

10 коп.

А.Г.Александров, А.И.Гусев

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
«АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА»

Конспект лекций

1977

В данном конспекте лекций излагаются основные сведения, связанные с конкретизацией современных представлений о специальности "Автоматика и телемеханика" (0606).

В первой части рассматриваются основные этапы становления и развития различных устройств и систем автоматизации, начиная от первых автоматов и кончая современными сложными системами управления и регулирования. Излагаются общие принципы функционирования систем автоматизации, вводится понятие об основных характеристиках, оценивающих качество их работы в динамике, приводятся примеры конкретной реализации.

Во второй части рассматриваются аналогичные по характеру вопросы, но применительно к системам телемеханики. Подчеркивается специфика телемеханических принципов передачи информации, дается классификация систем телемеханики, приводятся конкретные примеры их реализации.

Конспект лекций предназначен для студентов специальности 0606.

Одобрено советом
Саратовского политехнического института
30.10.77.

Темплан 1977,
поз. 3148

© Саратовский политехнический институт, 1977

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из основных задач современной научно-технической революции является все более полное решение вопросов автоматизации и телемеханизации производства. В программе КПСС подчеркивается, что это является важнейшим направлением создания материально-технической базы коммунизма. Велико и социальное значение автоматизации и телемеханизации. Она является материальной основой соединения умственного и физического труда. В этой связи подготовка инженеров по специальности "Автоматика и телемеханика" приобретает особое значение.

Следует отметить, что подготовка специалистов по автоматике и телемеханике для различных отраслей народного хозяйства осуществляется в рамках целого ряда специальностей, к числу которых относятся "Электропривод и автоматизация промышленных установок", "Автоматизация металлургического производства", "Автоматизация и комплексная механизация машиностроения", "Автоматизация и комплексная механизация строительства", "Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов", "Автоматизация теплоэнергетических процессов", "Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте", "Автоматическая электросвязь", "Автоматизация процессов судовождения". Однако специальность "Автоматика и телемеханика" (0606) имеет ряд специфических черт, отличающих ее от всех перечисленных выше. Это связано прежде всего с тем, что специальность "Автоматика и телемеханика" является специальностью более широкого профиля, дающей специалисту базовые знания, которые позволяют ему работать в области автоматизации различных отраслей народного хозяйства. В этом смысле специальность "Автоматика и телемеханика" можно рассматривать как межатраслевую и многофункциональную.

Настоящее учебное пособие ставит своей целью познакомить студентов с основными особенностями специальности "Автоматика и телемеханика", с теми принципами, методами и техническими средствами, которые присущи ей как самостоятельной области науки и техники.

Пособие состоит из двух основных частей.

Первая часть "Что такое автоматика?" написана доцентом кафедры "Автоматика и телемеханика" Саратовского политехнического института д.ф.-м.н. Александровым А.Г.

Вторая часть "Что такое телемеханика?" написана доцентом кафедры "Автоматика и телемеханика" СПИ к.т.н. Гусевым А.И. Авторы

стремились решить, главным образом, только задачи методического характера, а именно: изложить в достаточно популярной форме основные принципы и методы автоматики и телемеханики, проследить в историческом плане основные этапы их становления и развития, а также эволюцию технических средств автоматики и телемеханики и области их применения. Основу пособия составляет материал, изложенный в различных литературных источниках. В отдельных случаях авторы сочли возможным не подвергать этот материал какой-либо серьезной переработке, ограничившись ссылкой на цитируемую литературу. Примеры конкретной схемной реализации отдельных систем автоматики и телемеханики сознательно приведены в максимально упрощенном виде и служат только лишь для иллюстрации излагаемого материала.

Авторы отдадут себе отчет в том, что настоящее пособие не лишено определенных недостатков и не может претендовать на исчерпывающее изложение всех вопросов, связанных со специальностью "Автоматика и телемеханика". Они будут искренне благодарны тем, кто выскажет свои критические замечания, отзывы и предложения, способствующие улучшению этого пособия.

1. ЧТО ТАКОЕ АВТОМАТИКА?

В переводе с греческого *automatic* означает "самодействующий". С простейшими самодействующими устройствами (автоматами) мы встречаемся ежедневно. Действительно, что помогает нам встать утром вовремя? Автоматическое устройство, называемое часами-будильником. Во многих квартирах имеются холодильники, стиральные машины, электроутюги, приемники, телевизоры, стабилизаторы напряжения. В каждом из этих устройств имеются автоматы. Они не дадут повыситься температуре и не перегреться утюгу, они поддерживают постоянную громкость звука телевизора или приемника, не позволяют измениться напряжению питания телевизора при значительных колебаниях напряжения сети.

Важнейшее поле деятельности автоматов — это цеха заводов и фабрик. Разве можно обойтись без автоматики при осуществлении многих "тонких" технологических процессов? Вот, например, химическое производство. Иногда малейшие отклонения температуры, давления и концентрации веществ от заданной величины приводят к браку или делают химическую реакцию невозможной. Наши органы чувств не могут отмечать и тем более быстро реагировать на малейшие изменения этих физических величин. Такими способностями человек наделяет автоматические устройства.

Автоматика необходима также в производствах, которые опасны для здоровья и жизни людей. Таких производств немало: получение радиоактивных веществ и работа на атомных электростанциях, изготовление красителей для текстильной промышленности и сильных ядов для борьбы с сельскохозяйственными вредителями.

Техника наших дней — это техника огромных скоростей.

Современный реактивный самолет пролетает в секунду сотни метров. Роторы газовых и паровых турбин делают тысячи оборотов в минуту.

Ракета, выводящая космический корабль на орбиту, движется со скоростью нескольких километров в секунду. Разве можно уследить за такими стремительными процессами без автоматических помощников?

Лишь системы автоматического регулирования обладают необходимой быстротой реакции. Они не дадут ротору турбины превысить обороты, не позволят самолету или ракете отклониться от заданного курса.

Система автоматического регулирования состоит из объекта (ро-

тор турбины, самолет, ракета и т.п.) и регулятора.

Регулятор температуры электроутюга, состоящий лишь из биметаллической пластинки, которая при определенном нагреве изгибается и размыкает цепь питания, — это простейший регулятор.

Примером более сложного регулятора может служить автопилот самолета. Наконец, существуют еще более совершенные регуляторы, содержащие электронные вычислительные машины, алгоритмы работы (алгоритмы управления) которых изменяются в зависимости от ситуации.

Может возникнуть естественный вопрос: выходит, что специалист по автоматике должен знать и холодильную технику, и химические процессы, и авиацию, и вообще все те устройства и процессы, в которых используются регуляторы? Нет. Дело заключается в том, что автоматика как раздел науки изучает объекты различной физической природы лишь с позиций управления ими подобно тому, как математика, физика, химия рассматривают окружающий мир лишь с определенных, присущих этим наукам точек зрения.

Разработка принципов управления, не зависящих от физической природы объектов, и построение на основе этих принципов алгоритмов работы регуляторов — одна из основных задач автоматки.

Другой важной задачей автоматки является разработка технических средств, предназначенных для реализации регуляторов.

Теперь можно дать определение автоматки. **А в т о м а т и к а** — это отрасль науки и техники, охватывающая теорию и принципы построения систем управления техническими процессами, действующих без непосредственного участия человека.

Уточним место автоматки в науке и технике. Автоматика как раздел науки называется технической кибернетикой.

К и б е р н е т и к а — это наука об управлении в живых организмах и машинах.

Как отрасль техники автоматика является синтетической отраслью. Действительно, реализация регуляторов является сложной инженерной задачей. В регуляторах в зависимости от алгоритма управления и физической природы объекта используются различные устройства: механические, электронные, электромагнитные, пневматические, гидравлические и т.п., элементы вычислительной техники и цифровые вычислительные машины. Регулятор представляет собой сложную систему, содержащую как правило совокупность переносимых устройств.

Все это предъявляет особые требования к специалисту в обла-

сти автоматки.

Действительно, с одной стороны, такой специалист должен знать фундаментальную науку — кибернетику, которая является довольно абстрактной и во многом опирается на современную математику. Используя методы технической кибернетики разрабатываются алгоритмы работы регуляторов. Создание этих алгоритмов во многом математическая задача. Дело в том, что абстрагирование от физической природы объекта при разработке алгоритмов управления осуществляется на основе математических моделей этих объектов и поэтому определение алгоритмов работы регуляторов является сложной математической задачей, решение которой во многих случаях невозможно без использования цифровых вычислительных машин.

Допустим теперь, что эта математическая (или точнее кибернетическая) задача решена и алгоритмы работы регуляторов найдены. Теперь необходимо найти наиболее рациональные пути реализации этих алгоритмов в форме регуляторов. Необходимо разработать физические принципы реализации, осуществить расчет устройств, входящих в регулятор, разработать конструкцию этих устройств, составить необходимую документацию на технологию изготовления, сборки, регулировки, испытания, эксплуатации и наконец изготовить эти устройства и обеспечить надежную их эксплуатацию.

1.1. ПЕРВЫЕ АВТОМАТЫ

История автоматки уходит в глубокую древность и доставляет свидетельства о голубе Архита Тарентского (V—IV век до н.э.), ползающей улитке Дмитрия Фалерского (IV—III век до н.э.), устройстве, имитирующем движение человека-андроида — Птолемея Филадельфа (III век до н.э.), о монетном автомате для отпуса священной воды молящимся, об автомате, открывающем двери храма в момент зажигания жрецами священного огня. Герон Александрийский (I век до н.э.) описал в книге "Театр автоматов" устройство целого театра, представление в котором разыгрывали фигурки (куклы, приводимые в движение с помощью системы зубчатых колес, блоков и рычагов.). Театр автоматов исполнял пьесу, содержание которой составляет легенда времен Троянской войны (месть Навплия грекам, побившим сына камнями). Пьеса содержала пять актов и восемь картин. В первом акте зритель видел, как данайцы строят

корабли перед походом: они пилят, строгают, бьют молотками, слышны соответствующие звуки. Во втором акте люди тянут построенные суда в воду. В третьем акте перед зрителями открывается картина спокойного моря с кодонной парусников и резвящимися в воде дельфинами. Следующая сцена изображала шторм, затем шла картина кораблекрушения.

Среди автоматов средних веков следует отметить механического человека, построенного известным ученым-схоластом XIII века Альбертом Великим. Это устройство исполняло обязанности привратника-открывало и закрывало двери и кланялось проходящим. Другой ученый того же времени, еще более знаменитый схоласт и богослов - Фома Аквинат был так поражен видом этого автомата, что приписал его устройство колдовству и разбил автомат молотом на куски.

С развитием механики и часового производства в XVI-XVII вв. механические модели живых существ стали очень популярными. Над их конструированием увлеченно работали многие мастера-часовщики. Создание такой модели-автомата было тогда как бы эквивалентом технической зрелости механика. До сих пор сохранились "механические люди" швейцарских часовщиков Пьера Жака и его сына Анри Дро, знаменитые часы яичной формы, созданные замечательным русским механиком И.П. Кулибиным, автоматы французского механика Жана Вокансона.

Часы И.П. Кулибина хранятся в Государственном Эрмитаже. Они по внешнему виду напоминают гусиное яйцо. В золотом корпусе художественной работы находится не только часовая механика, а встроен целый миниатюрный театр автоматов, где проходящие фигурки разыгрывают сцену, сопровождаемую мелодичным перезвоном.

Механические люди швейцарских часовщиков Пьера Жака и Анри Дро поражают слаженностью и правдоподобностью движений механизмов, приводимых в действие обычным часовым устройством с пружиной. Вот как выглядит одно из этих устройств.

За столиком на скамейке сидит большая кукла ростом с пятилетнего ребенка. Это писец. В его правой руке - гусиное перо, перед ним на столике - чернильница и лист бумаги. Писец аккуратно макает перо в чернильницу и наклонив голову старательно выводит на бумаге красивыми крупными буквами ровные строчки. Окончив писать, он на несколько мгновений задумывается, поворачивая голову, берет песочницу, насыпает лист песком для просушки и спустя несколько секунд стряхивает песчинки.

Другой "механический человек" часовщиков Дро - девушка-музыкантша. Пальцы рук этой большой куклы бегают по клавишам фистармонии.

голова поворачивается за движениями рук. Музыкантша играет трели и быстрые пассажи. Окончив игру, она слегка наклоняет голову, благодарит слушателей.

Удивительна механическая утка Вокансона, которая могла воспроизводить довольно большой комплекс различных движений. Она не только кричала и передвигалась, переваливаясь с боку на бок, но также плавала и плескалась в воде, двигала головой, расправляла крылья и приводила в порядок перья с помощью своего клюва. Кроме того, "утка" пила воду и клевала зерна, "переваривая" их с помощью химических веществ. Последнее осуществлялось своеобразной химической лабораторией в брюшке "утки".

Описанные модели живых существ, на которые современники смотрели как на чудеса, являясь в сущности автоматическими игрушками, имели серьезное значение для развития автоматики, так как позволили проверить на практике основные принципы автоматики, а кроме того, явились прообразом современных роботов.

1.2. РЕГУЛЯТОРЫ ПАРОВЫХ МАШИН

Появление автоматов, имеющих промышленное значение, связано с эпохой промышленной революции. Одно из первых применений в эту эпоху принципов автоматического регулирования в технике осуществил выдающийся голландский физик и механик Х. Гюйгенс, использовавший в 1657г. конический маятник для регулирования хода часов.

Большой вклад в создание регуляторов всех видов в эпоху промышленной революции сделали отечественные изобретатели и ученые. Первый регулятор для автоматизации промышленных агрегатов и процессов разработал и применил выдающийся русский механик и теплотехник И.И. Ползунов. Он построил в 1765г. автоматический регулятор уровня воды в котле им же изобретенной двухцилиндровой паровой машины непрерывного действия.

1.2.1. Основные понятия автоматического регулирования

Прежде чем переходить к описанию этого и ряда других регуляторов, введем необходимые понятия, относящиеся к системам автоматического регулирования. Агрегат, в котором происходит процесс, подлежащий регулированию, называется регулируемым объектом. Для краткости будем говорить просто

«объект». Величина, которую необходимо в этом агрегате регулировать (т.е. поддерживать постоянной или изменять по заданной программе), называется регулируемой величиной.

Автоматическое устройство, предназначенное для выполнения задачи регулирования, называется автоматическим регулятором (для краткости будем говорить просто регулятор).

Автоматический регулятор включает в себя измерительное устройство, т.е. чувствительный элемент, реагирующий на отклонение регулируемой величины от заданной. После чувствительного элемента ставится усилительно-преобразовательное устройство. Затем исполнительное устройство, служащее для оказания соответствующего воздействия на регулируемый объект. Совокупность этих устройств образует регулятор. Автоматический регулятор вместе с регулируемым объектом называется системой автоматического регулирования.

1.2.2. Регулятор И.И.Ползунова

Используя эти понятия, опишем работу регулятора уровня И.И.Ползунова (рис. 1.1). Измерительным устройством в этом регуляторе является поплавок 1, а исполнительным (регулирующим) — клапан 2, уровень воды (Н) — регулируемая величина. Котел является объектом регулирования. При уменьшении уровня воды в котле поплавок, опускаясь, будет шире открывать клапан 2. При этом приток воды увеличится и уровень (Н) автоматически восстановится. Причинами изменения уровня могут являться: 1) изменение величины отбора пара; 2) изменение условий теплового режима рабо-

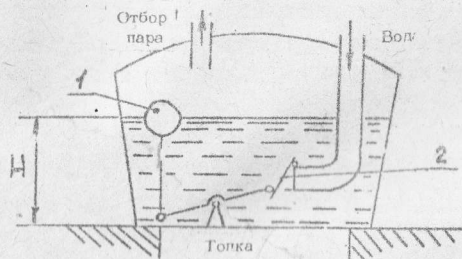


Рис. 1.1. Регулятор уровня И.И.Ползунова

ты котла (интенсивность топки, температура питающей воды и окружающего пространства). Эти причины называются возмущающими воздействиями. Важно заметить, что регулятор действует во всех случаях одинаково, уничтожая нежелательные отклонения от заданного уровня, независимо от причин, вызвавших эти отклонения.

1.2.3. Регулятор Д.Уатта

Следующим в истории техники автоматическим регулятором, получившим широкое распространение, был центробежный регулятор скорости вращения вала паровой машины, изобретенный английским инженером Джеймсом Уаттом в 1764г.

Регулятор Уатта (рис. 1.2.) состоит из двух грузиков, укрепленных на качающихся рычагах.

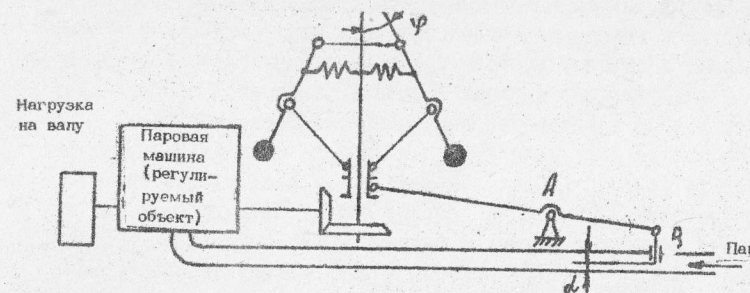


Рис. 1.2. Центробежный регулятор скорости (П-регулятор)

Рычаги укреплены на оси, которая связана передачей с валом паровой машины. Под действием силы тяжести, а также пружины грузы стремятся занять наинизшее положение, при котором оба груза прижаты к оси.

При вращении оси грузы стремятся разойтись в стороны под действием центробежной силы, приподнимая при этом конец рычага, соединенного с заслонкой. Каждому значению скорости вращения вала паровой машины соответствует строго определенное положение грузов, в котором центробежная сила полностью уравнивает силу веса и силу пружины. Каждому положению грузов, в свою очередь, соответствует определенное положение заслонки в трубе, подводящей пар к цилиндрам паровой машины. Если по какой-либо причине (например, в результате уменьшения нагрузки) скорость машины

увеличилась, то грузы расходятся в стороны, конец рычага поднимается, заслонка перемещается так, что уменьшается проходное сечение. Поступление пара в машину уменьшается, что соответственно ведет к уменьшению ее скорости. После уменьшения скорости, грузы опускаются. Поскольку величина (α) перемещения заслонки пропорциональна углу (φ) отклонения маятника, то описанный регулятор называется пропорциональным регулятором (П-регулятором).

Рассмотрим теперь вопрос о точности, с которой регулятор поддерживает скорость.

1.2.4. Точность работы П-регулятора

Выясним вначале, что необходимо для постоянства скорости вращения вала паровой машины. В паровую машину энергия поступает вместе с нагретым паром. Часть энергии рассеивается в виде тепловых потерь, а часть преобразуется в механическую энергию и передается в нагрузку. Количество энергии, поступающей в паровую машину в единицу времени, прямо пропорционально количеству пара, поступающего в единицу времени (разумеется, при условии, что давление и температура пара остаются постоянными).

Количество поступающего в машину пара целиком определяется положением заслонки. Следовательно, если заслонка неподвижна, то ее положение однозначно определяет количество энергии, поступающей в паровую машину в единицу времени. Если нагрузка не изменяется, то в единицу времени в ней расходуется постоянное количество энергии, причем сумма израсходованной энергии всегда в точности равна количеству поступившей. В этом случае говорят, что система находится в состоянии равновесия. Это состояние и определяет, в частности, постоянство скорости вращения вала.

Предположим теперь, что нагрузка паровой машины уменьшилась (например, отключилась часть потребителей), количество энергии, расходуемой в нагрузку в единицу времени, уменьшилось, но количество энергии, поступающей в паровую машину, остается тем же самым. Равновесие нарушилось и скорость вращения вала неизбежно должна увеличиться, что и происходит на самом деле. Единственная возможность установить прежнее значение скорости состоит в том, чтобы уменьшить количество поступающей энергии, т.е. изменить положение заслонки. Это и делает регулятор Уатта. Но положение заслонки в регуляторе Уатта, в свою очередь, определяется скоростью вала, и изменить положение заслонки можно, лишь изменив скорость вала. Отсюда очевидный вывод: регулятор

Уатта не дает возможности установить прежнее значение скорости после изменения нагрузки.

Разность между требуемым и фактическим значением скорости называется ошибкой регулирования.

1.2.5. И-регулятор

Зададимся вопросом: нельзя ли сделать так, чтобы ошибка регулирования была равна нулю.

Чтобы ответить на поставленный вопрос, введем в регулятор Уатта усовершенствование.

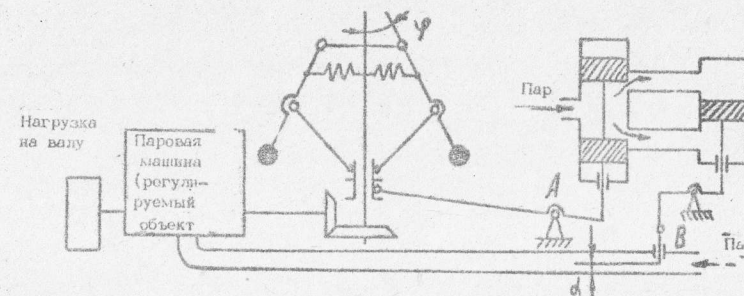


Рис. 1.3. Центробежный регулятор скорости (И-регулятор)

Рассмотрим систему, изображенную на рис. 1.3. Новым в этой системе является цилиндр с поршнем и золотником. Шток золотника связан с центробежным регулятором, а шток поршня с заслонкой.

Пока скорость вращения вала равна заданной, золотник располагается в среднем положении. Пар с одинаковой силой давит с обеих сторон поршня, и поршень, а следовательно и заслонка, остаются неподвижными.

Допустим, скорость вращения вала уменьшилась. Грузы сходятся, золотник перемещается вверх и пар поступает в основном с верхней стороны цилиндра, поршень движется вниз до тех пор, пока давление пара с обеих сторон не становится одинаковым. Такое положение наступает лишь тогда, когда золотник примет свое прежнее положение, а это возможно только при достижении преж-

него значения скорости. И, следовательно, ошибка регулирования равна нулю. Цилиндр с поршнем и золотником называется в автоматике и н т е г р и р у ю щ и м звеном и поэтому описанный регулятор называется И-регулятором.

1.2.6. Переходные процессы (динамика регуляторов)

Рассмотрим более внимательно регулятор Уатта в его первоначальном виде. Напомним, что груз, укрепленный на рычаге, способен свободно качаться на шарнире, — это обыкновенный маятник. Правда, маятник несколько своеобразный, поскольку, кроме силы веса, на него действует центробежная сила и поэтому в состоянии равновесия рычаг несколько отклонен от вертикали. Однако он сохраняет все свойства маятника. Пусть рычаг АВ отсутствует, а вал паровой машины вращается со скоростью ω_0 . Толкнем маятник. От толчка он начинает совершать колебания относительно положения равновесия (φ_0). Благодаря наличию сил трения колебания будут постепенно затухать, как и в обычном маятнике.

График этих свободных колебаний маятника относительно номинального положения φ_0 (соответствующего скорости ω_0) приведен на рис. 1.4. (кривая а),

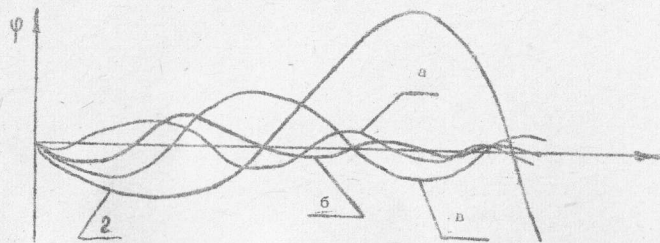


Рис. 1.4.

- а) свободные колебания маятника (рычаг АВ отсутствует);
- б) переходный процесс в безинерционной машине с инерционным регулятором;
- в) переходный процесс (устойчивый) в инерционной машине с инерционным регулятором;

Вернем рычаг АВ на место, посмотрим, что произойдет, если толкнуть грузы, например, вниз. Это приведет к открытию заслонки и увеличению подачи пара. Увеличится скорость вращения вала и, следовательно, увеличится центробежная сила, стремящаяся вернуть маятник в положение равновесия. Когда маятник перейдет положение равновесия, заслонка переместится вниз и скорость вращения вала уменьшится. Это снова приведет к увеличению силы,

стремящейся вернуть маятник в положение равновесия. Все это свидетельствует о том, что колебания маятника в регуляторе Уатта, включенном вместе с машиной, затухают быстрее, чем без нее. Этот затухающий процесс по углу приведен на рис. (1.4.) (кривая б). Этот процесс называется п е р е х о д н ы м. Аналогичный процесс протекает и по регулируемой переменной.

До сих пор полагалось, что скорость машины изменяется мгновенно вместе с перемещением заслонки. Однако у паровой машины имеется маховик. Точно, что вал с маховиком не может изменить свою скорость мгновенно. Собственно, маховик в паровой машине для того и нужен, чтобы скорость вращения вала оставалась постоянной в те моменты, когда поршень находится в крайних положениях, и усилия, действующие на кривошип, отсутствуют. Таким образом, для увеличения (уменьшения) скорости вращения вала после изменения положения заслонки требуется определенное время.

Предположим, что в рассматриваемом случае это время в точности равно половине периода колебаний рычага маятника, т.е. времени, в течение которого груз переходит из одного крайнего положения в другое. Что же произойдет в этом случае? Вновь толкнем грузы вниз от положения равновесия, заслонка открывается, пар поступает в машину более интенсивно. Но вал с маховиком раскручивается медленно и скорость достигает своего нового значения как раз к тому моменту, когда грузы регулятора уже переходят положение равновесия. Возросши, в результате увеличения скорости центробежная сила стремится не вернуть грузы в положение равновесия, а наоборот, отклонить еще дальше. Дальнейшее отклонение грузов сопровождается закрытием заслонки — создается условия для уменьшения скорости. И скорость действительно начинает уменьшаться, однако опять не сразу. Минимального значения скорости достигает как раз тогда, когда грузы регулятора снова минуют положение равновесия. Малое значение скорости вращения вала опять-таки приводит к тому, что уменьшение скорости центробежной силы как бы поощряет движение шариков вниз.

Следовательно, наличие в системе маховика приводит к тому, что возникают силы, не препятствующие, а способствующие колебаниям рычагов с грузами. Если эти силы достаточно велики, то однажды начавшись, колебания рычагов с грузами не только не затухнут, а напротив размах их будет все более и более увеличиваться. В такт с колебаниями регулятора изменяется и скорость вращения вала, что совершенно недопустимо. Этот процесс показан на рис. 1.4. (кривые б и в).

Таким образом П-регулятор, в случае если машина содержит инерционные элементы, подобные маятнику, обеспечивает устойчивую работу системы лишь при определенных условиях.

Рассмотрим теперь с позиций устойчивости систему с И-регулятором. Вспомним, что для перемещения поршня в цилиндре требуется определенное время. Достаточно этому времени хотя бы приблизительно совпасть с половиной периода колебаний маятника, как возникает уже описанная картина нарастающих колебаний, на этот раз уже без всякого участия маховика. Наличие маховика лишь усугубляет эффект. По этой причине И-регуляторы оказываются устойчивыми лишь в весьма узком диапазоне допустимых изменений параметров и поэтому используются лишь вместе с П-регуляторами.

1.2.7. Первые работы в области теории регулирования

Первые работы по теории регулирования были связаны с исследованиями динамики центробежного регулятора Уатта.

Первый серьезный шаг в этом направлении был сделан выдающимся английским ученым Максвеллом. Прежде всего он отметил ошибку изобретателей центробежных регуляторов того времени, которые принимая желаемое за действительное, считали, что центробежный регулятор идеально следит за изменениями угловой скорости машины. Это широко распространенное заблуждение объясняется тем, что изобретатели пренебрегали инерцией шаров регулятора и трением в его сочленениях. Максвелл вскрыл ошибку конструкторов и показал, что система "машина + регулятор" обладает динамическими свойствами, которые описываются дифференциальными уравнениями. Он показал, что для исследования устойчивости этой системы необходимо исследование алгебраического уравнения третьей степени. Однако работы Максвелла не повлияли на развитие техники регулирования и долгое время оставались неизвестными инженерам, так как в них рассматривались лишь астатические регуляторы (И-регуляторы), которые для паровых машин того времени были непригодны. К 70-м годам прошлого века сложилось следующее положение. С одной стороны, ясно обозначилась потребность в обобщении опыта эксплуатации регуляторов, которые нередко обманывали надежды своих изобретателей и конструкторов, так как раскачивали систему машина-регулятор. С другой стороны, уровень разработки теории устойчивости был достаточно высок и мог служить для решения практических задач регулирования.

Все острее чувствовалась необходимость в создании научной теории расчета и построения доброкачественных регуляторов для быстроразвивавшейся отечественной промышленности. Если у общества появилась техническая потребность, то она, по словам Ф.Энгельса, "должна двигать науку вперед больше, чем десять университетов". Так, в действительности и случилось. Русская научная общественность выдвинула из своей среды крупнейшего деятеля в области механики и машиностроения, объединившего опыт инженера и знания математика, позволившие сделать тот качественный скачок в развитии науки, который определил дальнейшую разработку техники регулирования. Этим деятелем был Иван Алексеевич Вышнеградский.

И.А.Вышнеградский, продолжая исследования паровой машины с центробежным регулятором Уатта, разработал общую теорию статических регуляторов прямого действия. В 1876г. И.А.Вышнеградский опубликовал свой значительный труд "Общая теория регуляторов", в котором заложены основы современной теории автоматического регулирования. И.А.Вышнеградского мы по праву считаем основоположником теории автоматического регулирования.

Исключительно крупный вклад в теорию устойчивости сделал А.М.Ляпунов. Изданная в 1892г. его выдающаяся работа "Общая задача об устойчивости движения" обозначила собой важную веху в развитии теории автоматического регулирования. В этой работе А.М.Ляпунов дал первое в истории науки математически строгое определение понятия устойчивости и общие методы исследования устойчивости движения.

Большой интерес к теории автоматического регулирования проявлял Н.Е.Жуковский. Он читал курсы "Центробежные регуляторы" и "Теория регуляторов" (1908-1909) в Московском университете. Курс Н.Е.Жуковского (1909) "Теория регулирования хода машин" - лучший учебник по регулированию досоветского периода - содержит помимо систематического и ясного изложения теории регулирования того времени ряд оригинальных исследований, в частности теорию прерывного регулирования угловой скорости паровой машины.

1.3. РЕГУЛЯТОРЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

История автоматики, естественно, во многом повторяет историю техники. Не случайно поэтому, что первые регуляторы предназ-

начались для наиболее современных устройств того времени - паровых машин.

С появлением первого практически важного электрического устройства - электродуговой лампы - усилия изобретателей в области автоматики были направлены на создание регуляторов, обеспечивающих постоянное расстояние между электродами лампы.

1.3.1. Регулятор электродуговой лампы

В 1853г. К.И.Константинов изобрел электромагнитный регулятор для электродуговой лампы, а А.И.Шпаковский работал под руководством К.И.Константинова и впервые осуществил в 1856г. серийное производство электромагнитных регуляторов электродугowych ламп, которые в течение длительного времени освещали Красную и Лефортовскую площади в Москве.

Опишем работу регулятора электродуговой лампы. Схема электродуговой лампы без регулятора приведена на рис. 1.5а.

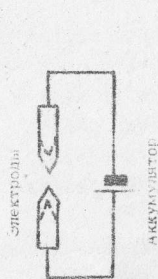


Рис. 1.5 а.
Электродуговая лампа

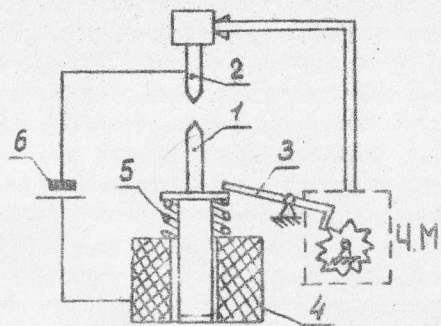


Рис. 1.5 б.
Регулятор электродуговой лампы

При определенном расстоянии между электродами вспыхивает электрическая дуга, являющаяся источником света. Однако из-за выгорания электродов увеличивается расстояние между ними и дуга гаснет. Рассмотрим работу электродуговой лампы с регулятором. Схема этой системы автоматического регулирования приведена на рис. 1.5б. Ток аккумулятора 6 протекает по электродам 1, 2 и обмотке 4 электромагнита, сердечником которого является металлическое основание электрода 1. Втягивающее действие электромагнита уравно-

вешивается противодействием пружины 5. При выгорании электродов увеличивается воздушный промежуток между ними. Ток, протекающий по обмотке электромагнита, падает, уменьшается его втягивающая сила и под действием пружины электрод 1 поднимается вверх. При этом рычаг 3, поднимаясь, запускает часовой механизм, который опускает электрод 2. По мере сближения электродов увеличивается ток через электромагнит 4. Сердечник его втягивается, рычаг 3 опускается и при достижении номинального расстояния прекращается действие часового механизма и электрод 2 останавливается.

1.3.2. Электромеханическая следящая система

В 1877г. А.П.Давыдов разрабатывает проект и электрические элементы первой следящей системы, явившейся прообразом современных следящих систем. Простейшая следящая система приведена на рис. 1.6. Она называется электромеханической следящей системой.

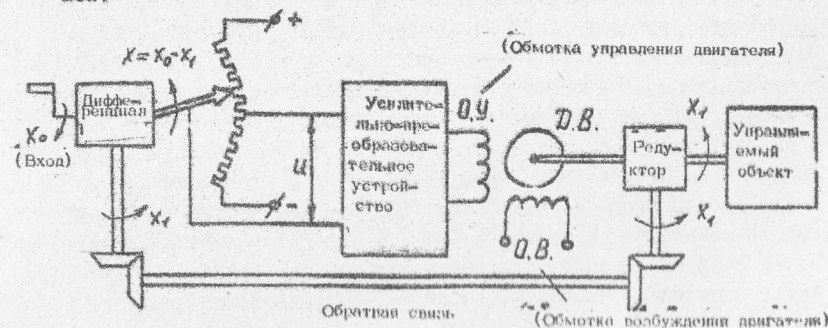


Рис. 1.6. Электромеханическая следящая система

Принцип ее действия следующий. На входе легким вращением рукоятки задается произвольный закон $X_0(t)$ изменения угла поворота во времени. Тот же самый закон должен быть автоматически воспроизведен управляемым объектом, т.е. должно быть $X_1(t) = X_0(t)$. Для этой цели угол $X_1(t)$ поворота на выходе передается при помощи вала обратной связи на вход системы, где он вычитается из задаваемого угла X_0 . Последнее осуществляется механическим дифференциалом. Возможная схема дифференциала приведена на рис. 1.7.

Если угол X_1 не равен X_0 , то валик дифференциала повернется

на угол $X = X_0 - X_I$. Пропорциональное ему напряжение и подается через усилительно-преобразовательное устройство (которое формирует закон управления, обеспечивающий заданную точность и устойчивость, а также усиливает входной сигнал по мощности) на

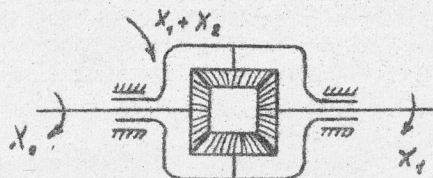


Рис. 1.7. Механический дифференциал

двигатель, который вращает выходной вал системы. Если $X_I = X_0$, то двигатель обесточен и вращения не будет. Такая система позволяет при незначительной мощности на входе управлять мощными или тяжелыми объектами (орудийными башнями и т.д.). Исследуем переходные процессы этой системы, предполагая, что усилительно-преобразовательное устройство является просто усилителем мощности, а на валу двигателя установлены большие массы. Последнее является причиной инерционности двигателя, который продолжает вращаться некоторое время после его обесточивания. Пусть система находилась в установившемся состоянии $X_I(t_0) = X_0(t_0) = 0$ и была выведена из этого состояния резким поворотом рукоятки на величину X'_0 , которая далее остается неизменной (см.рис. 1.8). Двигатель начинает вра-

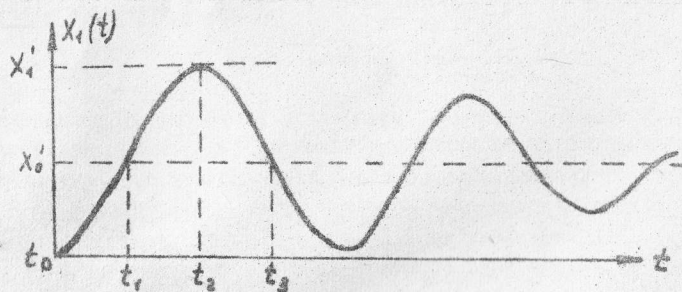


Рис. 1.8. Переходный процесс следящей системы

щаться, уменьшая рассогласование $X_0 - X_I$. В некоторый момент времени это рассогласование станет равным нулю, обмотка управления двигателя обесточится, однако ротор двигателя по инерции

будет продолжать вращаться в прежнем направлении до момента времени t_2 . Возникшее при этом напряжение рассогласования $K_I(X_0 - X_I)$ имеет обратную полярность, и двигатель, преодолев силы инерции, начинает вращаться в противоположном направлении. При этом он опять движется по инерции после момента времени t_3 и т.д. Приведенные на рис. 1.8 колебания переменной $X_I(t)$ со временем затухнут из-за рассеивания энергии в системе, обусловленного трением и другими причинами.

Усилитель мощности обладает запаздыванием, кроме того ток в О.В. устанавливается не мгновенно при изменении напряжения с усилителя мощности и, следовательно, момент двигателя запаздывает от величины рассогласования. Все это может привести (при определенных значениях запаздывания) к неустойчивости в работе системы (незатухающему процессу $X_I(t)$).

Для обеспечения устойчивости работы следящей системы усилительно-преобразовательное устройство должно выдавать сигнал не только пропорционально величине рассогласования $X(t) = X_0(t) - X_I(t)$, но и пропорционально скорости изменения этого рассогласования.

1.3.3. Регулятор напряжения генератора

В 1879–1880 гг. М.Н.Карманов разработал регулятор тока, служащий прототипом современных угольных регуляторов. В то же время Д.А.Лачинов предложил метод автоматического регулирования напряжения генератора путем изменения магнитного поля.

Рассмотрим принципиальную схему используемой в настоящее время системы регулирования напряжения генератора с угольным регулятором (см. рис. 1.9).

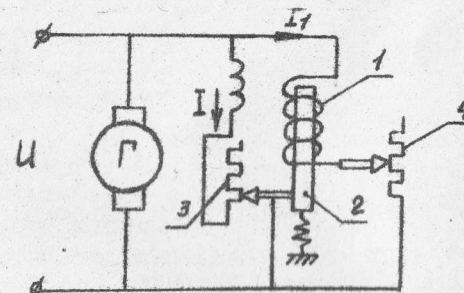


Рис. 1.9. Регулятор напряжения генератора

Регулируемым объектом является генератор постоянного тока Г с параллельным возбуждением. Регулируемая величина — напряжение на клеммах генератора, от которых питается электрическая сеть

с различными нагрузками. (Привод генератора и сеть нагрузки на схеме не показаны). Регулятор должен поддерживать постоянное напряжение U при различных нагрузках и различных скоростях привода. Регулятор состоит из измерительного устройства и регулирующего органа, связанных друг с другом непосредственно. Измерительным устройством является электромагнит 1 с сердечником 2. Обмотка электромагнита включена через реостат задатчика 4 напряжения U подлежащего регулированию. Реостат 3, включенный в цепь обмотки возбуждения генератора, является регулирующим органом. Движок реостата 3 жестко связан с сердечником 2 электромагнита. Физически реостат 3 выполнен в форме угольного столба, сопротивление которого изменяется при изменении давления, (на столб) создаваемого сердечником 2 при изменении тока в обмотке электромагнита 1. Отсюда и название-угольный регулятор. Пусть напряжение U генератора по какой-то причине упало (например, уменьшились обороты привода генератора или увеличилась нагрузка генератора). Ток I уменьшится и, следовательно, станет меньше тяговая сила электромагнита. Поэтому сердечник 2 вместе с движком регулирующего реостата 3 оттянется пружиной вниз. В результате уменьшится сопротивление цепи возбуждения, возрастет ток возбуждения I . Это приведет к возрастанию упавшего напряжения U .

Реостат задатчика 4 заранее устанавливается в определенное положение. Чем выше установлен его движок, тем более высокое напряжение будет поддерживать данный регулятор. Действительно, если движок 4 поставить, например, выше, то сопротивление цепи электромагнита будет больше. Ток I в обмотке электромагнита станет меньше. Поэтому движок регулирующего реостата 3 под действием пружины станет ниже, и следовательно, на клеммах генератора будет поддерживаться более высокое напряжение.

1.4. ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АВТОМАТИКА КОНЦА XIX-НАЧАЛА XX ВЕКОВ

Историю автоматики можно условно разделить на отдельные периоды. В первый период - 1765-1880 гг. - были разработаны регуляторы уровня, угловой скорости, давления, электрического тока. Объектами регулирования были паровые и электрические машины. Для построения этих регуляторов использовались механические, пневматические и электрические элементы.

В следующем периоде - 1880-1920 гг. развития автоматики по-

являются принципиально новые классы регуляторов. Появляются регуляторы температуры, расхода, положения и направления. Число регулируемых объектов увеличивается: это ветряные двигатели, электросварочные агрегаты, двигатели внутреннего сгорания, стабилизация самолетов и кораблей.

В 1898г. К.Э. Циолковский предложил "автоматический регулятор горизонтального руля", который был предназначен для стабилизации продольной оси дирижабля в горизонте.

В.Ф. Адаменко в 1901 г. предлагает "Приспособление для автоматического управления рулем", которое представляет собой следящую систему. В этом приспособлении "слабое колебание магнитных стрел на компасе доводится до силы, могущей действовать или непосредственно на руль судна или на распределенный механизм паровой машины". На промышленно-художественной выставке 1882г. в Москве Н.И. Захаров демонстрирует прототип современного программного регулятора - электромеханическое копирующее устройство в гравировальной машине его же конструкции.

В 20-х годах этого столетия на ряде предприятий отечественной промышленности налаживается серийный выпуск регуляторов для нужд промышленности. Так, например, первый отечественный регулятор для водяной турбины советского производства был изготовлен в 1925г. Ленинградским металлическим заводом. В 1927г. по проекту группы советских инженеров была изготовлена первая партия термoeлектрических регуляторов для шлифовальных машин Государственного шерстяного треста.

Расширяется фронт исследовательских работ по автоматическому регулированию. В 30-х годах центр деятельности в этой области перемещается в ряд крупных отраслевых НИИ: Центральный котлотурбинный институт (ЦКТИ), Всесоюзный электротехнический институт (ВЭИ), Всесоюзный теплотехнический институт (ВТИ).

Автоматика как отрасль техники впервые получила признание на 2-й международной энергетической конференции в 1930г. На этой конференции была создана секция по вопросам автоматического и телемеханического управления и защиты.

30-е годы ознаменовались также бурным развитием радиоэлектроники. Электронные устройства как новое техническое средство, обеспечивающие быстрое действие, высокую чувствительность, точность и надежность, быстро начинают находить применение в технике автоматического управления. Создаются электронные автоматические регуляторы, устройства релейного управления, использующие электронные лампы и т.д.

1.5. УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖУЩИМИСЯ ОБЪЕКТАМИ. АВТОПИЛОТ

Предложенный в 1898г. К.Э.Циолковским "автоматический регулятор горизонтального руля" явился прообразом современных автопилотов. Рассмотрим схему (рис. 1.10) стабилизации продольного движения самолета.

Гироскопический блок II, ось которого направлена вдоль вертикальной оси самолета имеет выходной потенциометр 10. Этот потенциометр неподвижно закреплен на фюзеляже и при отклонении горизонтальной оси самолета на некоторый угол (угол тангажа) корпус потенциометра повернется на тот же угол, а его ламель останется неподвижной, так как гироскоп стремится сохранить свое положение неизменным. Потенциометр (10) соединен электрически с задающим потенциометром (9). При перемещении ползунка задающего потенциометра 9 на угол φ_z (заданный угол тангажа) в потенциометрической системе образуется напряжение рассогласования, которое поступает на усилительно-преобразовательное устройство (8).

Выходной каскад усилителя питает двухфазный двигатель переменного тока (7), приводящий в движение через редуктор (6) золотник (4) гидроусилителя. Гидравлический усилитель и силовой поршень цилиндра (5) образуют гидравлическую рулевую машину. При смещении золотника поршень цилиндра (5) перемещается и поворачивает через рычаг (2) руль высоты (1). С рулем высоты связан потенциометр обратной связи (3), с которого снимается напряжение соответствующему углу поворота руля φ_r . Самолет под действием руля высоты будет перемещаться до тех пор, пока его ось $O_1 O_2$ не повернется на угол φ_z . В этом случае напряжение рассогласования станет равным нулю и самолет будет набирать высоту под заданным углом тангажа.

Рассмотрим работу автопилота в режиме стабилизации заданного угла тангажа (φ_z). Допустим для простоты $\varphi_z = 0$, это соответствует горизонтальному полету. Путь в направлении, перпендикулярном полету (например, сверху), подул ветер. Самолет начал поворачиваться вокруг центра масс. Ось $O_1 O_2$ выходит из плоскости горизонта и самолет начинает двигаться к земле. При этом потенциометр (10), жестко связанный с корпусом самолета, переместится относительно ламели, укрепленной на внутренней рамке гироскопа и поэтому неподвижной. На вход УПУ поступает напряжение рассогласования, пропорциональное углу поворота самолета относительно горизонта. Это напряжение преобразуется и усиливается в УПУ и поступает на двигатель, который через гидравлический

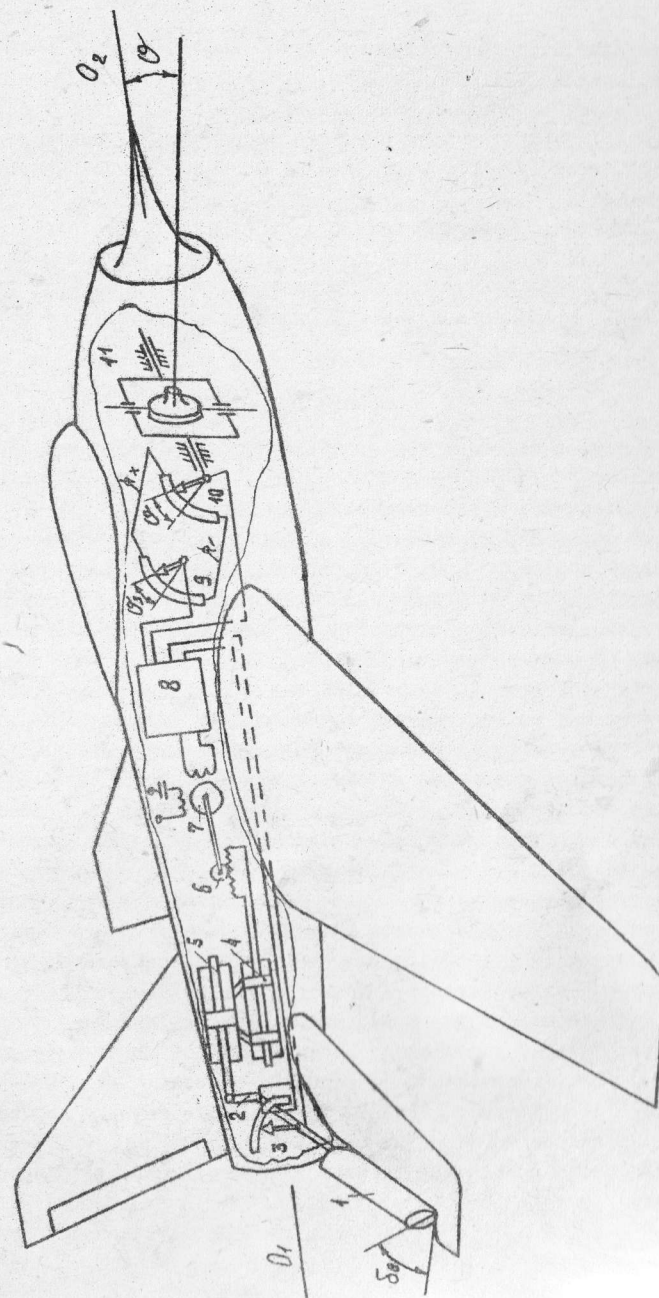


Рис. 1.10. Автопилот

усилитель перемещает элероны руля высоты вверх. Поток воздуха, воздействуя на элероны, создает момент, разворачивающий самолет в обратном направлении. Сигнал рассогласования уменьшается. Уменьшается угол поворота элеронов. Это движение продолжается до тех пор, пока самолет не примет горизонтального положения.

Усилитель (8), двигатель (7) и гидравлическая рулевая машинка, охваченные обратной связью с помощью потенциометра (3), образуют своеобразную следящую систему, в которой угол поворота элеронов δ пропорционален отклонению угла тангажа от заданного.

1.6. СОВРЕМЕННАЯ АВТОМАТИКА

В ходе выполнения первых трех пятилетних планов (1928-1941 годы) были созданы первые заводы, производящие приборы и аппаратуру автоматики и телемеханики.

18 съезд ВКП(б) (1939г.) определил задачи развития основных отраслей народного хозяйства, обратил особое внимание на необходимость широкого применения станков-автоматов в машиностроении, автоматизацию электростанций, важнейших производств химической промышленности и др. отраслей.

Пятидесятые годы явились периодом внедрения автоматики (автоматизации) во все имеющие значительный удельный вес отрасли народного хозяйства. Начал работать автоматизированный завод по производству поршней автомобильных двигателей. Закончен перевод на автоматическое управление агрегатов ТЭС. На ряде крупнейших ТЭС автоматизированы котельные печи. В металлургической промышленности основная масса чугуна и стали выплавлялась в автоматизированных печах. Пущены автоматические установки на нефтеперерабатывающих предприятиях. Осуществлено телемеханическое управление газопроводами. Начали действовать автоматические бетонные заводы. Появились станки с программным управлением.

Шестидесятые годы характеризуются появлением автоматизированных систем управления, реализующих комплексную автоматизацию на основе применения электронных цифровых вычислительных машин (ЭВМ). Автоматизированные системы управления применяются для управления сложными (большими) системами.

Рассмотрим несколько примеров применения АСУ в больших системах.

Пример 1. Управление тепловыми электростанциями. Блок

"котел-турбина-генератор-трансформатор" мощностью в несколько сот МВт состоит из большого числа различных агрегатов подготовки и подачи топлива и воды, удаления продуктов сгорания, обеспечения правильных режимов горения в котле и нормальной работы турбины, генератора и трансформатора.

Пуск и остановка блока связаны с выполнением многих строго регламентированных операций включения и выключения агрегатов, а безаварийная эксплуатация требует взаимосвязанного регулирования многих параметров (например, на блоке 800 МВт около 1000 управляемых объектов и до 1300 контролируемых параметров). Осуществление этих процессов происходит с помощью АСУ "Каскад", работающей под наблюдением всего лишь одного инженера-оператора.

Пример 2. Управление крупной энергосистемой. Представим себе крупную энергосистему, состоящую из большого числа электростанций, трансформаторных подстанций и с разветвленной высоковольтной сетью линий электропередачи протяженностью в сотни и тысяч км. Оптимальное распределение нагрузки между станциями и направление энергии в районы с различными поясами времени (и соответствующими сдвигами максимумов потребления, которые в свою очередь зависят от многих местных гидрометеорологических и технико-экономических факторов) связано, с одной стороны, с необходимостью быстрого проведения сложных расчетов и, с другой стороны, со сложной автоматической и телемеханической аппаратурой, призванной реализовать результаты этих расчетов.

Широко применяются АСУ для управления химико-технологическими процессами и трубопроводным транспортом, в горном деле, металлургии, прокатных станах и т.д. Все это реализует отмеченный на XXV съезде КПСС "переход от создания и внедрения отдельных машин к разработке и внедрению систем машин, целиком охватывающих весь технологический процесс..." Более того, съезд указал на огромную роль подобных систем в ускорении научно-технического прогресса и совершенствовании управления народным хозяйством и всей общественной жизнью.

Одним из важных устройств автоматизации промышленности являются роботы.

Промышленные роботы часто имеют "механическую руку" (одну или несколько) и вынесенный пульт управления, содержащий часто

ЭВМ. Такой робот может, например, перемещать детали весом до нескольких шт. в радиусе действия его "руки", выполняя от 200 до 1000 перемещений в час. Часто роботы оснащают обучающейся автоматической системой управления. Если такому роботу "показывают" последовательность операций, то система управления фиксирует ее в виде программы управления и затем точно воспроизводит в виде программы управления.

Роботы широко используются также для работы относительной недоступности (например, подводные роботы, космические), либо в опасных для человека условиях (производство ядов, атомная промышленность).

Замечательные успехи автоматики последних десятилетий немалымы без значительного развития теории регулирования (теории автоматического управления).

В этом период возник новый принцип: принцип самонастройки. В 1943г. советский инженер Казакевич получил авторское свидетельство на экстремальный регулятор. Этим было положено начало развитию теории и практики самонастраивающихся систем.

В теории автоматического управления были разработаны инженерные методы построения систем регулирования, обладающих заданной динамической точностью и установившимися ошибками, меньшими заданных.

В 1956г. академиком Л.С.Понтрягиным был сформулирован принцип максимума (принцип максимума Л.С.Понтрягина) имеющий фундаментальное значение для теории оптимального управления. Последние два десятилетия получили существенное развитие общая теория систем, методы исследования операций, необходимые для исследования больших систем.

2. ЧТО ТАКОЕ "ТЕЛЕМЕХАНИКА?"

Слово "телемеханика" состоит из двух греческих слов: "теле" - далеко и "механика" - мастерство или наука о машинах.

Телемеханика - это область науки и техники, занимающаяся изучением принципов образования сигналов и построения устройств для передачи этих сигналов на значительные расстояния с целью управления различными объектами или технологическими процессами, а также с целью контроля, сигнализации и измерения их параметров.

При дальнейшем изучении курса "Телемеханика" будут ясны все детали определения. Сейчас же следует только особо подчеркнуть, что телемеханика занимается главным образом вопросами передачи информации (управляющей и контрольной). Кроме телемеханики, имеется целый ряд отраслей техники, которые также занимаются вопросами передачи информации: телеграф, телефон, телевидение и др. Однако устройства телемеханики являются единственными средствами передачи информации, которые обеспечивают решение задачи полной автоматизации производства, так как телеавтоматические системы в принципе могут функционировать без участия человека. В то же время другие перечисленные выше средства передачи информации, требующие обязательного присутствия человека хотя бы на одной стороне передачи, могут использоваться только при решении задач частичной автоматизации.

2.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ

2.1.1. Местное управление

Управление объектами на расстоянии можно осуществить, базируясь на трех основных принципах.

Простейшим видом управления является такое управление, при котором по линии связи управляемому объекту передается вся энергия, необходимая ему для выполнения требуемой операции. Если объект является двухпозиционным, т.е. может находиться только в одном из двух состояний - включенном или отключенном, - то на передающей стороне осуществляется подключение или отключение энергии к линии связи с помощью того или иного органа управления (ключа, кнопки и т.п.).

Общее количество линий связи, очевидно, должно быть равно числу управляемых объектов. На рис. 2.1. показана структура системы, обеспечивающей управление тремя объектами (O_1, O_2, O_3) с помощью ключей управления (K_1, K_2, K_3), которыми обеспечиваются подключение или отключение к соответствующим линиям связи (AC_1, AC_2, AC_3) источников энергии (E_1, E_2, E_3).

Пункт, с которого производится управление объектами, будем называть распорядительным (РП), а пункт, где находятся объекты, - исполнительным (ИП).

Управление объектами, осуществляемое по изложенному принципу, называют местным управлением.

В историческом плане местное управление объектами является

наиболее ранним. Так, еще в 1812г. русский ученый Павел Львович Шиллинг использовал его для управления взрывом мин на р.Неве [1].

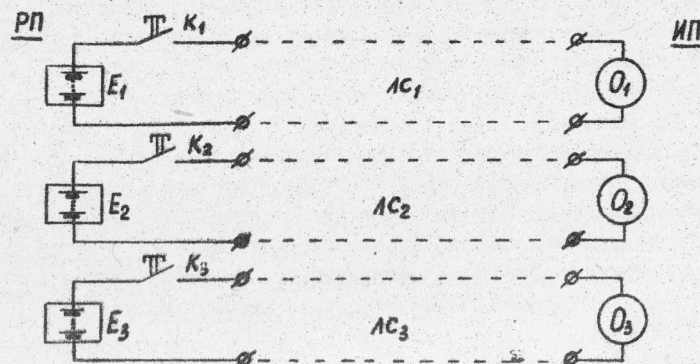


Рис. 2.1. Система местного управления объектами

Принцип взрыва мин на расстоянии ясен из рис. 2.2.

При замыкании контакта К, установленного на берегу, возникала электрическая дуга между двумя угольными электродами $У_1$ и $У_2$ и происходил взрыв мины. Батарея $В$ состояла из 600 пар медных и цинковых пластин.

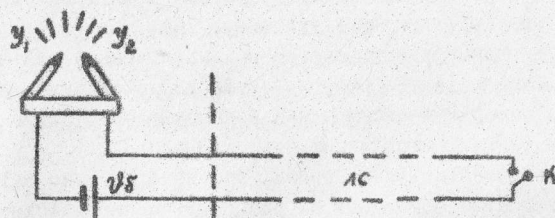


Рис. 2.2. Схема устройства для управления взрывом мин, предложенная П.Л.Шиллингом (1812г.)

Несмотря на простоту используемого принципа, предложенная П.Л.Шиллингом система произвела очень большое впечатление на современников. На испытаниях на р.Неве лично присутствовал император Александр I, а в 1814г. П.Л.Шиллинг демонстрировал опыты на р.Сене в Париже.

Местное управление, как уже отмечалось, является простейшим видом управления объектами на расстоянии. Однако оно обладает и существенными недостатками. Прежде всего, при его реализации

требуется большое число проводных линий связи (передача энергии по другим линиям связи в настоящее время практически не осуществляется). Кроме этого, при увеличении расстояния в самих проводах связи создается значительное падение напряжения (особенно при управлении объектами с большим потреблением энергии), и приходится увеличивать сечение проводов. Это в свою очередь приводит к большим затратам цветных металлов.

Отмеченные недостатки делают применение местного управления технически и экономически нецелесообразным при расстояниях, превышающих сотни метров (применяется оно обычно в пределах помещения цехов, небольших территорий заводов и т.п.).

2.1.2. Дистанционное управление

Более экономичным является другой вид управления объектами на расстоянии, который получил название дистанционного управления. Он основан на следующем принципе.

Величину рабочего тока I в линии связи, а следовательно, и сечение проводов, можно существенно уменьшить, если передавать по линии связи не энергию, потребляемую объектом, а только маломощные сигналы, несущие информацию об операциях по управлению объектом. При этом источник энергии, необходимой для выполнения этих операций, устанавливается в непосредственной близости от объекта (на ИП). Подключение или отключение энергии осуществляется с помощью специальных устройств, воспринимающих маломощные сигналы из линии связи. В большинстве случаев в качестве таких устройств используются промежуточные реле, которые своими контактами вызывают срабатывание более мощных реле (контакторов, пускателей и т.п.), непосредственно подводящих энергию к объекту управления. В некоторых случаях для подключения источников энергии используются контакты самих промежуточных реле.

Структура системы дистанционного управления тремя объектами приведена на рис. 2.3.

С помощью ключей управления (K_1, K_2, K_3) с РП обеспечивается включение или отключение промежуточных реле $ПР_1, ПР_2, ПР_3$, которые потребляют незначительный ток (I) от источника питания ($В$). Своими контактами реле $ПР_1, ПР_2, ПР_3$ осуществляют подключение или отключение энергии источников E_1, E_2, E_3 к соответствующим объектам управления (O_1, O_2, O_3) на ИП.

В историческом плане дистанционное управление объектами стало возможным только после изобретения устройства, выполняющего функции промежуточного реле. Такое устройство, являющееся прообразом

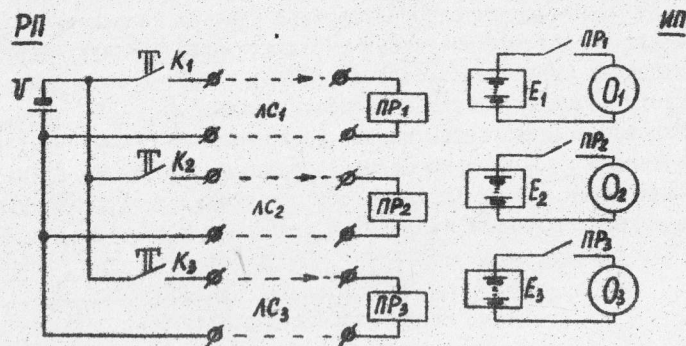


Рис. 2.3. Система дистанционного управления объектами

современных реле, было изобретено П.Л.Шиллингом в 1832г. Оно было названо им "мультипликатором" и использовалось для включения звонка в изобретенном им же телеграфе [1].

Разрабатывая схемы дистанционного управления, отечественные изобретатели, уже в 50-х годах восемнадцатого столетия нашли ряд интересных решений.

В 1854г. на паровой фрегате "Полкан" Б.С.Якоби осуществил так называемый "корабельный телеграф", который представлял собой устройство для дистанционной передачи команд управления в машинное отделение корабля.

В 1856г. по проекту К.И.Константинова на Петербургском ракетном заводе были изготовлены "электрические клавиорды". Это устройство для дистанционного управления стрельбой из орудий было разработано К.И.Константиновым со следующей целью.

На торжествах, происходивших в Москве по случаю коронации Александра II, соединенный хор и оркестр в составе около 3000 человек исполняли государственный гимн. Было предложено заменить звуки барабанов в оркестре пушечными выстрелами. Для того чтобы обеспечить необходимый ритм выстрелов из орудий, находившихся на расстоянии километра от пульта дирижера, нужно было снабдить последнего соответствующим устройством управления. Клавиордами это устройство было названо потому, что в нем имелись клавиши, после нажатия которых происходили выстрелы из орудий.

Своими остроумно задуманными и технически прекрасно выполненными "электрическими клавиордами" К.И.Константинов открыл новую интересную страницу в технике управления различными объектами на расстоянии. В частности, издававшийся в то время "Артиллерийский журнал" отмечал, что "... подбные клавиорды сверх музыкального их назначения могут быть применены в некоторых случаях к последовательному взрыванию боевых мин".

В 1863г. А.П.Давыдов предложил для приведения в действие мины оригинальное устройство, названное "реле - соединитель". Назначение этого реле - включить в цепь мощный источник питания (главную батарею) в тот момент, когда неприятельское судно коснется мины и наклонит соединительный прибор.

Дистанционное управление позволило устранить только один недостаток местного управления, а именно: уменьшить падение напряжения в проводах и тем самым увеличить дальность действия системы управления объектами.

Однако второй недостаток местного управления - большое число линий связи, равное числу управляемых объектов, - присущ дистанционному управлению. Именно поэтому при увеличении расстояния до управляемых объектов свыше нескольких сот метров дистанционное управление становится также технически и экономически невыгодным.

На смену ему пришел совершенно новый метод управления объектами на расстоянии - телеуправление.

2.1.3. Телеуправление

Метод телеуправления объектами основан на принципе кодирования информации, пер даваемой по одной (или нескольким) линиям связи. Кодирование информации является качественно новым признаком, отличающим телеуправление от местного и дистанционного методов управления. Оно позволяет передавать по одной линии связи то же самое количество информации, которое передавалось при дистанционном методе по нескольким линиям связи, или значительно большее количество информации при сохранении того же числа линий связи.

Поясним оказанное следующим примером. Построим систему управления объектами на расстоянии так же, как и при дистанционном методе (см. рис. 2.3). Однако схему подключения (или отключения) энергии к объектам управления реализуем по более сложной логике, учитывая при управлении каждым объектом комбинацию состояний

всех промежуточных реле ($ПР_1$, $ПР_2$, $ПР_3$). Эта логика условно отражена в табл. 2.1, где "1" отражает включенное состояние соответствующего реле, а "0" — отключенное.

Таблица 2.1.

Состояние промежуточных реле			Передаваемые сообщения
$ПР_1$	$ПР_2$	$ПР_3$	
0	0	0	"Объекты отключены"
0	0	1	"Включить 1 объект"
0	1	0	"Включить 2 объект"
0	1	1	"Включить 3 объект"
1	0	0	"Включить 4 объект"
1	0	1	"Включить 5 объект"
1	1	0	"Включить 6 объект"
1	1	1	"Включить 7 объект"

Система управления объектами на расстоянии, построенная по изложенному принципу, приведена на рис. 2.4.

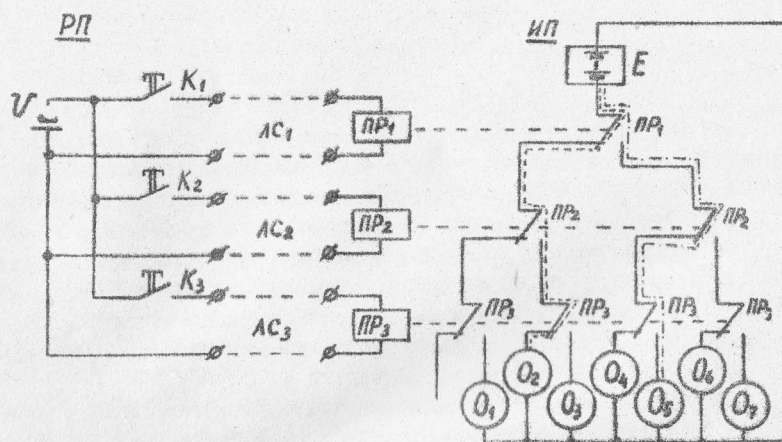


Рис. 2.4. Система телеуправления объектами

Как видно из рис. 2.4, система позволяет осуществить управление 7 объектами. Так, например, для включения 3-го объекта достаточно замкнуть ключи управления K_2 и K_3 . При этом сработают промежуточные реле $ПР_2$ и $ПР_3$, скомутируют свои контакты, и образуется цепь подключения источника энергии E к объекту O_3 (эта цепь показана на рис. 2.4. пунктиром). Для включения 5-го объекта необходимо замкнуть ключи управления K_1 и K_3 . В результате сработают промежуточные реле $ПР_1$ и $ПР_3$, скомутируют свои контакты, и образуется цепь для подключения источника энергии E к объекту O_5 (на рис. 2.4. эта цепь показана штрих-пунктиром). Аналогичным образом происходит включение и других объектов. Для отключения объектов достаточно разомкнуть все ключи управления (K_1 , K_2 , K_3).

Рассмотренная система обеспечивает управление $N = 7$ объектами, в то время как система дистанционного управления (рис. 2.3) при том же числе $N_{лс} = 3$ линий связи обеспечивала управление только $N = 3$ объектами.

За счет чего же появилась возможность увеличить число управляемых объектов или, говоря более обобщенно, количество передаваемых сообщений? Она появилась за счет того, что сами сообщения стали передаваться более сложными сигналами, представляющими собой определенную совокупность (комбинацию) сигналов во всех $N_{лс} = 3$ линиях связи. При этом каждой комбинации сигналов соответствует одно и только одно определенное сообщение (см. табл. 2.1). П р а в и л о, по которому осуществляется взаимно однозначное отображение передаваемых сообщений на комбинацию сигналов в линиях связи, и принято называть к о д о м. Это правило, или код, может быть записано тем или иным образом. Часто для записи кода используют к о д о в ы е т а б л и ц ы, аналогичные табл. 2.1.

Таким образом, телеуправление, использующее принцип кодирования сообщений при передаче их по линии связи, позволяет значительно увеличить ч и с л о передаваемых сообщений, а следовательно, и количество управляемых объектов. Именно поэтому оно становится технически и экономически оправданным, когда речь идет об управлении б о л ь ш и м количеством объектов ($N > 10$) на з н а ч и т е л ь н ы х расстояниях (до единиц-сотни километров).

2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Современные промышленные системы телемеханики могут быть проклассифицированы на основе различных критериев. Наиболее целесообразно для первоначального углубленного знакомства с телемеханическими системами рассмотреть их классификацию по функциональному назначению, т.е. по тем основным задачам, для решения которых предназначена та или иная группа систем.

По выполняемым функциям все современные телемеханические системы могут быть разбиты на следующие группы:

1. системы телесигнализации (ТС);
2. системы телеуправления (ТУ);
3. системы телеуправления - телесигнализации (ТУ-ТС);
4. системы телеизмерения (ТИ);
5. системы телеуправления - телесигнализации - телеизмерения (ТУ - ТС - ТИ);

Ниже на конкретных примерах рассматриваются характерные отличительные особенности каждой из перечисленных групп систем.

2.2.1. Системы телесигнализации (ТС)

Системами телесигнализации называются системы, которые обеспечивают передачу информации диспетчеру на РП о состоянии объектов, расположенных на ИП (рис. 2.5).

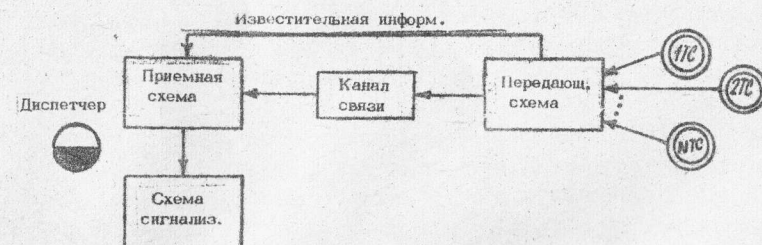


Рис. 2.5. Структурная схема системы телесигнализации

Объекты, состояние которых отображается передаваемыми сообщениями, называются объектами телесигнализации (1 ТС, 2 ТС, ... N ТС), а сами сообщения носят

название известительных (от слова "известие").

В большинстве случаев объекты телесигнализации являются двухпозиционными, т.е. имеют два возможных состояния (например, "выключен" - "выключен", "норма" - "авария" и т.п.). Они не управляют диспетчером с РП, а меняют свое состояние только под действием изменяющихся условий работы (от сигналов устройств местной автоматики, от изменения параметров окружающей среды и т.п.).

Принципы формирования и передачи известительной информации могут быть различными. Наиболее часто на практике применяют три разновидности систем ТС:

1) системы ТС, у которых известительные сообщения формируются и передаются автоматически в момент изменения состояния объектов телесигнализации (по такому принципу построено большинство систем аварийной сигнализации);

2) системы ТС, у которых известительные сообщения о состоянии объектов ТС передаются непрерывно (как правило, поочередно) и независимо от того, изменилось или не изменилось состояние какого-либо объекта;

3) системы ТС, у которых известительные сообщения формируются только после получения специального сигнала вызова от диспетчера (такие системы получили название систем вызывной телесигнализации); после получения сигнала вызова система ТС выдает на РП, как правило, сообщения о состоянии всех объектов ТС.

Системы ТС широко используются для контроля различных параметров подвижных и неподвижных объектов, к которым относятся объекты железнодорожного, воздушного и водного транспорта, спутники, ракеты и т.п.; энергосистемы; нефте- и газопромыслы; крупные заводы, шахты, ирригационные и мелиоративные системы; коммунальное хозяйство городов и т.п.

В качестве примера конкретной реализации системы ТС с непрерывной передачей известительных сообщений можно привести систему локомотивной телесигнализации, применяемой на железнодорожном транспорте [10]. Основное назначение системы состоит в переносе показаний путевых светофоров на специальный локомотивный светофор, установленный в кабине на пульте машиниста. Помимо сигнализации, эта система обеспечивает контроль бдительности машиниста, проверяя его реакцию на полученный сигнал. При появлении на локомотивном светофоре запрещающего сигнала машинист должен нажать специальную рукоятку, подтверждая свою бдительность. Если он рукоятку бдительности не нажмет, тогда поезд будет остановлен автоматически с помощью автостопа.

Применение автоматической локомотивной телесигнализации исключает случай проезда запрещающих сигналов и позволяет вести поезд в любых условиях уверенно и без снижения скорости.

Передача сигнальных показаний путевых светофоров может осуществляться путем использования электромагнитной индукции, световых лучей, радиосвязи и т.д.

Различают два вида систем автоматической локомотивной телесигнализации: точечные и непрерывные. В точечных системах показания на локомотивный светофор передаются только в определенных точках перед путевыми светофорами. Более совершенной системой является система сигнализации непрерывного типа, в которой передача сигнальных показаний с пути на локомотив производится непрерывно. С этой целью железнодорожная линия разбивается на отдельные электрически изолированные друг от друга блок-участки. В конце каждого блок-участка имеется путевой светофор, сигнальные показания которого передаются на локомотивный светофор. Сигнальные показания путевых светофоров передаются по рельсовой цепи в виде кодов. Рельсовой цепью называется электрическая цепь, проводами которой служат рельсы железнодорожного пути. Коды расшифровываются с помощью дешифраторов, установленных на локомотиве. Посылка кодов в рельсовые цепи навстречу поезду начинается с момента вступления поезда на блок-участок. При переходе поезда с одного блок-участка на другой локомотив принимает код, соответствующий показаниям путевого светофора, к которому он приближается.

Переход поезда на участок с более запрещающим сигналом (например, от участка с зеленым сигналом на участок с желтым) сопровождается продолжительным свистком. Если в течение 5-7 с после начала свистка машинист не нажмет рукоятку бдительности, автостоп принудительно затормозит поезд.

На рис. 2.6. представлена принципиальная схема блок-участка с путевыми и локомотивными устройствами телесигнализации. Коды, посылаемые по рельсовой цепи, представляют собой импульсы переменного тока. Код зеленого огня содержит три импульса, следующие один за другим с короткими интервалами. Затем следует длительный интервал и снова повторение кодового цикла. Код желтого огня состоит из двух импульсов в кодовом цикле, код желто-красного огня — из одного импульса, а при появлении непрерывного переменного тока загорается красный сигнал. Для выработки импульсов электрической энергии нужной последовательности, т.е.

для получения соответствующих кодов, в системе используется трансмиттер, преобразующий непрерывный переменный ток в импульсный. Это достигается применением профилированных кулачковых шайб, связанных с контактной системой (рис. 2.7.). Кулачковые шайбы I

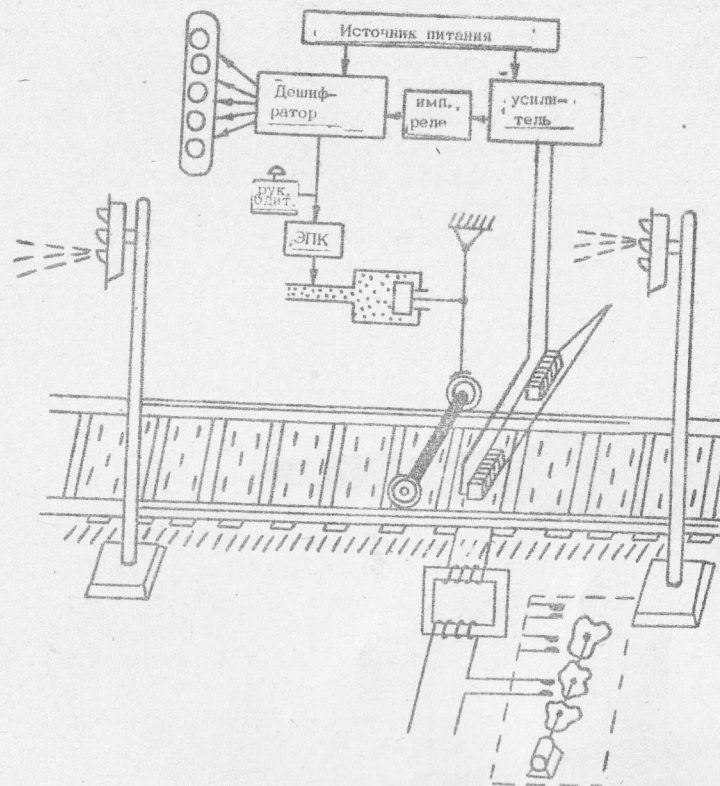


Рис. 2.6. Принципиальная схема блок-участка с путевыми и локомотивными устройствами телесигнализации

имеют различное число выступов, с помощью которых при их вращении подвижный контакт 3 периодически замыкает электрическую цепь первичной обмотки кодового трансформатора. Кулачковые шайбы жестко закреплены на одной оси, приводимой во вращение электродвигателем. Электродвигатель автоматически начинает работать, когда поезд

вступает на данный блок-участок. При помощи ряда управляющих реле, связанных с путевым светофором, и в зависимости от того, какой сигнальный огонь горит на последнем, осуществляется подключение контактов соответствующей шайбы последовательно в цепь первичной обмотки кодового трансформатора (рис. 2.6.). Вторичная обмотка трансформатора включается в рельсовую цепь. Таким образом, при замыкании соответствующих контактов трансмиттера по рельсовой цепи будет протекать импульс переменного тока, сопровождающийся появлением вокруг рельсов переменного магнитного поля.

В качестве измерительного элемента используются две катушки индуктивности, соединенные последовательно и подвешенные на локомотиве по одной над каждым рельсом на расстоянии 150 мм от уровня головки рельса. В обмотке катушек наводится э.д.с., соответствующая коду в рельсах и равная примерно 0,2 В при мощности $7,5 \cdot 10^{-6}$ Вт. Такой мощности недостаточно для срабатывания импульсных реле, воспроизводящих на локомотиве принятый код. Поэтому в системе применяется электронный усилитель. Усиленный сигнал поступает в импульсное реле, которое при наличии импульса, поступающего на локомотив, замыкает свои контакты, а при отсутствии импульса размыкает.

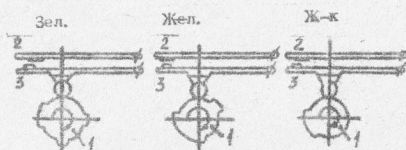


Рис. 2.7. Схема кодирующего устройства

Расшифровка принимаемых измерительным элементом кодов производится дешифратором, состоящим из реле счетчиков и сигнальных реле. С помощью реле-счетчиков ведется счет импульсов и продолжительности их. В зависимости от работы реле-счетчиков сигнальные реле обеспечивают включение на локомотивном светофоре соответствующего сигнала, а также через специальный электропневмоклапан ЭПК воздействуют на тормозную систему.

2.2.2. Системы телеуправления (ТУ)

Системами телеуправления называют системы, которые обеспечивают передачу с РП сообщений в виде команд для управления объектами, расположенными на ИП (рис. 2.8).

Объекты, управление которыми осуществляется с РП, называются объектами телеуправления (1ТУ, 2ТУ ... МТУ),

а сообщения, несущие информацию о характере операции управления, командными, или распорядительными. В большинстве случаев



Рис. 2.8. Структурная схема системы ТУ

объекты ТУ являются двухпозиционными, т.е. могут находиться только в двух состояниях ("включен" - "выключен"), поэтому командная информация состоит из сообщений вида "включить или выключить объект № i". Формируются эти сообщения или диспетчером, или специальным автоматическим устройством, которое по определенной программе обеспечивает включение (отключение) объектов ТУ.

Следует подчеркнуть следующее очень важное обстоятельство. Для того, чтобы управление объектами ТУ было эффективным, необходимо, чтобы на РП поступала информация о результатах выполнения той или иной команды (например, о включении или выключении управляемого объекта под действием сигналов с РП). Так как система ТУ не содержит обратного канала передачи известительной информации (система ТС отсутствует), то функционирование системы ТУ в "чистом" виде возможно только при выполнении следующих условий:

- 1) на РП обязательно имеется диспетчер, обеспечивающий передачу команд или контролирующей работу автоматического устройства;
- 2) объекты ТУ должны находиться на расстоянии, позволяющем диспетчеру визуально наблюдать за результатом выполнения команд, посылаемых с РП.

Наиболее широко системы ТУ используются для управления промышленными подвижными объектами и, в первую очередь, для управления различными подъемными кранами (строительными, портowymi, цеховыми и т.п.). Необходимость телемеханизации кранов объясняется такими причинами, как тяжелые условия работы оператора (высокая температура, задымленность, загазованность в металлургических цехах и т.п.); плохой обзор рабочего участка из кабины (закалочные, разливные, ковочные и др. краны); расположение места захвата груза вне поля зрения крановщика (портальные, плавающие, строительные и др. краны).

Рассмотрим в качестве примера один из возможных упрощенных вариантов построения системы телеуправления строительным краном. Для полного управления краном необходимо обеспечить (см. рис. 2.9.)

- 1) передвижение самого крана по рельсам вперед - назад;
- 2) поворот крана влево - вправо;
- 3) движение подъемного крюка вверх - вниз.

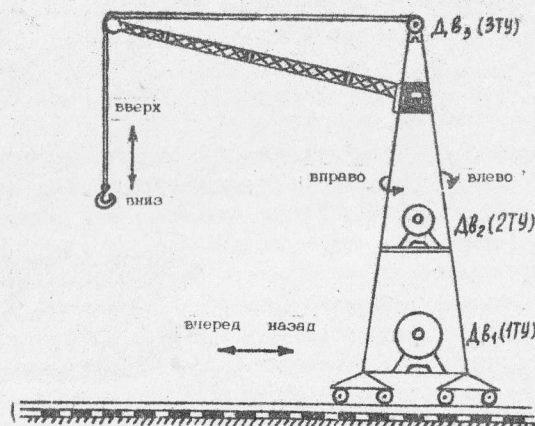


Рис. 2.9. Схема строительного крана

Таким образом, система ТУ должна обеспечивать передачу 9 сообщений (команд) типа "включить - выключить - стоп" для трех объектов телеуправления - двигателя ДВ₁ (1ТУ), который обеспечивает перемещение крана вперед - назад; двигателя ДВ₂ (2ТУ), обеспечивающего поворот крана влево - вправо; и, наконец, для двигателя ДВ₃ (3ТУ), который обеспечивает перемещение крюка вверх - вниз.

Принципиальная электрическая схема системы ТУ подъемным краном приведена на рис. 2.10.

Распределители Р₁ на РП и Р₂ на ИП вращаются строго синфазно и синхронно, что обеспечивается специальными приводами 1Пр и 2Пр. Оператор с помощью ключей управления К₁, К₂, К₃, расположенных на пульте управления, может формировать и передавать по линии связи любую из 9 команд (по отдельности или в различных взаимоисключающих комбинациях). На практике пульт управления выполняется в виде нагрудного пульта, а линия связи может быть проводной или радиоканалом (на рис. 2.10. изображена система ТУ с проводным каналом связи).

Для перемещения крана вперед оператор должен перевести ключ К₁ вверх. Тогда в процессе работы распределителей Р₁ и Р₂ сработает реле 1Р, передаст воздействие на схему управления двига-

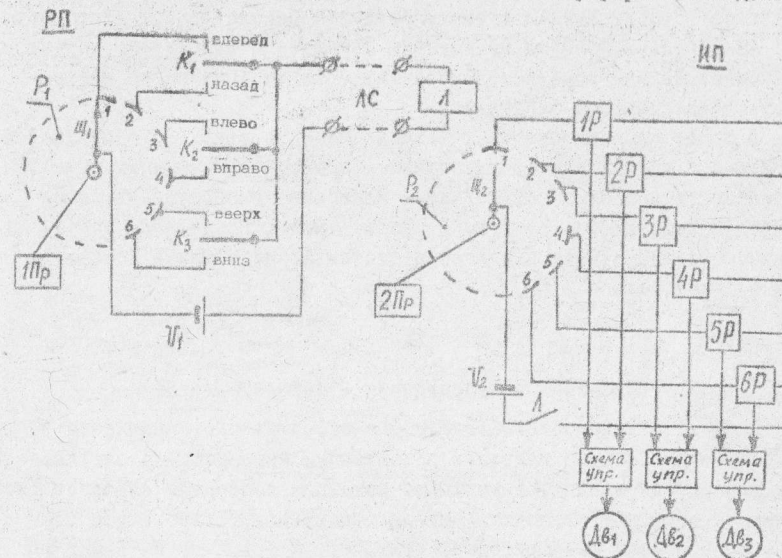


Рис. 2.10. Принципиальная схема ТУ подъемным краном

телем ДВ₁ (1 ТУ) и он включится таким образом, чтобы обеспечить передвижение крана вперед. Для перемещения крана назад достаточно перевести ключ К₁ в нижнее положение, в результате сработает реле 2Р, которое с помощью схемы управления реверсирует двигатель ДВ₁ (обеспечит вращение его в обратном направлении).

Остановимся на логике работы схемы управления двигателем ДВ₁ (схемы управления остальными двигателями аналогичны).

Из схемы (рис. 2.10) легко установить, что если ключ К₁ достаточно длительно остается в верхнем (или нижнем) положении и если скорость непрерывного вращения щеток распределителей Р₁ и Р₂ достаточно велика, то реле 1Р или 2Р будет срабатывать многократно (будет многократно подтверждаться переданная команда). Это обстоятельство используется для повышения надежности работы системы ТУ, а именно: схема управления двигателем включает его при условии многократного срабатывания реле 1Р (при движении вперед) или реле 2Р (при движении назад). Если какое-нибудь из этих реле сработает однократно (например, под дейст-

нием помех), то двигатель не выключается. Этот же принцип используется и для остановки двигателя (для реализации команды "стоп"). При переводе ключа K_1 в нейтральное положение реле 1Р (или 2Р) перестает срабатывать и схема управления останавливает двигатель.

Аналогичным образом происходит передача и выполнение других возможных команд управления. Правильность их выполнения контролируется оператором визуально.

В более сложных системах ТУ подъемными кранами осуществляется передача и других команд управления (кроме перечисленных выше), в частности, команд на ступенчатое изменение скоростей движения вперед-назад, влево - вправо и вверх - вниз. Более подробно с различными вариантами выполнения систем ТУ подъемными кранами можно ознакомиться в [11].

2.2.3. Системы телеуправления - телесигнализации

Как уже отмечалось в 2.3.2., для эффективного управления объектами необходимо получать объективную информацию о результатах выполнения команд, а также об истинном состоянии объектов (так, например, команду "включить" следует подавать только в том случае, если объект действительно отключен, и т.д.). В системах ТУ такую информацию диспетчер (оператор) получал путем визуального наблюдения за объектами управления. Однако такая возможность, очевидно, существует на практике далеко не всегда. Кроме того, при отсутствии диспетчера на РП визуальные методы также становятся непригодными. Во всех этих случаях систему телемеханики выполняют так, что она содержит в себе как бы две отдельных системы - систему ТУ и систему ТС - и называют ее системой телеуправления - телесигнализации (ТУ - ТС).

Системы ТУ - ТС являются наиболее типичными и широко распространенными на практике системами телемеханики. Структурная схема системы ТУ - ТС может быть представлена в следующем обобщенном виде (рис. 2.11).

Как видно из рис. 2.11, командная информация формируется диспетчером или автоматическим устройством, а известительная - автоматически системой ТС по сигналам, поступающим от объектов телеуправления (1ТУ, 2ТУ ... МТУ) или объектов телесигнализации (1ТС, 2ТС ... N ТС). Здесь еще раз уместно напомнить, что объекты ТС отличаются от объектов ТУ тем, что они не управляются с РП, а изменяют свое состояние только под действием местных условий;

объекты ТУ могут менять свое состояние как под действием местных причин (например, отключаться при повреждении питающей сети, перегреве элементов конструкции и т.п.), так и под действием команд управления.

Известительная информация может формироваться по одному из рассмотренных выше принципов (см. 2.2.1.). В том случае, когда

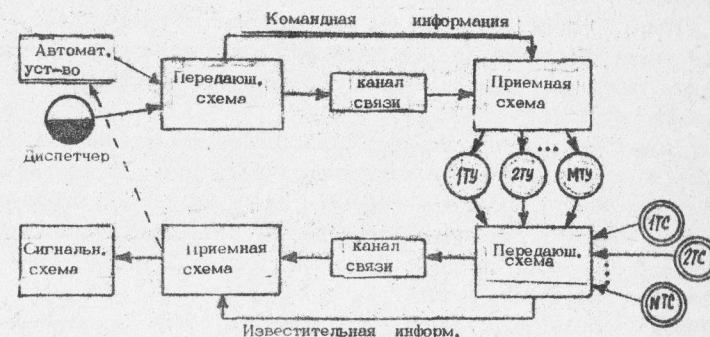


Рис. 2.11. Структурная схема системы ТУ - ТС

система ТС является системой вызывной телесигнализации, в число команд управления необходимо включить и команду (команды) вызова телесигнализации.

Командные и известительные сообщения могут передаваться как по отдельным каналам связи, так и по одному каналу связи. В последнем случае система, как правило, является более сложной, однако эта сложность в подавляющем числе случаев окупается за счет экономии одного канала связи.

Ниже в качестве примера мы рассмотрим упрощенный вариант системы ТУ - ТС, предназначенный для управления и контроля за состоянием дождевальная машины "Фрегат".

Система ТУ - ТС должна обеспечивать:

1) включение и отключение электрогидравлического реле (ЭГР), которое управляет подачей воды в дождевальную машину (ДМ) путем открытия или закрытия задвижки;

2) телесигнализацию о состоянии машины (включенном или отключенном) - автоматически, в момент изменения состояния машины.

Следует отметить, что ДМ может включаться только под действием команды "включить", передаваемой оператором с РП, в то время, как отключение ее может происходить под действием двух причин - после

приема команды оператора "отключить" или автоматически при возникновении аварийного изгиба трубы машины; аварийное отключение обеспечивается с помощью ртутных выключателей $PB_1, PB_2 \dots PBN$, равномерно расположенных вдоль трубы; при аварийном изгибе трубы размыкается один или несколько ртутных выключателей и разрывается цепь питания ЭГР; в результате закрывается задвижка и прекращается подача воды в машину;

система ТС должна обеспечить автоматическую выдачу сообщений об изменении состояния ДМ, происходящем как под действием передаваемых оператором команд, так и в результате возникновения аварийной ситуации;

3) вызывную телесигнализацию о состоянии ДМ; необходимость в вызывной телесигнализации может возникнуть после того, как в течение некоторого времени аппаратура на РП по тем или иным причинам не работала; для периодического контроля оператором состояния ДМ, если есть опасность неприема сигналов телесигнализации (и особенно аварийной) и т.п.

Таким образом, система ТУ - ТС для ДМ "Фрегат" должна обеспечивать:

1) передачу трех команд управления - две для управления машиной ("включить" - "отключить") и одну для вызова телесигнализации;

2) передачу двух известительных сообщений о состоянии машины ("включена" - "отключена").

Принципиальная схема системы ТУ - ТС для ДМ "Фрегат" (в упрощенном варианте и с использованием двух проводных линий связи) приведена на рис. 2.12.

Для выдачи какой-либо команды (например, "включить") оператор должен перевести ключ управления (КУ) в соответствующее положение и нажать кнопку пуска (КП). При этом сработает схема управления приводом PP_1 , которая включит привод PP_1 , приводящий в движение щетку ($Щ_1$) распределителя P_1 . Нормально щетка $Щ_1$ находится в положении "0", а при вращении последовательно замыкает контакты "П", "1", "2" и "3". При возвращении щетки в "0" привод PP_1 выключается схемой управления. Контакт "П" выполнен так, чтобы время его замыкания щеткой было больше, чем время замыкания контактов 1 + 3, благодаря чему в линии связи ЛС формируется первый импульс (его называют "пусковым"), имеющий большую длительность ($t_{дл}$), чем все остальные ($t_{р}$). Для рассматриваемого случая, когда передается команда "включить", в линии связи ЛС

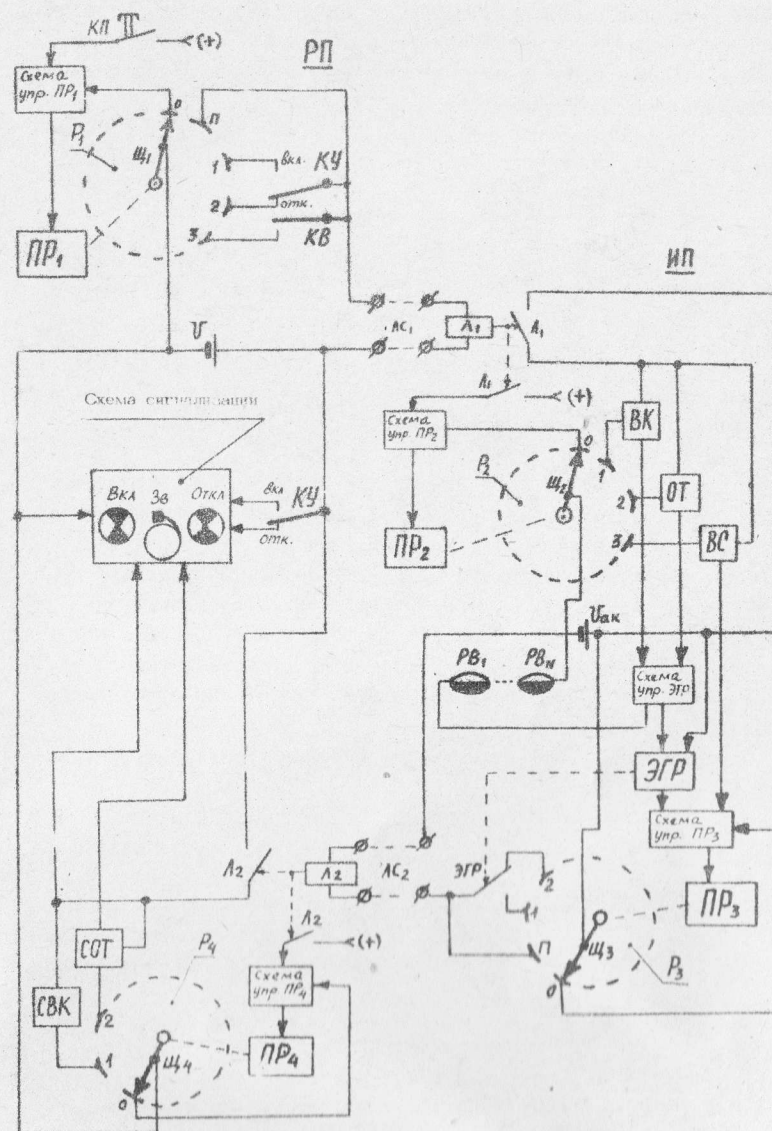


Рис. 2.12. Принципиальная схема системы ТУ-ТС для ДМ "Фрегат"

будет иметь место сигнал, изображенный на рис. 2.13.

На исполнительном пункте (ИП) в результате приема первого (пускового) импульса сработает линейное реле L_1 и замкнет свой контакт в схеме управления приводом PR_2 , который обеспечивает вращение щетки распределителя P_2 .

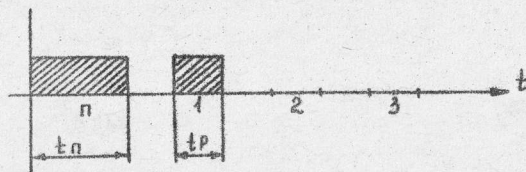


Рис. 2.13. Вид сигнала в ЛС₁ при передаче команды "включить"

Схема управления выполнена так, что включает привод PR_2 лишь п. и замыкании контактов L_1 на время $t = t_n$ (при $t < t_n$ привод не включается). Таким образом, первый импульс сигнала в ЛС₁ (см. рис. 2.13) обеспечит включение привода PR_2 , и в тот момент, когда щетка распределителя P_2 замкнет контакт "1", сработает реле ВК (цепь срабатывания образуется благодаря замкнувшемуся контакту реле L_1 , которое сработает от импульса "1", следующего за пусковым импульсом - см. рис. 2.13). Реле ВК, воздействуя на схему управления реле ЭГР, обеспечит включение последнего.

Аналогичным образом работает система и при передаче остальных команд (при передаче команды "отключить" сработает реле Ог и обесточит реле ЭГР, а при передаче команды "вызов телесигнализации" сработает реле ВС).

Сигналы в ЛС₁, соответствующие передаче этих команд, приведены на рис. 2.14.

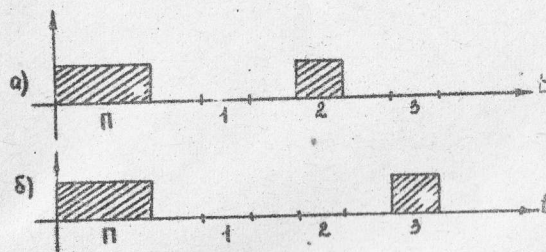


Рис. 2.14. Сигналы в ЛС₁ при передаче команды "отключить" (а) и команды "вызов телесигнализации" (б)

Рассмотрим теперь работу системы в режиме телесигнализации. При изменении состояния реле ЭГР (при его включении или отклю-

чении), а также при срабатывании реле ВС передается воздействие на специальную схему управления приводом PR_3 , которая включает привод PR_3 вращения щетки $Щ_3$ распределителя P_3 . Нормальная щетка находится в положении "0", а затем в процессе вращения поочередно замыкает контакты П, 1, 2, возвращается в "0" и останавливается. В зависимости от состояния контакта реле ЭГР (изображенное состояние соответствует случаю, когда ЭГР обесточено) в линию связи ЛС₂ будет выдан сигнал (рис. 2.14, а).

Следует подчеркнуть, что сигнал (рис. 2.14, а) будет выдан: 1) в случае приема команды "отключить"; 2) в случае приема команды "вызов телесигнализации", если машина отключена; 3) в случае возникновения аварийной ситуации, когда размыкнувшиеся ртутные выключатели обесточат ЭГР.

На РП сигналы телесигнализации принимаются так же, как сигналы телеуправления на ИП при передаче команд "включить" и "отключить".

В результате их приема будут срабатывать сигнальные реле включенного состояния (СВК) или отключенного состояния (СОТ). Эти реле воздействуют на специальную схему сигнализации, которая в простейшем случае содержит две лампочки накаливания: зеленого цвета (загорается при включенном состоянии машины) и красного цвета (загорается при отключении машины). Если включенная до этого дождевальная машина отключается аварийно, то лампочка красного цвета загорается мигающим светом и одновременно включается электрический звонок (ЗВ) - это делается с целью привлечения внимания оператора к произошедшей аварийной ситуации.

2.2.4. Системы телеизмерения

Системы телеизмерения (ТИ) предназначены для передачи на расстояние значений непрерывных измеряемых величин.

Структурная схема системы ТИ может быть представлена следующим виде (рис. 2.15).

Измеряемые величины $A_1, A_2 \dots A_N$ (в общем случае - различной физической природы) с помощью датчиков $D_1, D_2 \dots D_N$ преобразуются в сигналы (чаще всего, электрические), которые поступают в передающую схему и преобразуются в параметры, удобные для передачи по линии связи.

Параметры, удобные для передачи по линии связи, необходимо понимать как такие виды сигналов, которые: 1) обеспечивают мини-

маленькую погрешность измерений при изменении параметров линии связи (сопротивления проводов, утечки и т.п.); 2) обеспечивают

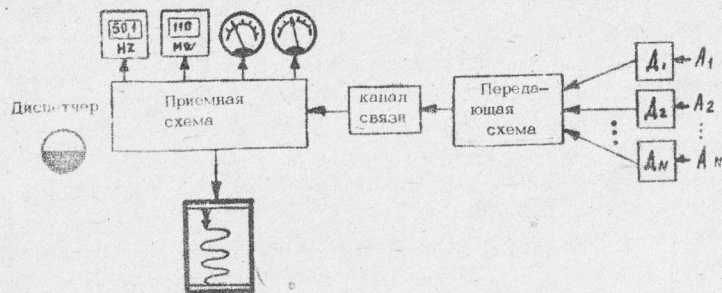


Рис. 2.15. Структурная схема телеизмерительной системы

возможность максимально уплотнить линию связи, т.е. обеспечивают возможность передачи по одной линии связи нескольких (в пределе - всех N) измеряемых величин.

На распорядительном пункте диспетчер контролирует значения измеряемых величин с помощью тех или иных приборов - стрелочных, цифровых, самопишущих и т.п. Сигналы, поступающие на входы этих приборов, формируются приемной схемой после приема и обработки сигналов из линии связи.

В качестве примера построения системы ТИ рассмотрим одну из наиболее простых разновидностей телеизмерительных систем, использующую число - импульсную модуляцию сигнала в линии связи (рис. 2.16.).

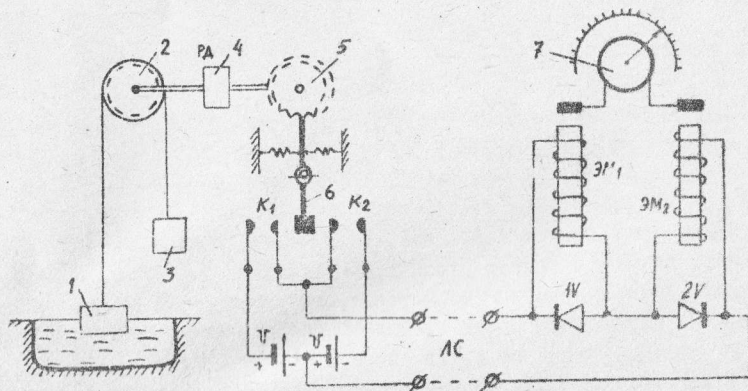


Рис. 2.16. Принципиальная схема число - импульсной телеизмерительной системы

Система предназначена для измерения уровня жидкости в каком-либо резервуаре (подобная система была впервые построена русскими учеными Ф.Ф.Врангелем и И.М.Диковым в 1876 г. для измерения уровня воды в реке Ингул; схема ее, заимствованная из [1], приведена для сравнения на рис. 2.17.).

При изменении уровня жидкости поплавок 1 перемещается вверх или вниз, что вызывает поворот блока 2 под действием груза 3 (угол поворота блока 2 пропорционален изменению уровня жидкости).

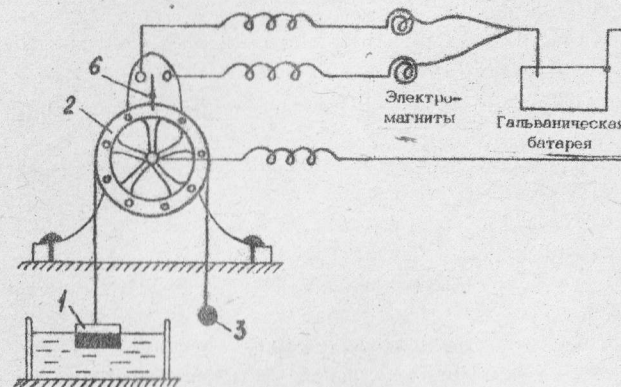


Рис. 2.17. Система Ф.Ф.Врангелля и И.М. Дикова

Вместе с блоком 2 поворачивается зубчатое колесо 5 (оно соединено с блоком 2 через редуктор 4). Каждый зуб колеса 5 отклоняет подвижный контакт 6 от среднего нейтрального положения вправо (если уровень повышается - при этом замыкается контакт K_1), или влево (если уровень понижается - при этом замыкается контакт K_2). Контакт K_1 формирует в линии связи импульсы положительной полярности (условно), а контакт K_2 - импульсы отрицательной полярности. При замыкании контакта K_1 срабатывает электромагнит $ЭМ_1$, который с помощью храповика 7 перемещает стрелку вправо. Число замыканий контакта K_1 , а следовательно, и угол поворота стрелки, будут, очевидно, пропорциональны степени повышения уровня жидкости.

Если уровень жидкости понижается, то будет замыкаться контакт K_2 и формировать в линии связи импульсы отрицательной полярности. На приемной стороне будет срабатывать электромагнит $ЭМ_2$, который обеспечит поворот стрелки в обратном направлении на угол, пропорциональный степени понижения уровня жидкости.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Храмов А.В. Очерк истории развития автоматики в СССР, дооктябрьский период. М., Изд-во АН СССР. 1956.
2. Петров В.Н., Петров Е.П., Воронов А.А., Храмов А.В. Развитие теории автоматического регулирования в СССР. Труды II Всесоюзного совещания по теории автоматического регулирования. Том I. М., Изд-во АН СССР. 1955.
3. Попов Е.П. Автоматическое регулирование и управление. Глава I, М., "Наука", 1966.
4. Шилейко А.В., Шилейко Т.И. Кибернетика без математики. М., "Энергия", 1974.
5. Гордин А.Б. Занимательная кибернетика. М., "Энергия", 1974.
6. Пекелис В. Маленькая энциклопедия о большой кибернетике. М., "Детская литература", 1973.
7. Либерзон Л.М., Родов А.Б. Системы экстремального регулирования" М., "Энергия" 1965.
8. Слейго Дж. Искусственный интеллект (пер. с англ.) М., "Мир", 1973.
9. Большая советская энциклопедия, изд. третье. М., 1970-77, статьи: автоматика, кибернетика, робот, большая система, автоматизация производства.
10. Вершинин Н.И., Верцайзер А.Д., Яковлев В.М. Автоматический контроль. М., "Энергия", 1964.
11. Тимошинов П.М. Телеуправление подвижными промышленными объектами. Л., "Энергия", 1969.

Альберт Георгиевич Александров,
Анатолий Иванович Гусев

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
"АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА"

Конспект лекций

Редактор Л.А.Мишина
Корректор Л.Н.Солдаткина

ИГ 78070 Подписано к печати 07.12.77. Формат 60x84 1/16
Бум. тип. № 3 Печ. л. 3,2 Уч.-изд. л. 3
Заказ 720 Тираж 200 экз. Цена 10 коп.

СПИ. Ротапринт, Саратов, Политехническая, 77