

9 Регуляторы

В первом разделе данного пособия уже пояснено целевое назначение автоматических регуляторов, их структура построения и функциональные обязанности. Теперь необходимо разобраться в разновидностях регуляторов и их особенностях с точки зрения обеспечения качества регулирования, как результата работы любого регулятора. В том же разделе уже упоминались составные элементы автоматического регулятора в общем виде. Дополним их конкретным содержанием:

- измерительный преобразователь содержит чувствительный элемент (термосопротивление, термопара, реостат, диафрагма, трубчатая пружина, поплавки и т.д.), воспринимающий значение параметра регулирования;
- элемент сравнения измерительный (мостовая, дифференциально-трансформаторная или компенсационная схемы, гальвометр, дифманометр и т.д.), определяющий величину параметра регулирования;
- задатчик (контактно-кулачковый механизм, реостат, катушка индуктивности, фигурное лекало с электродвигателем и реостатом и т.д.), формирующий задание регулятору;
- усилительно-преобразующее устройство (усилитель электронный, магнитный, пневматический, гидравлический с формирователями – контактно-кулачковым, реостатным, реостатно-емкостным и т.д.), формирующий мощность и закономерность включения исполнительного механизма;
- исполнительный механизм (электродвигатель, цилиндр с поршнем, электромагнит и др.), перемещающий регулируемый орган;
- регулируемый орган (задвижка, клапан, транспортер и др.), непосредственно осуществляющий изменение потока энергии или вещества (газа, воды, пара, электрической энергии и т.д.) в объект регулирования.

В зависимости от конструкции и назначения регулятор может состоять из всех или только из части перечисленных элементов. Например, могут отсутствовать усилитель и названные измерительные схемы. Вместо сложных измерительных схем в качестве элемента сравнения могут использоваться достаточно простые: рычаг, мембрана и др. Иногда в состав регулятора входит преобразующее устройство, в котором один вид сигнала (физическая величина) преобразуется в другой вид сигнала (например, электрическая величина). В современных регуляторах часто включают нормирующий блок, позволяющий регулятору работать с различными датчиками, что придает регулятору универсальность.

При монтаже регуляторов на объекте происходит конструктивное распределение упомянутых типовых элементов по рабочим местам. Исполнительный механизм (ИМ) и регулируемый орган (РО) монтируют в одном корпусе и устанавливают около объекта, чтобы уменьшить расстояние для передачи силового энергетического воздействия на объект. Измерительную часть регулятора: задатчик, элемент сравнения, усилитель и формирователь управляющего воздействия монтируют также в одном корпусе и устанавливают на щите оператора. Этот комплекс образует вторичный

прибор. Его называют регулятором т.к. он является определяющим звеном в цепи управления.

Все элементы регулятора соединяются последовательно с помощью так называемых прямых связей. Для этих связей используют рычаги, зубчатые передачи, электрические провода, трубки для гидравлических и пневматических связей.

В результате образуется множество конструкций регуляторов. Но с точки зрения обеспечения процесса регулирования на заданном техническом уровне регуляторы классифицируют по ряду признаков.

4.1 Классификация регуляторов

4.1.1 По роду энергии, используемой для приведения в действие составных элементов регуляторов, их подразделяют на пневматические, гидравлические, электрические и комбинированные (электропневматические, электрогидравлические).

В пневматических регуляторах источником рабочей энергии и носителем передаваемых сигналов является сжатый воздух. Действие пневматического регулятора основано на изменении давления воздуха под действием параметра регулирования и на преобразовании давления воздуха в механическое усилие для перемещения мембран, трубок, поршней и т.д. Пневматический регулятор представляет собой набор взаимосвязанных пневматических устройств: различных дросселей, мембран, упругих элементов, камер и соединительных трубок. Работа регулятора обеспечивается подводом к нему очищенного сжатого воздуха со стабильным давлением.

Пневматические регуляторы широко применяют в промышленности благодаря высокой надежности, простоте эксплуатации, а также пожаро- и взрывобезопасности. В принципе их можно использовать для регулирования любых физических величин. Для этого нужно лишь ввести в состав регулятора соответствующий измерительный преобразователь и возможно нормирующий блок.

Конструкция и технические возможности гидравлического регулятора аналогичны пневматическому. Здесь используется лишь другой энергоноситель – давление жидкости. Но в месте с тем в гидравлических регуляторах появляется положительный момент - отсутствие сжатия жидкости по сравнению с воздухом. Это позволяет развивать большие усилия в гидравлическом регуляторе, потому они находят применение в СДМ.

Однако в практике промышленного производства наиболее распространены электрические регуляторы. Их достоинство состоит в простоте и удобстве использования электроэнергии, дающей возможность простой передачи воздействий на расстояние, простой связи между регулятором и периферийными устройствами. Это расширяет функциональные возможности регуляторов.

В качестве электрических регуляторов пока еще используются автоматические мосты, автоматические потенциометры и дифференциально-

трансформаторные автоматические приборы. Для этого упомянутые приборы оснащаются контактно-кулачковым формирователем управляющего воздействия, позволяющим осуществить двух или трехпозиционное регулирование.

Для непрерывного регулирования используют пропорциональные и изодромные регуляторы типа ПР1, ИР.

В настоящее время эти регуляторы заменяются электронными микроконтроллерами типа Ремиконт, Ламиконт, Симатик, Адам. Благодаря использованию микроэлектроники микроконтроллеры обеспечивают высокое быстродействие и широкие функциональные возможности.

4.1.2 По назначению различают регуляторы *температуры, давления, расхода, перемещения* и т.д. Определяется это параметром регулирования. Но современные регуляторы универсальны благодаря включению на их входе нормирующих блоков. Это стандартные блоки, обеспечивающие преобразование сигналов различной природы в стандартный унифицированный сигнал. Например, в электрический ток 0-5 мА преобразует токовый преобразователь, к которому могут быть подключены различные измерительные преобразователи параметров объекта регулирования. Существуют также пневматические преобразователи.

Тем не менее, конкретно смонтированный универсальный регулятор будет определен по назначению группой параметров управления.

4.1.3 По способу действия на объект регулирования или способу связи с регулирующим органом регуляторы делят на две группы: непосредственного (прямого) действия, в которых усилие, необходимое для перемещения регулирующего органа, создается изменением параметра регулирования без применения постороннего источника энергии и непрямого (косвенного) действия, работающие с использованием постороннего источника энергии.

Примером регулятора прямого действия может служить показанный выше на рисунке 12 поплавковый регулятор уровня топлива в камере карбюратора двигателя внутреннего сгорания. Его структурная схема показана на рисунке 13.

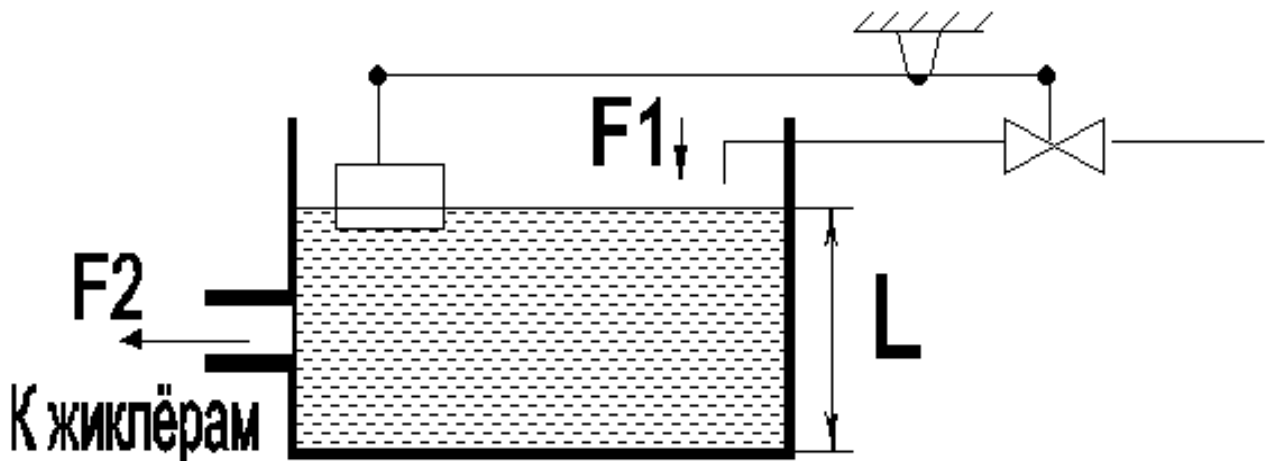


Рисунок 13 – Система с поплавковым регулятором

Регулирующий орган (клапан, запорная игла) перемещается за счет изменения уровня топлива, вызывающего перемещение поплавка через силу Архимеда. Больше здесь никаких источников энергии нет.

Наглядно видна простота такого регулятора. Но этот регулятор имеет существенные недостатки: *низкую чувствительность и рывковое движение* регулирующего органа.

Низкая чувствительность предельно ясно проявляется в следующем эксперименте. Предположим, что ДВС уменьшил число оборотов, тогда $F_2 < F_1$ и уровень топлива начнет повышаться. Повышение уровня топлива должно переместить поплавок вверх, клапан вниз, приток F_1 уменьшится, достигнет равенства $F_1=F_2$ и уровень топлива не будет повышаться. Однако сразу это не произойдет. Дело в том, что для перемещения клапана вниз нужна сила поплавок, превышающая силы трения в клапане. Поэтому уменьшение числа оборотов ДВС, уменьшит расход F_2 , уровень топлива начнет повышаться, поплавок будет погружаться в топливо и вытеснять необходимый объем жидкости, вес которой образует упомянутую необходимую силу для движения клапана. Только после накопления вытесненного поплавком объема начнется движение клапана и отработка неравенства $F_2 < F_1$. Получается, что уровень изменяется, а клапан не двигается, т.е. параметр регулирования изменяется, а регулирующее воздействие не появляется в ответ на это изменение. Регулятор не чувствует изменение параметра регулирования. Эта чувствительность появляется лишь после накопления необходимого объема жидкости.

Образуется зона нечувствительности регулятора.

Рывковое движение регулирующего органа происходит следующим образом. При неподвижном клапане возникают капиллярные соединения между золотником и седлом клапана. Золотник удерживается капиллярными силами в неподвижном состоянии. Потому в приведенном выше эксперименте вытеснение и накопление необходимого объема топлива поплавком происходит в расчете на силы трения в клапане и капиллярные силы. Но как только начнется движение клапана, капиллярные соединения обрываются, и мгновенно освобождается сила, накопленная для них. В результате образуется избыточная сила, дающая рывковое движение клапана.

Рывковое движение исключает возможность малого перемещения клапана, что создает явление перерегулирования, т.е. переход регулирующего органа через положение, соответствующее равновесному состоянию системы. Это вызывает колебательный режим работы регулятора и динамическую ошибку регулирования.

Пример **регулятора непрямого действия** показан на рисунке 14. По схеме этого рисунка видно, что усилие для перемещения регулирующего органа создается электромагнитом ЭМ, который работает за счет энергии электросети. Усилие поплавок здесь используется только для коммутации контактов K_1 , K_2 , обеспечивающих подачу энергии электросети к исполнительному механизму ЭМ через схему управления. В результате

поплавок не нагружен силами трения. Он более подвижен, т.е. чувствителен к изменению уровня.

На работу регулятора не влияют здесь и капиллярные силы, так как мощность на выходном штоке исполнительного механизма заведомо больше сил трения и капиллярных сил и движение клапана определяется только мощностью исполнительного механизма.

В результате регулятор непрямого действия имеет выше чувствительность, большую точность регулирования, но он сложнее по устройству и соответственно дороже.

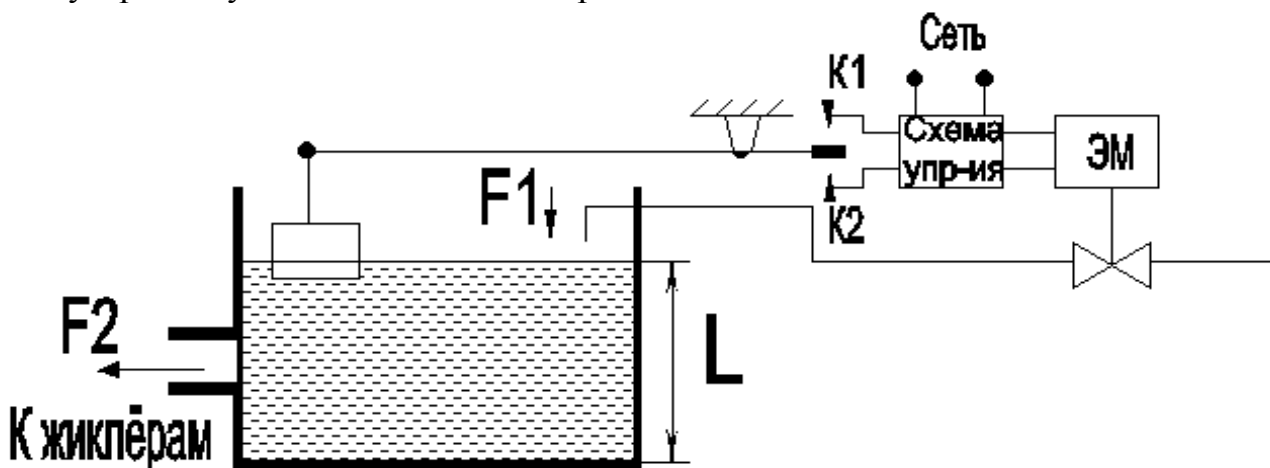


Рисунок 14 – Система с регулятором непрямого действия

4.1.4 По скорости изменения регулирующего воздействия регуляторы бывают с постоянной и переменной скоростью перемещения регулирующего органа.

Регуляторы с *постоянной* скоростью сохраняют эту скорость неизменной в любых ситуациях и на всем интервале процесса регулирования. В итоге эту скорость нельзя сделать большой, потому что при большой скорости увеличивается продолжительность движения регулирующего органа после его выключения за счет инерции. Это явление называют выбегом, который создает перерегулирование, т.е. переход параметра через заданное значение, вызывающий колебательный режим работы и появление динамической ошибки регулирования.

С другой стороны, небольшая скорость перемещения регулирующего органа не обеспечивает высокое быстродействие регулятора, соответственно увеличивается время регулирования.

Регуляторы с *переменной* скоростью при включении в процесс регулирования перемещают регулирующий орган с большой скоростью, а по мере приближения параметра регулирования к заданному значению уменьшают скорость перемещения. Это обеспечивает почти мгновенную остановку регулирующего органа в момент выключения движения при равенстве параметра регулирования с заданным значением, что исключает недостатки регулятора с постоянной скоростью.

10.1.5 По характеристике действия, т.е. характеру связи между входной и выходной величинами, регуляторы делятся на прерывного (дискретного) и непрерывного действия.

В первом случае регулятор включает свое воздействие на объект регулирования мгновенно (скачком) и периодически в виде последовательности импульсов, длительность и частота повторения которых зависит от истинного значения параметра регулирования только в определенные моменты времени процесса регулирования.

Во втором случае регулятор непрерывно, т.е. плавно воздействует на регулирующий орган в течение всего времени регулирования, пока параметр регулирования достигнет заданного значения с определённой точностью.

Наиболее наглядно это можно показать с помощью «характеристики действия регулятора», под которой понимают две, связанные между собой зависимости. Одна зависимость показывает изменение регулирующего воздействия во времени, а вторая показывает соответствующее изменение параметра регулирования в том же времени. В итоге выявляется зависимость между изменением параметра регулирования и регулирующим воздействием.

Характеристика действия двухпозиционного регулирования с неполным отключением регулирующего воздействия показана на рисунке 15.

Регуляторы **прерывного действия**. Примером дискретного регулятора является устройство в системе на рисунке 14. Характеристика действия системы показана на рисунке 15. Рассмотрим процесс формирования характеристики действия.

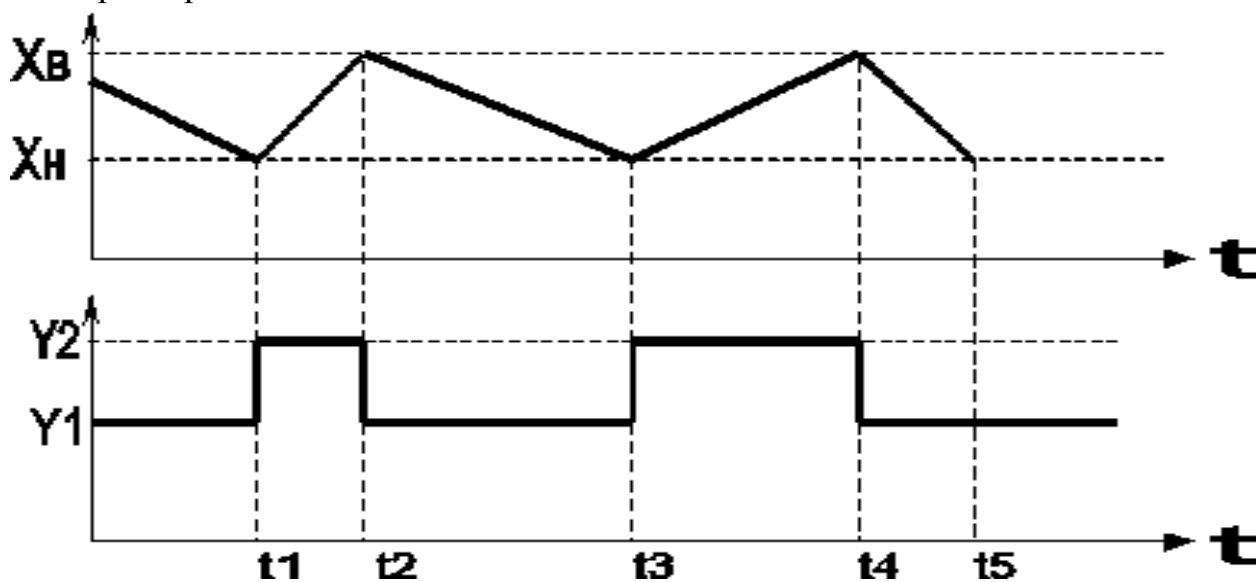


Рисунок 15 – Характеристика действия дискретного регулятора

Поплавок соединен с переключателем контактов K_1, K_2 . При снижении уровня топлива поплавков (в момент t_1 на рисунке 15) замыкает контакт K_1 , который через релейную схему управления включает электромагнит клапана и открывает его скачком (дискретно). Уровень топлива повышается до верхнего $X_{в}$ значения. В момент t_2 поплавок замыкает контакт K_2 и через промежуточное реле выключает электромагнит клапана скачком (дискретно).

Клапан перемещает золотник из полностью открытого состояния на 50% открытие. Уровень понижается до нижнего X_n значения и с момента t_3 процесс повторяется.

Кривая изменения регулирующего воздействия ($У$) наглядно показывает периодичность включения воздействия в моменты t_1, t_3 и изменение длительности импульсов воздействия. Очевидно, в момент t_3 нагрузка на объект регулирования возросла и потому подъем параметра регулирования до верхнего предела X_v замедлился по сравнению с интервалом t_1-t_2 , а скорость снижения до нижнего X_n предела увеличилась в интервале t_4-t_5 . Нагрузкой (возмущением) на объект регулирования здесь является потребление топлива ДВС.

Функциональная зависимость регулирующего воздействия ($У$) имеет разрыв в моменты t_1, t_2, t_3, t_4 , т.е. прерывается закономерность и такое управление называют прерывным.

В процессе регулирования моменты включения (t_1, t_3) и выключения (t_2, t_4) определяются значением параметра регулирования. Эти значения фиксированы верхним X_v и нижним X_n пределами. В остальные моменты времени регулирующее воздействие не зависит от величины параметра регулирования и сохраняется на определенном значении (позиции). Таких значений здесь два - при полном открытии клапана $У_2$ и при пятидесятипроцентном открытии $У_1$. В результате регулирование и регулятор называют двухпозиционными.

В регуляторах такого типа происходит квантование, т.е. преобразование регулирующего воздействия в дискретную величину. В данном случае квантование происходит по уровню входного сигнала X_i . Регулирующее воздействие в данном случае не достигает нулевого значения, поэтому регулирование называют с неполным отключением воздействия.

При позиционном регулировании параметр (уровень топлива) все время изменяется в диапазоне от минимального до максимального значения, что является недостатком такого регулирования. Этот диапазон называют зоной регулирования, в пределах которой параметр имеет разброс от среднего значения, снижающий точность регулирования. Можно повысить точность уменьшением диапазона, но тогда увеличится частота включения регулирующего воздействия, что приведет к снижению срока службы регулятора.

Регуляторы непрерывного действия имеют непрерывную функцию регулирующего воздействия во времени. Следует иметь в виду непрерывность по закономерности изменения, а не по остановке процесса регулирования. Все регуляторы прерывают процесс регулирования, если параметр регулирования достигает заданного значения.

Примером регулятора непрерывного действия является устройство на рисунке 12 и 13. Характеристика действия приведена на рисунке 16.

Процесс формирования характеристики действия следует из принципа действия САР. До момента t_1 наблюдался равновесный режим, в этот момент ДВС увеличил обороты, соответственно увеличилось потребление топлива F_2

и уровень начал снижение. Следом за уровнем опускается вниз поплавков, он открывает клапан, увеличивается приток F_1 и снижение уровня прекращается в момент t_1 , начинается его возврат к заданному значению. В момент t_2 уровень достигает заданного значения. Если в этот момент обороты ДВС уменьшатся, то произойдет переход уровня через заданное значение и аналогичное, но противофазное, изменение процесса регулирования. Так будет происходить до наступления равновесного режима в момент t_5 .

. Характерно, что регулирующее воздействие U в данной системе изменяется плавно (по непрерывному закону) в течение всего интервала регулирования t_1-t_5 . Здесь отсутствуют релейные изменения и каждому моменту времени соответствует только одно значение U . Поэтому такой регулятор называют регулятором непрерывного действия.

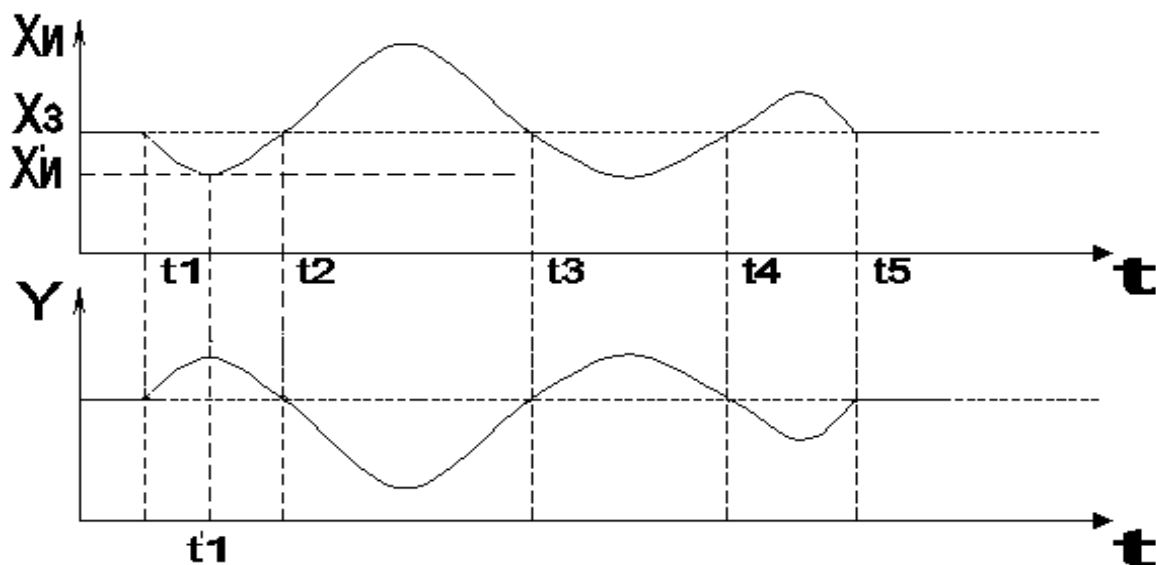


Рисунок 16 – Характеристика действия регулятора непрерывного действия

Плавное изменение регулирующего воздействия в соответствии с величиной отклонения параметра регулирования обеспечивает стабилизацию параметра на определенном заданном значении, что дает бóльшую точность по сравнению с прерывным регулированием, при котором параметр регулирования непрерывно изменяется в пределах зоны регулирования.