

## Тема: ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

1. Понятие объекта регулирования
2. Емкость объектов регулирования
3. Самовыравнивание объектов регулирования
4. Запоздывание объектов регулирования
5. Математическое моделирование объектов регулирования

### 1. ПОНЯТИЕ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Объекты управления или регулирования** представляют собой определенные устройства (резервуары для молока, нагревательные котлы, инкубаторы) или операции технологического процесса (фильтрация молока, сортировка яиц, поддержание микроклимата), параметры которых необходимо контролировать или регулировать для обеспечения требуемой производительности и качества продукции.

В пищевой промышленности объектами регулирования являются котельные установки автоклавы для стерилизации продукта, вакуум-сушильные установки, хлебопекарные печи, бродильные резервуары, жарочные установки и т. д.

Объект регулирования является главным звеном системы регулирования, его свойства (статические и динамические характеристики) влияют на характер регулирования.

Простейшие объекты регулирования имеют одну регулируемую величину. Часто объекты регулирования могут иметь различное число входных и выходных величин. Так, объект регулирования «топка хлебопекарной печи» имеет три входные величины: количество топлива, подаваемого в нее за единицу времени, количество газов рециркуляции, поступающих в топку за единицу времени, температура газов рециркуляции, и одну выходную величину — температуру дымовых газов.

Большинство промышленных автоматических систем регулирования являются системами стабилизации, т. е. основаны на принципе отклонения, поэтому на их работу не влияет число входных воздействий, так как все они компенсируются одним регулирующим воздействием. В тех объектах, в которых регулированию подлежат не одна, а несколько выходных величин, возможно построение автоматических систем регулирования отдельно для каждого из регулируемых параметров. Высокое качество регулирования будет обеспечиваться в случае, если между регулируемыми параметрами объекта отсутствуют внутренние связи. Примером такого объекта может служить аппарат, в котором регулируются уровень жидкости и давление.

Если в объекте имеются связи между отдельными регулируемыми параметрами, например концентрацией раствора и его температурой, количеством вещества и его плотностью и др., а регуляторы будут управлять отдельно каждым из взаимосвязанных параметров, то такая система приведет к ухудшению качества регулирования. В этих случаях необходимо применять системы связанного регулирования, которые позволяют поддерживать на заданном уровне связанные между собой параметры путем воздействия на один из регулируемых параметров.

Объекты регулирования подразделяются на объекты с сосредоточенными и распределенными параметрами.

**Объектами с сосредоточенными параметрами** называются такие, в которых регулируемая величина в состоянии равновесия объекта имеет везде одинаковые значения. Примерами таких объектов в пищевой промышленности могут служить автоклавы и колонны для гидрогенизации, где регулируемым параметром служит температура, шнековая камера, где регулируемой величиной является давление теста в камере.

Динамические свойства объектов регулирования с сосредоточенными параметрами описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.

**Объектами с распределенными параметрами** называются такие, в которых регулируемая величина в равновесном и переходном режимах имеет неодинаковые значения в различных точках объекта.

Примерами таких объектов могут служить трубопроводы, по которым перекачивают жидкость или подают различные сыпучие материалы при помощи воздуха (пневматическая транспортировка муки на хлебозаводах). Динамические свойства таких объектов описываются дифференциальными уравнениями в частных производных.

Объект регулирования обычно характеризуется притоком  $Q_{II}$  (подачей) и стоком  $Q_P$  (расходом) вещества или энергии. Если приток равен стоку  $Q_{II} = Q_P$ , объект находится в равновесии. Если имеется разность между притоком и стоком  $\Delta Q = Q_{II} - Q_P$ , то имеет место *переходный процесс*, при котором выходная величина  $Y$  изменяется во времени. Характер этого изменения определяется решением дифференциального уравнения.

Объекты, имеющие одну входную  $X$  и одну выходную  $Y$  величины, могут быть описаны обобщенным уравнением:

$$A \frac{dY}{dX} = \Delta Q \quad (1)$$

где  $A$  — постоянный коэффициент, который характеризует динамические свойства объекта и определяет характер изменения выходного параметра  $Y$  во времени.

$\Delta Q$  — результирующее материальное или энергетическое воздействие, вызывающее отклонение выходной величины.

Коэффициент  $A$  имеет конкретное значение для того или иного процесса. При  $A$ , отличном от нуля, производная также должна быть равна нулю, что соответствует неизменному (постоянному) значению выходного параметра  $Y$ .

Объект регулирования является основной составной частью автоматической системы, определяющей ее характер. Некоторые свойства объектов благоприятствуют качественному процессу регулирования, другие вредят, поэтому определение характеристик и свойств объектов регулирования является одной из важнейших задач.

**Статической характеристикой** объекта называется зависимость его выходной величины от входной в установившемся режиме. В общем виде статическая характеристика линейного звена описывается уравнением:

$$Y = k \cdot X \quad (2)$$

$k$  — коэффициент усиления (передачи) звена, показывающий, во сколько раз изменение выходной величины больше или меньше изменения входной.

Статические характеристики часто представляют графически. На рис. 1 приведен график статической характеристики линейного звена. По оси абсцисс откладывается значение входной величины, а по оси ординат — выходной.

Линейная статическая характеристика имеет вид прямой линии и оценивается углом ее наклона  $\alpha$  к оси абсцисс (рис. 1).

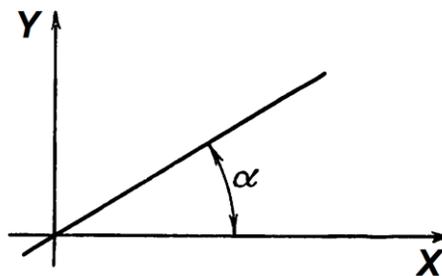


Рис. 1. График статической характеристики линейного звена

Отношение выходной величины к входной для любой точки линейной характеристики — величина постоянная и выражается через тангенс угла наклона:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y}{X} = k \quad (3)$$

Большинство реальных элементов, из которых состоит автоматическая система регулирования, нелинейны. Расчет таких систем очень сложен, поэтому для облегчения расчетов прибегают к линеаризации статических характеристик нелинейных звеньев на небольших

участках, называемых рабочими. При линеаризации нелинейные уравнения, описывающие статическую характеристику объекта, заменяют линейными.

Статические характеристики определяют экспериментальным путем, а также аналитически. Статические характеристики объекта характеризуют его только в равновесном состоянии. Для характеристики объекта в любом другом состоянии необходимо знать его динамические свойства.

**Динамической характеристикой объекта** называется зависимость выходной величины во времени в переходном режиме при определенном законе изменения входной величины.

Динамические характеристики включают в себя временные и частотные характеристики.

**Временная характеристика, или кривая разгона** — это динамическая характеристика, полученная при однократном мгновенном скачкообразном возмущении. По кривой разгона определяют следующие динамические параметры: запаздывание, постоянную времени и коэффициент передачи.

**Частотная характеристика** показывает зависимость изменения выходной величины от входной, если последняя изменяется по синусоидальному закону.

Динамические характеристики объекта можно определить экспериментально и аналитически, так же как и статические характеристики. При экспериментальном получении кривой разгона регулятор отключается от объекта регулирования и на вход системы вручную подается единичное ступенчатое воздействие.

Динамические характеристики объектов регулирования можно получить в форме дифференциальных уравнений, однако такие уравнения удается составить лишь для сравнительно простых объектов.

Для большинства объектов регулирования статические и динамические характеристики удается получить экспериментальным путем. Поэтому с помощью контрольно-измерительных приборов снимают временные или частотные характеристики автоматизируемого объекта, отражающие характер изменения параметра регулирования при разных значениях нагрузки объекта, разном нарушении равновесия между подачей и стоком вещества (энергии), поступающего на объект.

Несмотря на большое разнообразие объектов регулирования, их различные конструкции и принципы действия, все они имеют ряд общих свойств: емкость, самовыравнивание и запаздывание.

## 2. ЕМКОСТЬ ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Емкость объектов регулирования — это способность накапливать энергию, уровень жидкости, давление газа, количество теплоты, влажность среды, концентрацию растворов и другие параметры, по которым осуществляется автоматическое регулирование объектов.

Наличие емкости возможно, когда в регулируемом объекте имеется сопротивление выводу вещества или энергии. Например, если бы не было гидравлического сопротивления сливных труб объектов, в которых регулируется уровень, жидкость не могла бы накапливаться и сосуд не обладал бы емкостью. Если тепловой объект (дистилляционный куб), где регулируется температура, не имел бы тепловой изоляции, то тепловая емкость не создавалась бы вследствие рассеивания всего тепла.

Чем меньше емкость объекта, тем быстрее изменяется регулируемый параметр при нарушении баланса между притоком и расходом рабочей среды. Большая емкость объекта уменьшает скорость изменения регулируемого параметра и этим упрощает задачу автоматического регулирования.

Емкость может быть распределенной по объему или сосредоточенной в одном или нескольких участках. Отдельные емкости того или другого объекта всегда связаны между собой через какое-либо сопротивление (тепловое, гидравлическое, электрическое).

В зависимости от числа емкостей различают одно-, двух- и многоемкостные объекты регулирования. Одноемкостный объект состоит из одного сопротивления и одной емкости. Двух- и многоемкостные объекты состоят из двух или более емкостей, участвующих в процессе регулирования и разделенных переходными сопротивлениями. Большинство промышленных объектов регулирования являются многоемкостными.

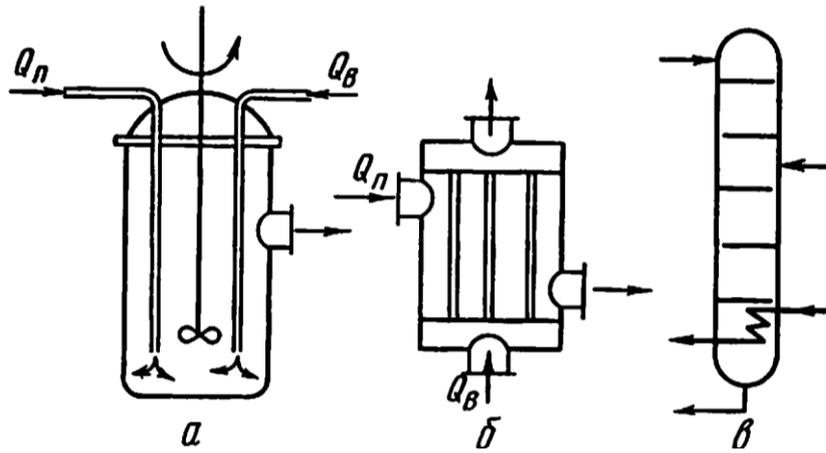


Рис. 2. Схемы объектов, обладающих емкостью:  
а) одноемкостный; б) двухъемкостный; в) многоемкостный

Одноемкостный объект (рис. 2, а) — это теплообменник смешения, в котором температура потока воды  $Q_B$  регулируется изменением подачи водяного пара  $Q_{II}$ . Здесь емкостью является общая теплоемкость жидкости, а сопротивлением — гидравлическое сопротивление трубы на выходе.

Двухъемкостный объект (рис. 2, б) — трубчатый теплообменник, где по трубам протекает вода, а в межтрубном пространстве — пар. Здесь тепловыми емкостями являются пар в межтрубном пространстве и жидкость в трубах. Сопротивлением является термическое сопротивление металла труб и трубных решеток. Примером двухъемкостного объекта могут служить два проточных сосуда, соединенных трубой.

Многоемкостный объект (рис. 2, в) — ректификационная колонна; число емкостей определяется числом тарелок. В многоемкостных объектах различают емкости на входе и выходе (или на стороне подачи и потребления).

Каждая дополнительная емкость вызывает удлинение переходных процессов при регулировании. Некоторые объекты обладают столь малой емкостью, что практически их следует считать безъемкостными.

Для выяснения физического значения емкости рассмотрим некоторые примеры объектов, имеющих одну регулируемую величину. Дифференциальные уравнения, характеризующие подобные объекты, будут однотипны (в них  $t$  всегда обозначает время). Рассмотрим некоторые примеры.

1) Наполнение (опорожнение) сосуда жидкостью:

$$S \frac{dH}{dt} = Q \quad (4)$$

где  $S$  — площадь поверхности жидкости в сосуде (для линейного объекта она постоянна по высоте сосуда);

$H$  — уровень жидкости в сосуде;

$Q$  — подача или расход жидкости.

2) Выделение (добавление) растворенных или взвешенных веществ:

$$V \frac{dK}{dt} = G \quad (5)$$

где  $V$  — объем растворителя (жидкости), в которую вводятся (удаляются) растворенные или взвешенные вещества;

$K$  — концентрация растворенного (взвешенного) вещества в весовых единицах, отнесенная к единице объема;

$G$  — поступление или удаление сухого вещества (по весу) в единицу времени.

Рассмотренные примеры показывают, что обобщенным дифференциальным уравнением таких объектов является следующее:

$$L = \frac{dY}{dt} = B \quad (6)$$

где  $Y$  — первая обобщенная координата, характеризующая внутренний режим объекта — качественный его показатель;

$B$  — вторая обобщенная координата, характеризующая внешний режим объекта — количественный его показатель;

$L$  — коэффициент емкости, который служит показателем инерционности объекта и.

Коэффициент емкости — это количество вещества или энергии, которое необходимо подвести к объекту или отвести от объекта, чтобы изменить величину регулируемого параметра на единицу измерения. Т. о. величина  $L$  определяет скорость изменения регулируемого параметра при нарушении равновесия в объекте между подачей и потреблением вещества (энергии)

Коэффициент  $L$  оказывает существенное влияние на характер протекания процесса регулирования. Коэффициент емкости может быть постоянным (для линейных объектов) и переменным (для нелинейных объектов). Чем он больше, тем объект менее чувствителен к воздействию. Большое значение коэффициента емкости регулируемого объекта благоприятствует процессу регулирования.

Так, для объекта, где регулируется температура, коэффициентом емкости будет то количество тепла, которое необходимо ввести в объект, чтобы температура регулируемой среды повысилась на  $1^\circ\text{C}$ .

Чем больше коэффициент емкости объекта, тем меньше изменяется регулируемый параметр при одном и том же изменении количества подаваемого продукта. Следовательно, легче поддаются регулированию объекты, имеющие большой коэффициент емкости.

В данном случае коэффициент емкости определяется по формуле:

$$L = \frac{\Delta Q}{dY/dt} \quad (7)$$

где  $\Delta Q$  — разность между притоком и расходом вещества или энергии;

$Y$  — регулируемый параметр;

$t$  — время.

### 3. САМОВЫРАВНИЕ ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Самовыравнивание** — это способность объекта регулирования после нарушения равновесного состояния без вмешательства автоматического управляющего устройства приходить в новое установившееся состояние.

Равновесное состояние при постоянной нагрузке может быть нарушено изменением притока или расхода вещества или энергии, т. е. нанесением возмущающих воздействий.

Самовыравнивание — свойство объектов регулирования, в силу которого при изменении нагрузки объекта (притока или стока) значение регулируемого параметра стремится без участия регулятора к новому установившемуся значению, соответствующему новой измененной нагрузке объекта. Большая степень самовыравнивания способствует более быстрой стабилизации регулируемой величины и этим облегчает процесс регулирования. Некоторые объекты практически не обладают способностью самовыравнивания. Другие из-за большой степени самовыравнивания могут не требовать автоматического регулирования.

Способность объектов к самовыравниванию определяется *степенью самовыравнивания*  $\delta$ , которую можно определить как отношение увеличения или уменьшения подачи  $\Delta Q_{II}$  в процентах от ее величины при нормальном значении регулируемого параметра к увеличению или уменьшению величины регулируемого параметра  $\Delta Y_p$  в процентах от его заданного значения:

$$\delta = \frac{\Delta Q_{II}}{\Delta Y_p} \quad (8)$$

Чем больше величина степени самовыравнивания, тем легче осуществляется автоматическое регулирование объекта.

В зависимости от способности объекта к самовыравниванию различают *статические и астатические объекты регулирования*.

**Статическими или устойчивыми** называются объекты, обладающие свойством самовыравнивания.

В статических объектах каждому значению нагрузки в состоянии равновесия соответствует определенное значение регулируемого параметра. Таким образом, статические объекты обладают саморегулированием, которое выражается в том, что, будучи выведенными из состояния равновесия под действием мгновенного изменения нагрузки, они после непродолжительного переходного периода вновь приходят в состояние равновесия. Важной особенностью таких объектов является то, что регулируемый параметр в состоянии равновесия может иметь различные значения.

**Астатические объекты** регулирования не обладают самовыравниванием, они характеризуются тем, что одному и тому же значению притока могут соответствовать различные значения регулируемого параметра. В этих объектах регулируемый параметр изменяется при нарушении равновесия с постоянной скоростью, пропорциональной величине возмущения.

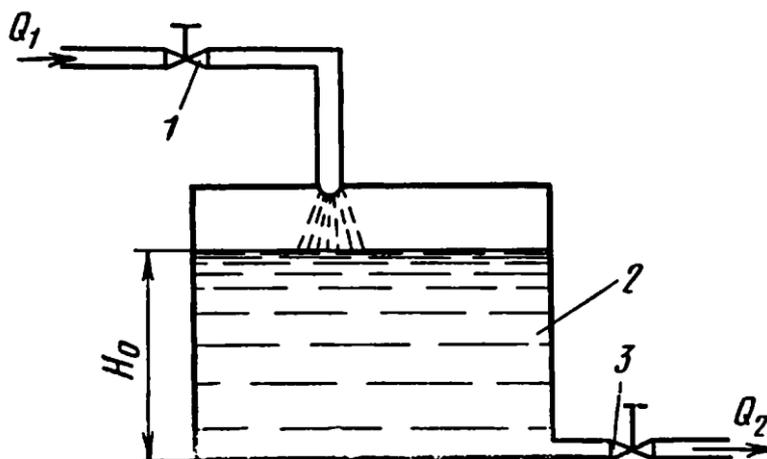


Рис. 3. Объект регулирования уровня с самовыравниванием

Рассмотрим объект с самовыравниванием (рис. 3). В бак 2 через вентиль 1 поступает вода в количестве  $Q_1$ , из бака вода вытекает через вентиль 3. Если вентили открыты в определенном положении, то приток остается постоянным, а расход будет переменным, зависящим от уровня воды в баке. Это объясняется тем, что при повышении уровня воды в баке нижний слой воды будет находиться под увеличивающимся напором, поэтому будет увеличиваться и расход  $Q_2$ . Предположим, что имеется баланс (равенство) расхода и притока, тогда уровень  $H_0$  остается неизменным. Если увеличить степень открытия вентиля 1, то приток  $Q_1$  увеличится, баланс нарушится, и уровень воды начнет повышаться. Однако с увеличением гидростатического напора (уровня)  $H$  будет увеличиваться и расход  $Q_2$ . Поскольку приток  $Q_1$  теперь будет неизменным, а расход  $Q_2$  будет возрастать, разность  $Q_1 - Q_2$  начнет постепенно уменьшаться, а уровень воды в баке будет стремиться к новому установившемуся значению.

Таким образом, при увеличении притока  $Q_1$  расход  $Q_2$  (зависит от напора) будет принимать такое значение, которое будет соответствовать новому установившемуся состоянию, т. е. рассмотренный объект обладает самовыравниванием.

Если вместо вентиля 3 в рассмотренном примере установить насос, который будет работать с постоянной скоростью, т. е. с постоянным расходом ( $Q_2 = \text{const}$ ), то в этом случае объект не будет обладать самовыравниванием.

Действительно, если приток увеличить, то увеличится регулируемая величина (напор  $H$ ), а расход  $Q_2$  останется неизменным и объект сам не увеличит расход. Чтобы между новым притоком и новым расходом было соответствие, нужно увеличить скорость подачи (притока) воды насосом, что можно сделать только при помощи автоматического управляющего устройства или вручную; объект же сам этого сделать не может, так как производительность насоса не зависит от уровня

воды (напора). Следовательно, такой объект является объектом без самовыравнивания — астатическим объектом.

#### 4. ЗАПАЗДЫВАНИЕ ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В автоматических системах регулирования между моментом нарушения равновесия и началом изменения регулируемого параметра проходит некоторое время, называемое запаздыванием. Оно затрудняет управление процессом и объясняется инерционностью системы и наличием сопротивлений. Различают запаздывания переходное (емкостное) и чистое (транспортное).

**Переходное (емкостное) запаздывание  $\tau$**  характерно для многоемкостных объектов. Величина этого запаздывания возрастает с увеличением числа емкостей и возникает при преодолении потоком вещества или энергии сопротивлений, разделяющих гидравлические, тепловые и другие емкости объекта. В процессе эксплуатации объектов величины емкостного запаздывания могут значительно возрасти. Например, в теплообменных аппаратах это вызывается в основном загрязнением поверхностей теплообмена, в гидравлических системах — загрязнением или засорением вентилей и труб, соединяющих аппараты, в насадочных аппаратах колонного типа — загрязнением, замораживанием и обвалом насадки.

**Чистое (транспортное или дистанционное) запаздывание** — время  $\tau_{\text{ч}}$  от момента внесения возмущающего воздействия до начала изменения регулируемого параметра. Это время необходимо для того, чтобы поток вещества или энергии, обладающий скоростью  $v$ , прошел расстояние  $l$  от места внесения возмущающего воздействия до места, в котором изменяется значение регулируемого параметра, т. е.  $\tau_{\text{ч}} = l/v$ .

Минимальным чистым запаздыванием обладает объект, работающий при максимальной нагрузке, или объект, через который сигнал распространяется с большой скоростью. Например, изменение давления или скорости потока жидкости, полностью заполняющей гидравлическую систему, распространяется настолько быстро, что чистое запаздывание мало (за исключением длинных трубопроводов).

Общее запаздывание  $\tau_{\text{об}}$  в объекте регулирования равно сумме емкостного  $\tau$  и чистого  $\tau_{\text{ч}}$  запаздывания:

$$\tau_{\text{об}} = \tau + \tau_{\text{ч}} \quad (9)$$

Запаздывания всегда неблагоприятно влияют на качество регулирования, поэтому следует стремиться к их возможному уменьшению. Этого можно достичь применением малоинерционных чувствительных элементов, выбором рациональных конструкций объектов регулирования, размещением измерительных элементов и регулирующих органов как можно ближе к регулируемым объектам, медленным изменением нагрузки (возмущением) объекта регулирования, чтобы система регулирования плавно переходила на новый режим работы.

#### 5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В настоящее время в технике широко используются многочисленные методы и приемы моделирования. Различают физическое и математическое моделирование.

При физическом моделировании модель воспроизводит изучаемый процесс (оригинал) с сохранением его физической природы. Оценка свойств объектов, аппаратов, приборов производится на моделях, выполненных в определенном масштабе с сохранением некоторых соотношений подобия. Однако физическое моделирование имеет ограниченную сферу применения. Более широкими возможностями обладает математическое моделирование.

**Под математическим моделированием** понимают способ рассмотрения различных процессов путем изучения явлений, имеющих различное физическое содержание, но описываемых одинаковыми математическими соотношениями. В простейших случаях для этой цели используются аналогии между механическими, электрическими, тепловыми и другими явлениями.

Примером такой аналогии могут служить гармонические колебания пружинного маятника и электрического колебательного контура. Действительно, уравнение колебаний пружинного маятника имеет вид:

$$\frac{m \cdot d^2 \varphi(t)}{dt^2} = -\psi \cdot \varepsilon(t) \quad (10)$$

где  $m$  — масса маятника;

$\varphi(t)$  — отклонение центра массы от положения равновесия в момент времени;

$\psi$  — жесткость пружины;

$\varepsilon(t)$  — угловое ускорение.

Если обозначить  $\frac{\psi}{m} = \omega_0^2$  и  $\varphi(t) = Z$ , можно перейти к общей форме уравнения свободных колебаний:

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot Z = 0 \quad (11)$$

Уравнение свободных колебаний в электрическом контуре имеет вид:

$$\frac{L \cdot d^2 q(t)}{dt^2} + \frac{q(t)}{C} = 0 \quad (12)$$

где  $L$  — индуктивность контура;

$q(t)$  — заряд в момент времени;

$C$  — емкость конденсатора.

Сделав преобразования и обозначив  $\frac{1}{L \cdot C} = \omega_0^2$  и  $q(t) = Z$ , получим уравнение свободных колебаний в общей форме.

Из приведенных соотношений вытекает, что закономерности, свойственные колебательному контуру (например, зависимость амплитуды и частоты колебаний от его параметров  $L$  и  $C$ ), можно изучать на модели, представляющей собой пружинный маятник, и наоборот.

В простейших случаях математическая модель позволяет для данного процесса (оригинала) подобрать на основании известных аналогий удобные физические процессы (модели), а также установить соотношения подобия, связывающие их параметры. В более сложных случаях для моделирования создают специальные моделирующие установки с использованием ЭВМ.

**Математическая модель реальной системы** является тем абстрактным, формально описанным объектом, изучение которого возможно осуществлять математическими методами, в том числе и с помощью математического моделирования. Математическое моделирование позволяет решать задачи поиска оптимальных технологических режимов при минимальных удельных затратах для производства продукта заданного качества, а также осуществлять поиск управляющих воздействий, обеспечивающих устойчивость процесса в заданных или оптимальных режимах.

Математическое моделирование развилось сравнительно недавно, в связи с появившимися возможностями использования современных ЭВМ и наличием математических описаний, отражающих основные процессы в объекте управления.

Метод математического моделирования состоит из четырех этапов:

- 1) разработки математического описания основных процессов в управляемом объекте;
- 2) разработки алгоритма расчета модели объекта на ЭВМ;
- 3) установления адекватности (совпадения данных) модели реальному объекту в рабочей области, а в случае необходимости корректировки модели вплоть до достижения требуемой адекватности;
- 4) расчета на ЭВМ статических характеристик управляемого объекта и их интерпретации.

Современные методы получения математических описаний достаточно разнообразны. Несмотря на это, их разделяют на два основных метода — аналитический и экспериментальный.

Обычно эти методы взаимосвязаны, так как аналитические выводы требуют экспериментального подтверждения, а экспериментальные методы не могут быть осуществлены без соответствующих теоретических расчетов при постановке опыта и обработке его результатов.

При аналитическом методе получения математического описания объекта используют известные уравнения, описывающие физические явления и процессы, протекающие в объекте, выводят уравнения, связывающие входные и выходные параметры в стационарных условиях, которые называют уравнениями статики.

Также выводят уравнения, связывающие приращения входных параметров с изменениями во времени выходных параметров, которые называют уравнениями динамики.

Аналитические методы возможны для относительно небольшого числа технологических процессов.

Несмотря на значительные трудности, чаще применяют экспериментальные методы, связанные с необходимостью оперировать большим числом взаимосвязанных и нередко неконтролируемых параметров, с трудоемкостью эксперимента и обработки его результатов. Эти трудности в определенной мере устраняются применением специальных приемов активного и пассивного эксперимента.

Эксперимент называют активным, если при его осуществлении производят активное вмешательство в ход процесса: изменяют в определенном порядке входные параметры. Эксперимент называют пассивным, если осуществляется простая регистрация входных и выходных переменных объектов.

Использование ЭВМ расширяет возможности эффективного сочетания аналитического и экспериментального методов, при этом общий вид уравнений (структура модели объекта) определяется аналитически, а численные значения параметров, соответствующие конкретному объекту, определяются экспериментально.

Для наглядного отображения всех параметров и воздействий объект управления представляют с помощью параметрической схемы, представленной на рис. 4. На схеме изображают все контролируемые и регулируемые параметры, а также управляющие и возмущающие воздействия.

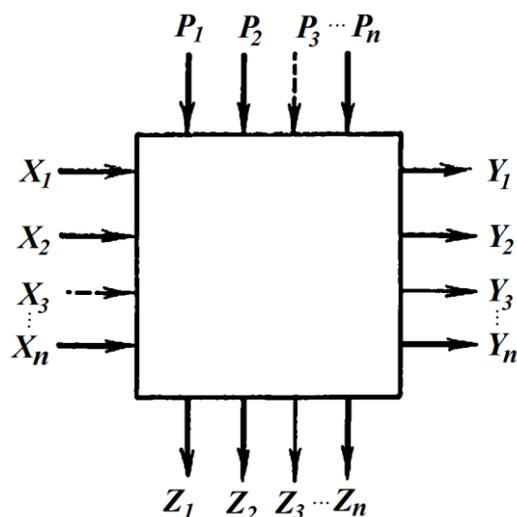


Рис. 4. Параметрическая схема моделируемого объекта

На рис. 4 представлены следующие обозначения:

$Z_1 \dots Z_n$  – выходные контролируемые параметры;

$Y_1 \dots Y_n$  – выходные регулируемые параметры;

$P_1 \dots P_n$  – входные возмущающие воздействия;

$X_1 \dots X_n$  – входные управляющие воздействия.

Входные параметры  $P$  и  $X$  являются независимыми и могут принимать произвольные значения на технологически возможных интервалах. Выходные параметры  $Z$  и  $Y$  зависят от свойств процесса и изменения независимых параметров.

Если выходная величина  $Y_j$  зависит от входной  $X_i$  таким образом, что каждому значению  $X_i$  соответствует определенное значение  $Y_j$ , то такую зависимость называют функциональной.

Если каждому значению  $X_i$  соответствует некоторая совокупность значений  $Y_j$ , а изменение величины  $X_i$  приводит к изменению распределения  $Y_j$ , то такая зависимость называется статистической.

Под случайным процессом понимают функцию  $F(\tau)$  от независимого параметра  $\tau$ , которая при некотором числе сходных опытов может принимать (в зависимости от условий каждого  $n$ -го опыта) конкретный, но заранее не известный вид  $f_{i\tau}(\tau)$ .

Случайный процесс является функцией двух переменных: независимого аргумента  $\tau$  и параметра  $U$ , зависящего от условий эксперимента (случая). Математическим отображением случайного процесса является случайная функция. Если в качестве независимой переменной случайной функции выступает время, то случайную функцию называют стохастической.

На втором этапе математического моделирования разрабатывают алгоритм, блок-схема которого приведена на рис. 5.

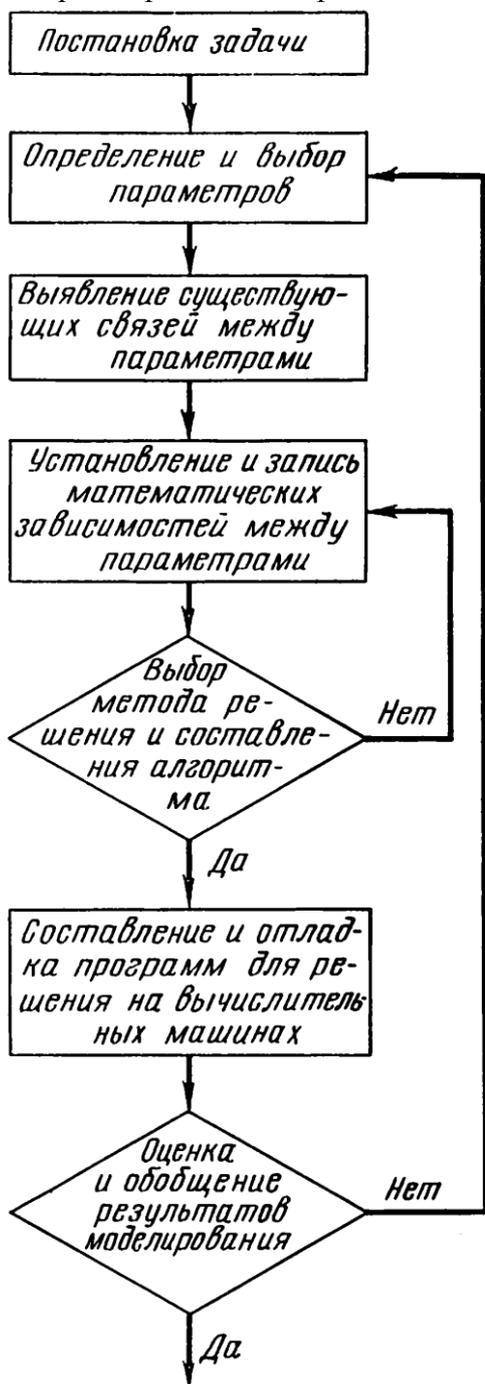


Рис. 5. Блок-схема алгоритма составления математической модели

Для описания некоторых процессов, происходящих в машинах и аппаратах, осуществляющих изменение физических свойств (механическое перемещение потоков, перенос массы и энергии), а также химические и биохимические превращения, применяют типовые унифицированные и стандартные модели.

Типовые математические модели имеют одинаковые стандартные характеристики, а все многообразие потоков, возникающих в различных аппаратах, представляют несколькими типовыми моделями.

Типовые модели применимы к детерминированным процессам, т. е. к таким процессам, значения параметров которых определяются однозначно в любые моменты времени.

Для случайных процессов наряду с типовыми моделями применяют статистические, основанные на теории случайных процессов. При этом для части случайных величин применяют вероятностный подход.

Третий и четвертый этапы моделирования обычно осуществляют на ЭВМ. При этом корректировка модели с целью достижения адекватности реальному объекту в рабочей области — сводится к определению соответствующих значений частных коэффициентов, используемых в качестве основных инструментов коррекции модели на основе различных методов.