

4. ТИПОВЫЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

13. Условия, необходимые для работы систем автоматического регулирования

Построение системы автоматического регулирования каким - либо процессом возможно только при условии его механизации в такой степени, чтобы можно было реализовывать управляющее воздействие без участия человека. При этом важно, чтобы объект по каналу управления обладал стабильными динамическими характеристиками (например, кривой разгона). Эти требования могут быть выполнены соответствующим подбором оборудования, размещением приборов контроля и управления на оборудовании и, возможно, технологии. В противном случае система регулирования может оказаться неработоспособной. Следует всегда помнить, что в системах автоматизации технологическое оборудование, процессы, измерительные преобразователи и исполнительные устройства являются частью контуров регулирования и от их свойств во многом зависит качество регулирования.

Можно выделить три основных фактора, влияющих на работу систем регулирования: выбор регулируемых переменных, место расположения датчиков этих переменных на объекте, выбор и расчет регулирующих органов.

При **выборе регулируемых переменных** нужно стремиться к тому, чтобы объект по каналу управления обладал минимальной инерционностью, в то же время эти переменные должны отражать цель регулирования. Эти требования часто вступают в противоречие друг с другом: часто достоверная переменная дает слишком большую инерционность по каналу управления, в то же время часто есть возможность измерять промежуточную переменную, быстро реагирующую на возмущения, но не столь достоверную. Одним из способов преодоления такого противоречия является применение каскадных систем управления. Другой способ – применение комбинированного принципа управления. Эти способы мы уже рассмотрели в лекции 10.

Место расположения датчиков регулируемых переменных существенным образом влияет на качество регулирования. Изменяя положение датчика, стремятся уменьшить инерционность объекта, повысить достоверность получаемой информации и надежность системы. К сожалению, обычно стремление улучшить одно свойство приводит к ухудшению другого, поэтому на практике приходится искать компромиссный вариант. Например, помещая термоэлектрический преобразователь в реакционную зону печи, мы получаем наиболее достоверную информацию, в то же время срок службы этого преобразователя может оказаться очень малым. С другой стороны, замуровывая такой преобразователь в кладку печи, получаем высокую надежность при снижении достоверности. Обычно предпочитают применять более надежную систему.

Другой пример – система регулирования процессом непрерывного выщелачивания в гидromеталлургии цинка. Очень важно в такой системе найти оптимальное положение датчика рН – метра. Если датчик помещен в застойной зоне, то хорошего качества регулирования нельзя достигнуть, используя даже самый совершенный регулятор.

Важную роль в реализации автоматического регулирования играют **исполнительные органы**. Нужно выбрать такой орган и так его расположить, чтобы обеспечить надежность работы, широкий диапазон регулирования и благоприятную (обычно линейную) регулировочную характеристику. Например, если в системе регулирования разрежения в печи регулируемую заслонку установить на трубопроводе сразу за печью, то такая система, вероятнее всего будет работать ненадежно из-за забивания этой заслонки пылью. Лучше

расположить эту заслонку за устройством пылеулавливания, еще лучше использовать частотный преобразователь на привод дымососа.

Распространенной ошибкой при регулировании потоков жидкости в трубопроводах является применение клапанов со слишком большим проходным сечением. Такие клапаны, хотя и редко «забиваются», но работают в почти закрытом состоянии, характеризующимся сильной нелинейностью регулировочной характеристики и не стационарностью (изменением во времени). Это отрицательно сказывается на качестве регулирования, часто система вообще становится неработоспособной.

14. Типовые системы автоматического регулирования

В промышленности используются самые разнообразные технологические процессы, отличающиеся как физическими (химическими) принципами построения, так и технической реализацией. Но все они с точки зрения управления рассматриваются, как динамические объекты и к ним могут быть применены общие принципы построения алгоритмов управления. Однако при технической реализации систем управления разнообразие процессов определяет также и разнообразие датчиков и исполнительных устройств (ИУ) этих систем. Эти элементы влияют на показатели точности и надежности системы, более того, часто они, особенно ИУ, сильно влияют на характеристики объектов управления и являются их неотъемлемой частью. Создание и выбор датчиков и ИУ для каждого конкретного объекта представляет собой своего рода искусство и в этом деле накоплен значительный опыт. Опыт создания систем управления позволяет выделить приемы и методы создания таких систем для однотипных объектов, прошедшие проверку практической работой и показавшие хорошие эксплуатационные характеристики при приемлемых затратах (рациональное соотношение цена-качество). *Типовыми назовем системы автоматического регулирования схожими по принципу работы и конструкции промышленности объектами, удовлетворяющие предъявляемым к этим системам требованиям.* Типовые системы, как же как виды объектов управления, отличаются большим разнообразием и сложностью: от простейших одноконтурных до сложных многоконтурных систем.

Мы рассмотрим некоторые, наиболее характерные типовые системы, являющиеся основой для автоматизации непрерывных и периодических процессов. К таким процессам относятся процессы обогащения, металлургии, химии, теплотехники и производства электроэнергии, строительной индустрии и другие подобные процессы.

Прежде всего рассмотрим простейшие типовые локальные системы регулирования. Напомним, что локальной называется система автоматического регулирования легко измеряемой и хорошо управляемой переменной.

Системы регулирования расхода жидких, газообразных и сыпучих материалов и электроэнергии.

Для организации нормального ведения многих непрерывных и периодических процессов нужно знать, сколько и каких материалов мы загружаем или подаем в процесс и сколько вещества мы получаем на выходе из процесса. Характеристикой загрузки является расход вещества, подаваемого в процесс или полученного из него. Расход – это количество вещества, поданного данным оборудованием за единицу времени. Речь идет о подаче сыпучего вещества, жидкости, газа или их смеси. В зависимости от единиц измерения количества подаваемого вещества различают объемный и массовый расход. В системе СИ единица измерения объемного расхода – м³/с, массового – кг/с. На практике удобнее использовать другие единицы: для объемного расхода м³/час, массового – т/час.

Любой контур регулирования включает в себя датчик, регулятор с задатчиком и встроенным алгоритмом управления, ИУ и объект управления. Нас прежде всего будет

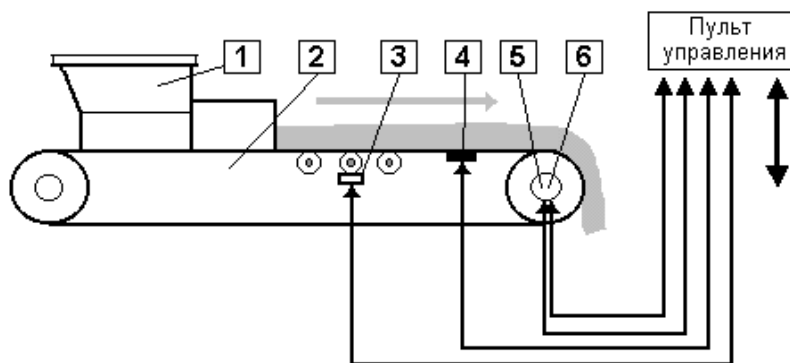
интересовать датчики и ИУ. Что касается алгоритмов управления, то в подавляющем большинстве используются типовой ПИ (реже ПИД) алгоритмы. Использование других (или дополнительных) алгоритмов мы будем оговаривать отдельно. В настоящее время для измерения данной технологической переменной, как правило, используется несколько разновидностей датчиков и ИУ, использующих разные принципы работы. Далее будут перечислены основные разновидности без рассмотрения их особенностей, преимуществ и недостатков. Дополнительные данные можно получить из соответствующей литературы.

14.1 Регулирование расхода жидкости через трубопровод посредством регулирующего клапана. В качестве датчика используется объемный или массовый расходомер, врезанный в трубопровод перед регулирующим клапаном, в качестве ИУ – регулирующий клапан, также врезанный в трубопровод. Используются чаще всего расходомеры переменного перепада, электромагнитные, карманные и вихревые расходомеры. Применяются электрические или пневматические исполнительные механизмы (ИМ), сочлененные с сужающим устройством на трубопроводе дроссельного типа: плунжерные, шланговые, диафрагмовые, заслоночные сужающие устройства, а также краны и задвижки.

14.2 Регулирование расхода жидкости через трубопровод посредством насоса с ПЧ. Используются те же датчики, что в п. 14.1, но датчик обычно врезан в трубопровод после насоса, в качестве ИУ используется насос с частотным преобразователем (ПЧ). ПЧ рассматривается здесь, как ИМ непрерывного действия.

14.3 Регулирование расхода газа через трубопровод посредством регулирующего клапана. В качестве датчика используется объемный или массовый расходомер, врезанный в трубопровод перед регулирующим клапаном, в качестве ИУ – регулирующий клапан, также врезанный в трубопровод. Используются чаще всего расходомеры переменного перепада, вихревые, термокомпенсационные или трубки Пито.

14.4 Регулирование расхода сыпучего вещества посредством ленточного конвейера. Самое совершенное устройство для этого – ленточный питатель-дозатор (ЛПД). Типовой ЛПД (Рисунок 14.1) состоит из короткого ленточного конвейера 2, приспособленного для подачи материала из расходного бункера 1, и пульта управления. Конвейер оснащен весоизмерителем 3, мотор-редуктором с асинхронным двигателем и частотным преобразователем 5 и датчиком скорости ленты 6. При движении ленты из расходного бункера "вытягивается" слой сыпучего материала постоянного сечения и подается по назначению. Расход материала при фиксированной площади окна зависит от скорости движения ленты и может регулироваться с помощью ПЧ в широких пределах. Текущий расход, равный произведению сигналов веса и скорости автоматически поддерживается равным заданию регулятора в пульте управления.



1. Приемный бункер
2. Ленточный конвейер
(собственно дозатор)

4. Датчик оборотов ленты
5. Мотор-редуктор с асинхронным двигателем

3. Весоизмеритель

6. Датчик скорости

Рисунок 14.1 – Схема типового ленточного питателя-дозатора

14.5 Бункерное дозирующее устройство (БДУ). БДУ состоит из расходного бункера с материалом и питателем, подвешенных на силоизмерительных датчиках (рисунок 14.2) и блока управления. Используется питатель с регулируемой производительностью. При работе питателя вес материала в бункере уменьшается, текущий расход определяется дифференцированием текущего веса бункера с питателем по специальному алгоритму. Текущий расход, так же как в ЛПД автоматически поддерживается на уровне задания. Для нормальной работы БДУ необходимо иметь информацию о расходе материала, подаваемого в расходный бункер.

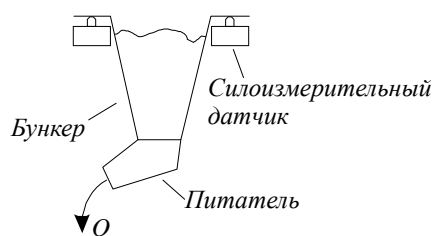


Рисунок 14.2 – Схема бункерного дозирующего устройства

14.6 Регулирование напряжения, тока или мощности подаваемой электроэнергии. Используются недорогие и надежные датчики напряжения, тока или мощности, в качестве ИУ – силовые блоки управления потоком электроэнергии дискретного или непрерывного действия (см. п.6 в лекции 4).

Системы регулирования разрежения в газовом пространстве технологических агрегатов.

Такие системы широко используются при автоматизации металлургических, тепловых и других агрегатов и установок, имеющих газовое пространство с газо- и пылевыведением (печи кипящего слоя, шахтные печи, вельцевальные печи, котлы для сжигания топлива, сушильные установки и т. д.). Запыленный газ из этих агрегатов необходимо организованно удалять и очищать, не допуская неорганизованных выбросов в окружающее пространство. Для этого нужно во всех элементах газового пространства системы газоудаления автоматически поддерживать небольшое разрежение.

14.7 Регулирование разрежения газа в технологической емкости посредством регулирующей заслонки или направляющего аппарата на вентиляторе. Направляющий аппарат – это ряд поворотных заслонок, расположенных радиально по сечению трубопровода на входе в вентилятор (дымосос). Все заслонки имеют общий механический привод, сочлененный с ИМ. В качестве датчика используется датчик давления (разрежения), в газовом пространстве технологической емкости. в качестве ИУ – регулирующая заслонка или направляющий аппарат на вентиляторе. При большом суммарном объеме газового пространства системы газоудаления данный канал регулирования характеризуется значительной инерционностью.

14.8 Регулирование разрежения газа в технологической емкости применением ПЧ привода вентилятора. Это более совершенная по надежности и технико-экономическим показателям система, чем система 14.6. В качестве ИМ здесь используется ПЧ на вентиляторе. В остальном система подобна системе п. 14.7.

Системы регулирования уровня жидкости или сыпучего материала в технологических емкостях.

Уровень жидкостей или сыпучих материалов (далее будем использовать термин «материал») в технологических емкостях является одной из основных характеристик нормального хода процессов. В технологии такие емкости применяются в основном для двух целей: во-первых в них протекают сами технологические процессы, во-вторых в качестве

буферных емкостей для демпфирования (сглаживания) колебаний входных потоков. В первом случае предъявляются высокие требования к точности поддержанию уровня, во втором требования к точности невелики и можно использовать более дешевые технические средства контроля и управления.

Способы регулирования уровня в емкостях следуют из уравнения материального баланса для этих емкостей

$$S \frac{dL}{dt} = F_{\text{вх}} - F_{\text{вых}} - F_{\text{рас}}, \quad (14.1)$$

где L – уровень в емкости; S – площадь поперечного сечения емкости; $F_{\text{вх}}$ – входной поток материала; $F_{\text{вых}}$ – выходной поток материала; $F_{\text{рас}}$ – поток материала, расходуемой в емкости по технологии (если материал образуется в емкости, то этот поток будет прибавляться);

Из (14.1) следует, что регулировать уровень можно, изменяя $F_{\text{вх}}$ или $F_{\text{вых}}$, так на практике и делается. Из (14.1) также сразу же следует свойство регулирования уровня в емкости: если $F_{\text{вх}}$, $F_{\text{вых}}$, $F_{\text{рас}}$ не зависят от уровня, то данный ОУ является интегратором с коэффициентом передачи S , то есть в нем отсутствует самовыравнивание. Это свойство нужно учитывать при разработке алгоритма управления уровнем.

14.9 Непрерывное регулирование уровня материала в технологической емкости. Среди множества известных датчиков уровня в чаще всего используются ультразвуковые, радарные, зондовые или только для жидкостей гидростатические датчики уровня, в качестве ИУ для жидкостей – те же средства, что в п. 14.1 или 14.2. Для сыпучих материалов в качестве ИУ выступают питатели этих материалов с регулируемой производительностью: ленточные, шнековые (винтовые), лотковые, скребковые, вибрационные, тарельчатые и другие.

14.10 Позиционное регулирование уровня материала в технологической емкости. Особенность регулирования в том, что уровень достаточно поддерживать в заданных пределах от верхнего L_g до нижнего L_n . Здесь помимо датчиков уровня в п. 14.9 широко используются электродные (кондуктометрические) и вибрационные, в качестве ИУ для жидкостей – насос или отсекающий клапан. Насос включается или клапан открывается на подающем трубопроводе при $L \leq L_n$ и выключается (клапан закрывается) при $L \geq L_g$. Для сыпучих материалов включается и отключается питатель по п. 14.9 с нерегулируемой производительностью. Существенным преимуществом данной системы регулирования является ее более низкая стоимость, в основном за счет более дешевых ИУ.

Регулирование температуры в технологических агрегатах.

Весьма важным параметром, влияющим на ход любого технологического процесса, является температура области, где этот процесс протекает. Особенно это важно для пирометаллургических агрегатов и процессов. Можно выделить две особенности регулирования температуры. Первая особенность связана с измерением температуры. Дело в том, что любой технологический агрегат имеет достаточно большие геометрические размеры, то есть он распределен в пространстве. Температура в разных точках этого агрегата будет разная, то есть в идеале нам нужна информация о температурном поле агрегата. Но мы не можем поставить датчики во всех точках, более того, часть точек недоступна для измерения температуры (например, в металлургических печах). Компромиссным выходом из затруднения является составление тепловой математической модели (ММ) данного процесса, которая включает в себя доступные (характерные) точки контроля и измеряемые внешние тепловые потоки. Решая уравнения этой ММ в текущем масштабе времени, мы получаем информацию о текущем температурном режиме процесса. Конечно, ММ может быть разной сложности в

зависимости от постановки задачи. В простейшем случае мы оцениваем температуру шлака в металлургической печи по доступной для контроля температуре под сводом этой печи.

Вторая особенность также связана пространственной распределенностью агрегатов и значительной теплоемкостью материалов. Эта особенность приводит к большой инерционности (десятки минут и часы), запаздываниям ОУ по каналам регулирования температуры и ограниченностью управляющих воздействий. В результате система регулирования будет характеризоваться длительными переходными процессами, отклонение температуры от задания не могут быть быстро ликвидированы по обратной связи и могут приводить к длительному расстройству процесса. Выходом здесь является применение каскадных систем или комбинированного принципа управления (см. п. 13). В последнем случае для расчета компенсационного регулятора может быть использована тепловая ММ процесса.

14.11 Регулирование температуры в технологической емкости или агрегате при электрическом нагреве. Среди множества известных датчиков чаще всего используются для измерения температур до 500⁰С термопреобразователи сопротивления, до 1100⁰С термопары типа ТХА, от 300⁰С до 1600⁰С термопары типа ТПР и ТВР, до 2050⁰С кратковременно – термопары вольфрам-рениевые (ТВР). Реже используются пирометры излучения, термопреобразователи расширения и другие. В качестве ИУ применяются силовые регулирующие блоки управления потоком электроэнергии дискретного или непрерывного действия (см. п. 6 в лекции 4).

14.12 Регулирование температуры в технологической емкости или агрегате при нагреве сжиганием топлива или подачей теплоносителя. Температура измеряется теми же средствами, что в п. 14.11. В качестве ИУ при обогреве жидким или газообразным топливом или подачей теплоносителя используются регулирующие клапаны (см. п. 14.1), также врезанные в трубопровод подачи топлива или теплоносителя. При обогреве твердым топливом в виде сыпучего материала в качестве ИУ выступают питатели этих материалов с регулируемой производительностью: ленточные, шнековые (винтовые), лотковые, скребковые, вибрационные, тарельчатые и другие.

14.13 Каскадные системы регулирования температуры в технологической емкости или агрегате. Для успешного (с удовлетворительным качеством) регулирования температуры из-за инерционности объекта требуется стабильная во времени подача топлива, воздуха, электроэнергии или теплоносителя. Однако зачастую ИУ по п. 14.11, 14.12 не обеспечивают такой стабильности. Тогда используют вспомогательные системы автоматической стабилизации расхода исходных компонентов, то есть используют каскадные системы регулирования (см. п. 13 в лекции 12). Такая система включает в себя «быстрый» внутренний контур регулирования расхода топлива, воздуха, электроэнергии или теплоносителя и более инерционный внешний контур регулирования температуры (см. рисунок 13.1). Заданием для внутреннего контура является управляющее воздействие внешнего контура. Таким образом быстро компенсируются возмущения на расход исходных компонентов, не успевая повлиять на температуру. Конечно, каскадная система п. 14.13 дороже систем по п. 14.11, 14.12, но дополнительные расходы на датчик расхода, как правило быстро окупаются хорошим качеством регулирования.

Системы регулирования соотношения расхода входных потоков в технологические емкости или агрегаты.

Часто по технологии требуется обеспечить заданное соотношение подаваемых в технологические емкости или агрегаты потоков входных веществ. Например, при сжигании топлива всегда нужно соблюдать соотношение подачи топлива и воздуха, что обеспечит полноту сгорания независимо от расхода топлива. При приготовлении пульпы должно быть обеспечено соотношение расходов твердого и жидкости. При приготовлении бетона нужно строго соблюдать соотношение подачи на смеситель щебенки, воды и цемента. Можно

привести много таких примеров из промышленности. Из этих рассуждений следует, что при регулировании соотношения всегда имеется задаваемый по технологии расход одного из веществ $F_{вед}$, назовем его «ведущий расход». Требуемые расходы других (ведомых) веществ вычисляются по формуле

$$F_i = F_{вед} \cdot \gamma_i, \quad (14.2)$$

где γ_i – коэффициент соотношения (отношения) расхода i – го вещества по отношению к ведущему расходу.

14.13 Система регулирования соотношения входных потоков в технологической емкости или агрегаты. Система состоит из i независимых подсистем регулирования (см. п. 14.1...14.4) ведомых веществ. Задания для этих систем вычисляются по формуле (14.2), где $F_{вед}$ – фактический расход ведущего вещества. Для ведущего вещества также может быть построена своя система регулирования.

Системы регулирования величины рН.

14.14 Величина рН важным параметром, характеризующим состав жидких смесей в химическом реакторе. Широко используется в гидрометаллургии, обогащении, химии и других областей промышленности. Величину рН регулируют изменением подачи в реактор одного из веществ. Система имеет ряд особенностей, которые следует учитывать при ее построении. Во-первых датчики рН-метров не столь надежны, они требуют осторожного обращения, нуждаются в частом внимании и обслуживании. Во-вторых, статическая зависимость объекта по каналу: подача вещества – величина рН характеризуется нелинейностью. Эта нелинейность зависит от вида процесса. Если реализуется процесс нейтрализации, то характеристика имеет резкий подъем в области нейтральных растворов и пологие участки до и после этой области. Для успешного регулирования величины рН нужно использовать нелинейные законы регулирования. Один из вариантов такой системы – применение ПИД-алгоритма с изменяющимися настроечными параметрами.