перемещения землесоса велика и приводит к повышению среднего значения насыщения, срабатывает реле $РГС_б$, и на сопротивления *РПМ* и *РПБ* подается пониженное напряжение. Диапазон автоматического изменения скорости рабочего перемещения землесоса переносится в сторону пониженных скоростей.

Перемещение землесоса при срабатывании реле *РМ* прекращается при:

1) насыщении, большем предельного значения на 1% в секунду (замкнутая цепь контактов *ГП* и *ГБ* шунтирует контакт реле *РКМ*, размыкается контакт *ГПП*);

2) падении давления в напорной части грунтопровода (размыкается контакт *ММ*);

3) увеличении натяжения станового троса (размыкается контакт *ТБ*);

4) достижении землесосом конца траншеи (размыкается контакт *КТ*);

5) срабатывании одного из реле *РЗГ* (реле забоя грунтопровода), *РОС* (реле обвала сосуна) или *РЗС* (реле засорения сосуна), сигнализирующих о нарушениях нормального режима работы землесоса;

6) увеличении вакуума до верхней заданной границы (замыкается контакт *ВБ*).

Плавная подача землесоса вдоль траншеи обеспечивается понижением скорости вращения серводвигателя *СД* при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_б$. Отключение сопротивления $R_б$ приводит к увеличению скорости вращения якоря серводвигателя в 2—3 раза и происходит в случаях:

1) нарушения нормального режима работы землесоса (срабатывают реле *РОС*, *РЗС* и *РЗГ*);

2) требования увеличить скорость перемещения землесоса (срабатывает реле *РБ*), когда насыщение меньше заданного уровня (срабатывает реле *РГМ*);

3) требования снизить скорость перемещения землесоса (срабатывает реле *РМ*), когда насыщение выше заданного уровня (срабатывает реле *РГБ*);

4) срабатывания реле *РТБ* и *РКТ*.

Регулирующие счетно-решающие группы имеют такую структуру, что любой сигнал датчиков, свидетельствующий об изменении интенсивности грунтозабора, автоматически приводит к такому изменению скорости перемещения землесоса, при котором интенсивность грунтозабора минимальна.

Регулирующие группы контактов реле датчиков учитывают все возможные нарушения процессов грунтозабора и грунтоотвода и автоматически останавливают землесос при показаниях датчика, свидетельствующих о засорении или обвале сосуна или о начале забоя грунтопровода.

Забой и засорение всасывающей части грунтопровода характеризуются падением давления в напорной части грунтопровода (срабатывает контакт *ММ*) при высоком вакууме во всасывающей части (срабатывает контакт *ВБ*).

О засорении наконечника всасывающей трубы судят по высокому вакууму и пониженному насыщению (срабатывает контакт *ГМ*). Во избежание ложных сигналов при кратковременных случайных совпадениях высокого вакуума и низкого насыщения срабатывание реле *РЗС* происходит через специальное реле с выдержкой времени 20—30 *сек*. Срабатывая, реле *РЗС* автоматически прекращает движение землесоса вперед и подает звуковой и световой сигналы.

Если на сосун обваливается значительное количество грунта и он не рассасывается, переходят на управление землесосом вручную и ликвидируют забой.

Если наконечник всасывающей трубы упирается в грунт, камни и т. п., движение землесоса замедляется, количество грунта, забираемого землесосом, падает и тягомер, фиксирующий опасное увеличение натяжения станового троса, вызывает прекращение перемещения землесоса вдоль траншеи.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Антонович С. А. Основы теории автоматического регулирования. Л., «Речной транспорт», 1962.

Аристов Ю. К. Судовые вспомогательные механизмы. М., «Речной транспорт», 1963.

Башкиров В. Д. и Пухов П. П. Устройство судов технического флота. М., «Транспорт», 1964.

Бухчеев П. И. и др. Регулирование судовых энергетических установок. М., Судпромгиз, 1959.

Вершинин Н. И. и др. Автоматическое регулирование. М.-Л., «Энергия», 1965.

Войтецкий В. В. и Гарбер Е. Д. Основы автоматизации и регулирования судовых силовых установок. Л., «Судостроение», 1966.

Высота И. И. Судовые паровые машины. Часть II. М., «Речной транспорт», 1961.

Гинзбург С. А. и др. Основы автоматики и телемеханики. М.-Л., Госэнергоиздат, 1953.

Доманевский Н. А. Дноуглубление. М., «Транспорт», 1965.

Зброжек В. В. Автоматика судовых систем. Л., Судпромгиз, 1962.

Кантор С. А. Регулирование судовых теплосиловых установок. Л., Судпромгиз, 1956.

Лернер А. Я. Введение в теорию автоматического регулирования. М., Машгиз, 1958.

Осипов Л. Л. Системы дистанционного управления главными судовыми механизмами. М., «Транспорт», 1964.

Плахов В. С. Судовые дизели. М., «Речной транспорт», 1962.

Попов Е. П. Автоматическое регулирование и управление. М., «Наука», 1966.

Сизых В. А. Автоматизированные судовые вспомогательные котлоагрегаты. М., «Речной транспорт», 1963.

Справочник механику и мотористу теплохода. М., «Транспорт», 1965.

Цыркин М. И., Капитанский В. М. Системы дистанционного управления главными судовыми дизелями. Л., Судпромгиз, 1961.

Шляндин В. М. Основы автоматики. М.-Л., Госэнергоиздат, 1958.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
Глава I. Общие сведения об автоматических системах 6
§ 1. Понятие об автоматических системах 6
§ 2. Элементные схемы автоматических систем 8
Глава II. Классификация автоматических систем 14
§ 3. Понятие о принципах автоматического регулирования 14
§ 4. Системы стабилизации и программного регулирования. Следящие системы. Самонастраивающиеся системы 16
§ 5. Системы прямого и непрямого действия. Одноконтурные и многоконтурные системы 19
§ 6. Системы синхронной связи 20
§ 7. Релейные автоматические системы 23
§ 8. Общие понятия о телемеханических системах 24
Глава III. Основные элементы автоматических систем 26
§ 9. Измерительные элементы 26
§ 10. Усилительные элементы 37
§ 11. Исполнительные элементы и регулирующие органы 45
Глава IV. Статические и динамические свойства автоматических систем 47
§ 12. Понятие об основных свойствах объектов автоматизации . . 47
§ 13. Статические характеристики автоматических систем 49
§ 14. Динамические характеристики автоматических систем 52
§ 15. Понятие о частотных характеристиках САРУ 55
§ 16. Общие понятия о методах исследования динамических свойств автоматических систем 57
Глава V. Типовые звенья автоматических систем 58
§ 17. Классификация звеньев САРУ 58
§ 18. Структурные схемы автоматических систем 62
Глава VI. Средства улучшения качества работы автоматических систем 63
§ 19. Методы улучшения качества процесса регулирования 63
§ 20. Последовательные корректирующие устройства 65
§ 21. Параллельные корректирующие устройства 67
Глава VII. Дизельные судовые силовые установки как объект автоматизации 76
§ 22. Основные требования, предъявляемые к объему комплексной автоматизации дизельных силовых установок 76
§ 23. Дистанционное управление главными дизелями 79
§ 24. Автоматическое регулирование температурного режима в системах охлаждения и смазки дизеля 83
§ 25. Автоматическое управление компрессорами 86
§ 26. Автоматическая сигнализация и защита дизеля 87
§ 27. Автоматизация дизель-генераторов 91

§ 28. Автоматизация вспомогательных котлоагрегатов 96
§ 29. Автоматика судовых систем 99
§ 30. Автоматика судовых устройств 102
§ 31. Средства автоматизации процесса судовождения 102
Глава VIII. Комплексная автоматизация судовых паросиловых установок 105
§ 32. Объем комплексной автоматизации судовых паросиловых установок 105
§ 33. Дистанционное управление главными паровыми машинами . 106
§ 34. Автоматическое продувание цилиндров паровой машины . . 108
§ 35. Автоматическое регулирование уровня воды в котле 110
§ 36. Автоматическое регулирование процесса горения 114
Глава IX. Автоматизация рабочего оборудования земснарядов 117
§ 37. Объем автоматизации рабочего оборудования земснарядов . 117
§ 38. Автоматизация грунтонасосной установки 118
§ 39. Автоматическое управление перемещением дноуглубительных снарядов по траншее 120
§ 40. Устройства для измерения глубин до и после работы землесоса. Автоматическое регулирование заглубления сосуна 122
§ 41. Автоматическое регулирование скорости рабочего перемещения землесоса 124
Использованная литература 134

АВТОР ВАСИЛИЙ АФАНАСЬЕВИЧ СИЗЫХ

ОСНОВЫ СУДОВОЙ АВТОМАТИКИ

Редактор *С. А. Виташкина*

Переплет художника *М. Ф. Колосса*

Технический редактор *Н. Б. Усанова*

Корректоры: *А. А. Снастина, Т. Д. Алексеева*

Сдано в производство 6/I 1967 г. Подписано к печати 3/V 1967 г.
Бумага типографская № 2. Формат 60×90¹/₁₆. 4,25 бум. л. 8,5 печ. л. 8,84 уч.-изд. л. Т-05956
Изд. № 1—1—2/13 № 2962—р Цена 29 коп. Переплет 15 коп. Тираж 5000 экз. Заказ № 281
Изд-во «Транспорт», Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 29 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Москва, Б-66, Ново-Басманная, 23