

Тема: РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

1. Общее понятие о регулирующих органах.
2. Регулирующие органы для изменения потоков твердых веществ.
3. Регулирующие органы для изменения потоков жидких и газообразных веществ.
4. Регулирование энергетических потоков
5. Динамические характеристики регулирующих органов

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНАХ

Каждый технологический процесс, который нуждается в оперативном управлении, должен иметь регулирующий орган

Регулирующий орган — устройство, через которое осуществляется изменение потока вещества или энергии, влияющие на состояние технологического параметра объекта управления.

Регулирующий орган конструктивно может быть представлен простейшим устройством в виде клапана, задвижки, заслонки, делителя напряжения и т. п., а также весьма сложной системой устройств: питатели, дозаторы, транспортеры, насосы, вентиляторы, компрессоры и т. д. вплоть до манипуляторов-роботов.

В сельскохозяйственном производстве для управления потоками твердых веществ применяются соответствующие регулирующие органы:

- 1) для твердых веществ штучного вида (корнеплоды и т. п.) используются скребковые или ленточные питатели;
- 2) для волокнистых веществ (солома, силос) — битерные питатели;
- 3) для мелких плохо сыпучих (комбикорма) — шнековые питатели;
- 4) для мелких хорошо сыпучих (зерно, гранулы) — тарельчатые питатели и заслонки.
- 5) потоки смесей твердых веществ различной консистенции регулируют специальными устройствами, например двухвальными шнеками.

Устройства для регулирования потока жидких веществ выбирают в зависимости от их вязкости:

- 1) для тестообразных (навоз, кормосмеси) используют шнековые или скребковые питатели;
- 2) для полужидких (кормосмеси 70%-ной влажности) — насосные установки;
- 3) для жидких (вода) — насосы, клапаны, задвижки.

Поток газообразных веществ регулируют включением и отключением компрессорных или вентиляционных установок, а также при помощи газовых клапанов, заслонок и т. п.

Энергетические потоки и воздействия в зависимости от вида энергии регулируют следующими устройствами:

- 1) механическими — редукторами, вариаторами, муфтами скольжения, гидравлическими муфтами;
- 2) электрическими — автотрансформаторами, электронными и магнитными усилителями;
- 3) световыми — затенителями, перемещением осветительных приборов;
- 4) тепловыми — через устройства массообмена.

Входное регулирующее воздействие на объект управления является одновременно выходной координатой регулирующего органа и определяется из уравнения динамики процесса

$$x_p = x_B + \frac{1}{T} \int_{y_1}^{y_2} L \cdot dy \quad (1)$$

где T — время переходного режима процесса.

В установившемся режиме, когда изменения параметра нет ($\Delta y = 0$), второй член в первой части уравнения (1) отсутствует и регулирующее воздействие определяется возмущением ($x_p = x_B$).

В переходных режимах идет изменение наполнения емкостей, тогда регулирующее воздействие должно компенсировать и возмущения, и емкостные потоки, которые при

ограниченном времени T могут быть значительными. Если в переходном режиме возмущения отсутствуют ($X_B = 0$), то регулирующее воздействие определяется исключительно емкостными потоками:

$$x_p = \frac{1}{T} \int_{y_1}^{y_2} L \cdot dy \quad (2)$$

Входная координата регулирующего органа — это то его положение, которое он занимает в процессе ручного регулирования, ручным может быть включение или отключение (позиционное управление), переключение на другие ступени (ступенчатое управление), плавное изменение положения какого-то органа, влияющего на регулируемый поток.

Зависимость между входными и выходными величинами регулирующих органов во времени в виде передаточных функций $W(p)_{P.O}$ определяются по конструктивным данным установок, используемых для регулирования потоков. Поскольку устройства эти в подавляющем большинстве серийные, то, как правило, всю информацию для определения передаточных функций берут из паспортов или справочных источников. Для несерийных устройств передаточные функции могут быть определены аналитически или экспериментально.

2. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТОКОВ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

Устройства для регулирования потоков твердых веществ можно разделить по принципу действия на две группы: питатели непрерывного действия и циклического действия.

Пользуясь методом аналогии, можно найти общий критерий оценки потоков и методику определения передаточных функций питателей.

Анализируя характеристики производительности различных питателей, находим, что они идентичны. Во всех случаях производительность является функцией площади сечения потока вещества S_B и скорости ее движения v , то есть $Q = f(S_B, v)$. Учитывая, что площадь сечения потока в каждом случае определяется минимум двумя координатами (шириной B и высотой h или им аналогичными величинами), можно записать:

$$Q = f(B, h, v) \quad (3)$$

Рассмотрим в качестве примера ленточный питатель (рис. 1) как регулирующий орган в технологическом объекте автоматизации сельскохозяйственного производства.

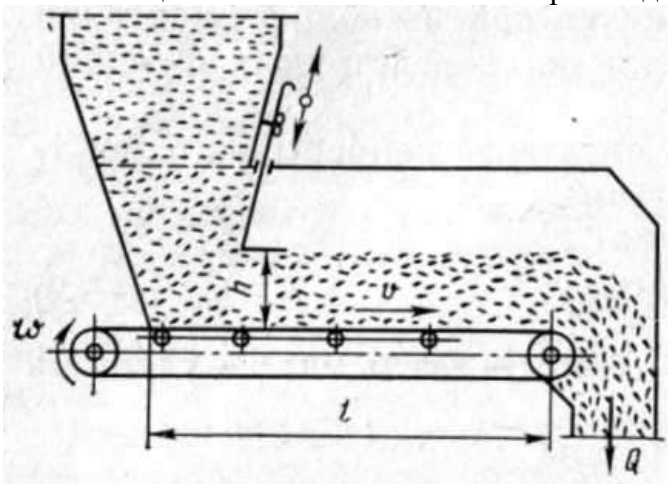


Рис. 1. Схема ленточного питателя сыпучих материалов

Допустим, что поток вещества мы будем регулировать, изменяя высоту подъема регулирующей заслонки, и следовательно, высоту потока h . Учитывая, что площадь сечения потока равна $S_B = B \cdot h$ (B — ширина потока) получим выражение производительности в зависимости от высоты h :

$$Q = 3600 B \cdot h \cdot v \cdot \gamma \quad (4)$$

где γ – насыпная плотность материала.

Поскольку эта зависимость линейна, то коэффициент передачи регулирующего органа будет равен:

$$k_{p.o} = \frac{\Delta Q}{\Delta h} = 3600 B \cdot v \cdot \gamma \quad (5)$$

Т.к. перемещение заслонки и нарастание потока происходят практически мгновенно, поэтому регулирующей орган будет звеном безынерционным. Но до объекта управления регулирующее воздействие дойдет с некоторым опозданием, которое легко определить по формуле:

$$\tau = \frac{l}{v} \quad (6)$$

где l — длина пути перемещения вещества в питателе, м;

v — скорость движения вещества, м/с.

Тогда передаточная функция регулирующего органа в операторной форме будет иметь вид:

$$W(p)_{p.o} = k_{p.o} \cdot e^{-p\tau} = 3600 B \cdot v \cdot \gamma \cdot e^{-\left(\frac{l}{v}\right)p} \quad (7)$$

3. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТОКОВ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ

Поток жидких и газообразных веществ в сельскохозяйственном производстве регулируют путем изменения режима работы механических установок (насосов, компрессоров, вентиляторов), так или при помощи управляемой запорной аппаратуры (клапанов, вентилей, задвижек, заслонок). При этом из механических преимущественное распространение получили установки с так называемой вентиляторной характеристикой нагрузки — вихревые, центробежные и шнековые насосы; ротационные компрессоры; центробежные и осевые вентиляторы.

Выходная координата механических установок с вентиляторными характеристиками (производительность) зависит только от частоты вращения рабочих лопаток $Q = f(n)$. Соответственно изменение производительности таких установок является результатом изменения частоты вращения их электроприводов.

Частоту вращения электроприводов можно регулировать жестко путем включения и отключения напряжения (позиционное управление); либо изменяя число пар полюсов (ступенчатое управление), либо плавно изменяя скольжения S_d , напряжения сети U_C или частоту подаваемого тока. Но зависимость производительности установок с вентиляторной нагрузкой от S_d или U_C всегда нелинейна, и в каждой технологической схеме ее определяют только опытным путем.

При регулировании потоков клапанами, задвижками, заслонками выходная величина (регулируемый поток) изменяется в зависимости от степени их открытия (входной координаты регулирующего органа):

$$Q_p = f(l_{p.o}) \quad (8)$$

где $l_{p.o}$ — параметр, характеризующий степень открытия запорной арматуры.

Величина $l_{p.o}$ есть отношение текущего значения хода затвора S_3 или угла поворота α_3 к номинальному их значению, называемому условным S_y и α_y :

$$\text{а) с поступательным движением} \quad l_{p.o} = \frac{S_3}{S_y} \quad (9.1)$$

$$\text{б) с вращательным движением} \quad l_{p.o} = \frac{\alpha_3}{\alpha_y} \quad (9.2)$$

Регулируемый поток Q_p в отношении к номинальному значению Q_H равен соответствующему условному проходу $q_{p.o}$:

$$q_{P.O} = \frac{Q_P}{Q_H} \quad \text{и} \quad q_{P.O} = \frac{Q_P}{Q_Y} \quad (10)$$

Тогда передаточный коэффициент равен:

$$k_{P.O} = \frac{\Delta q_{P.O}}{\Delta l_{P.O}} \quad (11)$$

Он выражается однозначно только в том случае, если зависимость эта линейна.

Абсолютное значение регулирующего воздействия Q_P определяется выражением (8) только при постоянстве напора (давления) на регулирующем органе.

Для регулирующего органа клапанного типа передаточная функция имеет вид:

$$W(p)_{P.O} = k \quad (12)$$

Отсюда видно, что регулирующий орган практически безынерционный элемент.

Но регулирующие задвижки и вентили требуют время на перемещение штока, а их открытие и закрытие зависит также от частоты вращения маховичка.

Вентильный регулирующий орган является сложным, имеющим интегрирующее звено (винтовой шток с маховиком) с передаточной функцией интегрирующего типа:

$$W(p)_M = \frac{1}{T_H \cdot p} \quad (13)$$

где T_H — время интегрирования, численно равное времени полного открытия задвижки при принятой частоте вращения.

Передаточная функция вентильного регулирующего органа из формул (12) и (13) определяется как произведение передаточных функций задвижки $W(p)_З$ и маховика $W(p)_M$:

$$W(p)_{P.O} = \frac{k}{T_H \cdot p} \quad (14)$$

Нами были рассмотрены простейшие, наиболее распространенные регулирующие устройства, используемые в сельскохозяйственном производстве.

Рассматривая более сложные регулирующие органы, сначала разбивают их на простые звенья, для которых находят передаточные функции, а затем находят общую передаточную функцию регулирующего органа по эквивалентному замещению.

Необходимо иметь в виду, что регулирующие органы всегда расположены перед объектом управления, а их инерционность фактически равнозначна запаздыванию входного сигнала объекта. Поэтому при выборе закона регулирования постоянную времени регулирующего органа учитывают в составе чистого запаздывания объекта. Если же эта постоянная времени значительно меньше чистого запаздывания объекта (менее 5%), то ею пренебрегают. Например, когда транспортное запаздывание воды при подаче ее из артезианских скважин в башни бывает в пределах от 2 до 5 мин, постоянная времени разгона насоса составляет всего 2...2,5 с.

4. РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

Рассмотрим два наиболее распространенных и перспективных вида регулирования энергетических потоков — механического с помощью муфт (гидравлической и электромагнитной) и электрического — электронными тиристорными усилителями.

Гидравлическая муфта (рис. 2, а) состоит из ведущей 1 и ведомой 2 полумуфт, а полость между ними заполняется жидкостью при помощи сервомотора. Полумуфта 1 выполняет роль насоса, а 2 — турбины.

Путем изменения уровня жидкости в полости муфты (входная координата) регулируется частота вращения вторичного вала (выходная координата) муфты как регулирующего органа (рис. 2, б).

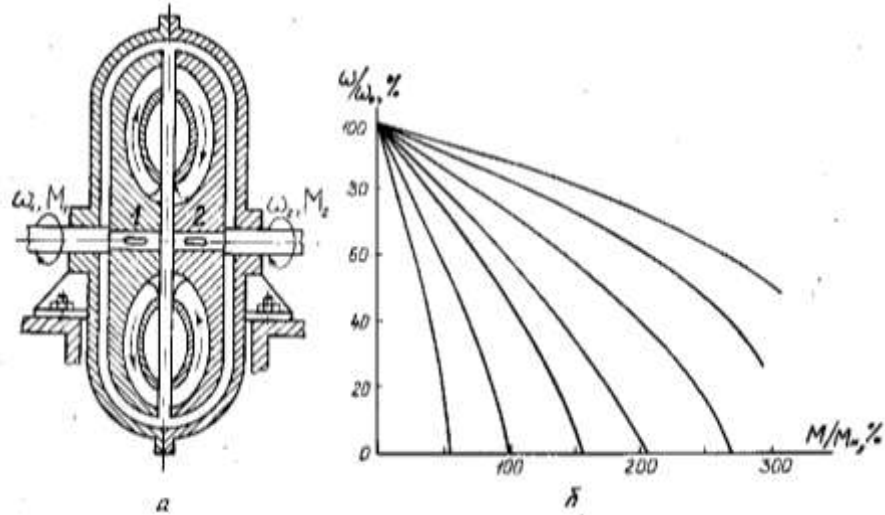


Рис. 2. Схема гидравлической муфты (а) и ее механические характеристики (б).

Коэффициент передачи (усиления) муфты представляет собой соотношение выходной и входной координат (линейная зависимость):

$$k = \omega_2/h, \tag{15}$$

где ω_2 — угловая скорость вращения выходного вала;
 h — уровень жидкости в муфте.

Гидравлические связи относятся к жестким, поэтому передача муфты может быть отнесена к безынерционной:

$$W(p)_M = k = \omega_2/h. \tag{16}$$

Сервомотор h представляет собой явно выраженное интегрирующее звено

$$W(p)_c = 1/(Tp), \tag{17}$$

где T — время, необходимое для заполнения муфты: $T=V_M/Q_C$ (объем муфты, разделенный на производительность сервомотора).

Тогда передаточная функция гидравлической муфты как регулирующего органа выражается формулой

$$W(p)_{p.o} = W(p)_M W(p)_c = \omega_2 Q_C / [(V_M h) p]. \tag{18}$$

Электромагнитная муфта скольжения (рис. 3) представляет собой сочленение двух вращающихся друг относительно друга полумуфт, одна из которых имеет обмотку возбуждения 1, а другая — короткозамкнутую обмотку 2 по типу ротора асинхронного двигателя.

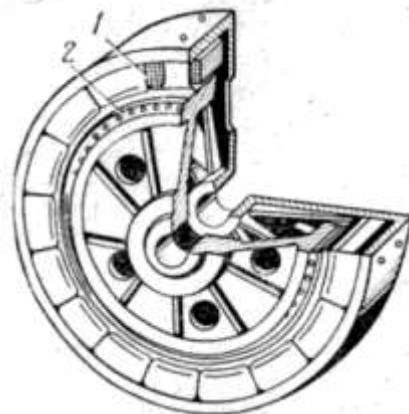


Рис. 3. Общий вид электромагнитной муфты скольжения.

Передаваемый момент определяется конструктивными данными муфты

$$M = m I_2'^2 r_2' / (\omega_1 S), \tag{19}$$

где m — число стержней клетки ведомой полу муфты;
 ω_1 — угловая скорость вращения ведущей полумуфты;
 ω_2 — то же, но ведомой;
 $S = (\omega_1 - \omega_2) / \omega_1$ — скольжение;
 I_2', r_2' — ток и сопротивление ведомой полумуфты.

Поскольку ток I_2' является функцией тока в обмотке возбуждения I_B (для линейного участка намагничивания в линейной зависимости), то, учитывая, что скольжение из (19):

$$s = m I_2'^2 r_2' / (\omega_1 M), \tag{20}$$

можно записать

$$s = f_1(I_2') = f_2(I_B).$$

Эта зависимость представляется заводами-изготовителями в виде механических характеристик — зависимостей ω/ω_H от M/M_H (рис. 4) для различных значений тока возбуждения (входной координаты муфты) и частоты вращения вторичного вала (выходной координаты, характеризуемой скольжением S).

Тогда коэффициент передачи муфты:

$$k_M = \omega_2 / I_B, \tag{21}$$

а передаточная функция имеет вид:

$$W(p)_M = k = \omega_2 / I_B. \tag{22}$$

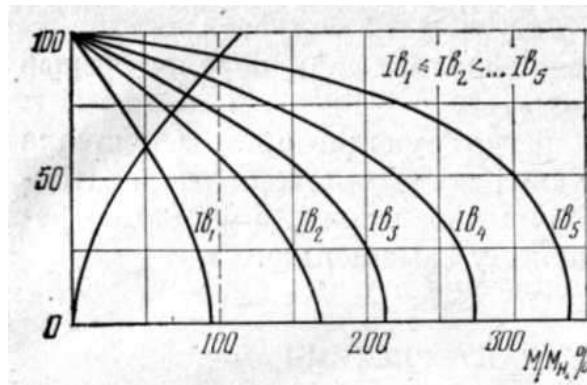


Рис. 4. Механические характеристики асинхронной муфты скольжения.

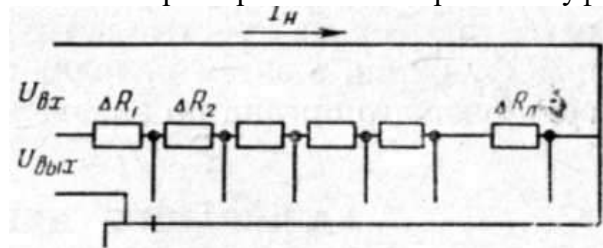


Рис. 5. Реостатный регулятор электрического напряжения.

Но изменение тока возбуждения в процессе регулирования частоты вращения при помощи муфты скольжения требует устройства регулирования подаваемого на обмотку возбуждения муфты напряжения U_B . Можно назвать множество случаев, где требуется регулировать электрическое напряжение, подаваемое на технологические установки сельскохозяйственного производства, например в широко распространенных вентиляционных установках «Климат», при регулировании освещения птичников «ТИРОС» и др.

В электроприводах типа ПМСМ подача напряжения осуществлена по принципу элементарного делителя напряжения резисторного типа (рис. 5), у которого передаточный коэффициент

$$k_{\text{д}} = R_{\text{вх}}/R_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} \quad (23)$$

Для установок сильного тока такой способ регулирования неэкономичен, поскольку потери мощности на балластном плече сопротивления могут быть весьма значительными. В таких случаях используют автотрансформаторные регуляторы (по типу делителей напряжения), где коэффициентом передачи является коэффициент трансформации или электронные тиристорные (симисторные) регуляторы.

Выходной величиной электронного регулятора является эффективное (действующее) значение переменного напряжения на выходе. Входная координата — это особой пилообразной формы напряжение на управляющем электроде, которое формируется в колебательном контуре и изменяется в зависимости от соотношения сопротивлений и емкостей.

Напряжение на выходе из тиристоров зависит от действующего значения напряжения на входе, соответственно этому передаточный коэффициент

$$k = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} \quad (24)$$

Все электрические и электронные регуляторы напряжения являются безынерционными, поэтому передаточная функция их всегда выражается $W(p) = k$.

Выше были рассмотрены простейшие, наиболее распространенные регулирующие устройства, используемые или перспективные для сельскохозяйственного производства.

Рассматривая более сложные регулирующие органы, сначала разбивают их на простые звенья, для которых находят передаточные функции, а затем находят общую передаточную функцию регулирующего органа по эквивалентному замещению.

5. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ

В структуре регулирующих органов могут быть функциональные звенья, обладающие значительной емкостью и соответственно инерцией.

Так, например, теплицы можно обогревать стационарными отопительными батареями, обладающими значительной емкостной массой и временем разгона при нагреве. Менее емкостными являются калориферы тепловентиляторов, но они также обладают некоторой реальной инерцией. Инерцией также обладают электронагревательные устройства (ТЭНы), теплообменники в устройствах подогрева воды и т. п.

Алгоритмическая характеристика такого рода элементов, как правило, аппроксимируется передаточной функцией аperiodического звена первого порядка:

$$W(p) = k/(Tp + 1) \quad (25)$$

Коэффициенты k и T передаточной функции, как и в объектах управления с одной емкостью, определяются аналитически или экспериментально.

Так, например, в теплице установившийся режим батарей наступит, когда скорость изменения температуры батареи будет равна $\frac{d\theta_{\text{б}}}{dt} = 0$.

Тогда будет иметь место равенство $Q_{\text{пр}} = Q_{\text{р}} = Q_{\text{от}}$.

Можно принять следующие зависимости:

$$Q_{\text{пр}} = \alpha_{\text{т.н}} s_{\text{б}} (\theta_{\text{т.н}} - \theta_{\text{б}}) \quad \text{и} \quad Q_{\text{р}} = \alpha_{\text{б}} s_{\text{б}} (\theta_{\text{б}} - \theta_{\text{в}}), \quad (26)$$

Тогда путем дифференцирования находят коэффициенты самовыравнивания на стороне поступления $\delta_{\text{п}}$ и на стороне расхода $\delta_{\text{р}}$ теплоты батарей. По этим коэффициентам определяют общий коэффициент самовыравнивания $\delta_{\text{б}}$:

$$\left(\frac{dQ_{\text{пр}}}{d\theta_{\text{б}}}\right)_0 = -\alpha_{\text{т.н}} s_{\text{б}}; \quad \left(\frac{dQ_{\text{р}}}{d\theta_{\text{б}}}\right)_0 = \alpha_{\text{б}} s_{\text{б}}; \quad (27)$$

$$\delta_{\theta} = \frac{\theta_{\theta(0)} S_{\theta}}{Q_{\theta(0)}} (\alpha_{\text{т.н}} + \alpha_{\theta}), \quad (28)$$

Где $\alpha_{\text{т.н}}$ и α_{θ} - коэффициенты передачи теплоты от теплоносителя на батарею и от батареи на воздух.

Время разгона определится массой батарей и теплоемкостью их материала для нагрева до установившегося значения:

$$T_p = m_{\theta} c_{\theta} \theta_{\theta} / Q_{\text{от}}. \quad (29)$$

Тогда постоянная времени:

$$T = T_p / \delta_{\theta}, \quad (30)$$

а коэффициент передачи:

$$k = 1 / |\delta_{\theta}| \quad (31)$$

то есть:

$$T = \frac{m_{\theta} c_{\theta}}{S_{\theta} (\alpha_{\text{т.н}} + \alpha_{\theta})}; \quad (32)$$

$$k_{\theta} = \frac{Q_{\theta(0)}}{S_{\theta} (\alpha_{\text{т.н}} + \alpha_{\theta}) \theta_{\theta(0)}}. \quad (33)$$

Передаточная функция батарейных обогревающих устройств будет иметь вид:

$$W(p)_{\theta} = k_{\theta} / (Tp + 1). \quad (34)$$

Необходимо иметь в виду, что регулирующие органы всегда расположены перед объектом управления, а их инерционность фактически равнозначна запаздыванию входного сигнала объекта. Поэтому при выборе закона регулирования постоянную времени регулирующего органа учитывают в составе чистого запаздывания объекта. Если же эта постоянная времени значительно меньше чистого запаздывания объекта (менее 5%), то ею пренебрегают. Например, когда транспортное запаздывание воды при подаче ее из артезианских скважин в башни бывает в пределах от 2 до 5 мин, постоянная времени разгона насоса составляет всего 2...2,5 с.