

Тема: ПОНЯТИЕ О ЗАКОНАХ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

1. Принципы управления и регулирования, применяемые в с.-х. производстве.
2. Пропорциональный закон регулирования (П-закон).
3. Интегральный закон регулирования (И-закон).
4. Пропорционально-интегральный закон регулирования (ПИ-закон).
5. Пропорционально-дифференциальный закон регулирования (ПД-закон).
6. Позиционные законы регулирования.
7. Правила выбора принципа и закона регулирования.

1. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В С.-Х. ПРОИЗВОДСТВЕ

Управление по программе

Управление технологическими процессами сельскохозяйственного производства осуществляется либо по управляющей программе, либо в функции отклонений от заданных значений параметров или возмущений объектов управления, что называется регулированием.

Каждая программа управления технологическими процессами представляет собой определенный записанный в настройках автоматических устройств или на различных носителях информации закон (алгоритм) изменения положения или функционирования регулирующих органов объектов управления во времени.

Программа управления разрабатывается на основе закона функционирования технологического объекта, с учетом анализа возмущений и технологических предпосылок управления процессом.

Если определено действие возмущения во времени $x_B(t)$, то компенсирующее его регулирующее воздействие в каждый момент времени должно быть равным и противоположным по направлению, то есть $x_P(t) = -x_B(t)$. Зная передаточный коэффициент регулирующего органа, можно определить его положение (входную координату) α_P для любого момента времени:

$$\alpha_P = \frac{1}{k_P} x_P \quad (1)$$

Определив положение регулирующего органа в течение всего процесса, можно получить функцию, выражающую программу управления процессом:

$$\alpha_P(t) = \frac{1}{k_P} x_P(t) \quad (2)$$

В сельскохозяйственном производстве широко распространены циклические программы: суточного цикла (кормление, уборка экскрементов, сбор яиц, доение, сбор урожая в теплицах и т. д.), суточно-годового (технологическое освещение, подкормка) и производственного (приготовление кормосмесей, движение питательного раствора гидропонных теплиц, запуск и остановка технологических поточных линий и агрегатов).

Положение регулирующего органа $\alpha_P(t)$ в программе управления определяется в пределах времени t , равного длительности соответствующего технологического цикла. В некоторых случаях за основу принимается не временной, а пространственный аргумент. Программирование таких процессов заключается в определении пространственных координат положения регулирующего органа, например при восстановлении деталей сельскохозяйственных машин.

Управление по отклонениям

Для автоматического управления в функции отклонения физических величин применяются различные по конструктивному исполнению регуляторы механического, гидравлического, пневматического, электрического или электронного принципов действия. В их основе лежит

ограниченное число линейных (непрерывных) или нелинейных (дискретных) законов (алгоритмов) регулирования.

Среди непрерывных наиболее широко используются два основных простейших закона: пропорциональный П-закон и интегральный И-закон. Эти два закона могут образовывать три комбинации в сочетании с предварением или без него: пропорционально-интегральный ПИ-закон, пропорционально-дифференциальный ПД-закон и пропорционально-интегрально-дифференциальный ПИД-закон.

В сельскохозяйственных системах автоматики широко применяются позиционные регуляторы, работающие на основе релейного позиционного P_{Π} -закона и релейного с постоянной скоростью P_C -закона и их комбинаций.

Под законом (алгоритмом) регулирования подразумевается функциональная связь между выходным сигналом (координатой) регулятора φ и его входной координатой μ как в установившемся, так и в переходном режимах.

В каждый момент времени между выходной координатой регуляторов φ и положением регулирующего органа объекта автоматизации существует прямая зависимость, поэтому величиной φ иногда называют координату положения регулирующего органа α_p . Фактически такая подмена не всегда правомерна. А вот вход регулятора μ и отклонение регулируемой величины объекта управления $\Delta y = y_d - y_z$ — величины, всегда тождественные (символы «д» и «з» означают «действительное» и «заданное» значения).

2. ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ ЗАКОН РЕГУЛИРОВАНИЯ (П-закон).

П-закон выражает регулирование по отклонению регулируемой величины. По этому закону значение сигнала на выходе регулятора φ всегда строго пропорционально значению его входной величины μ :

$$\varphi = k_p \cdot \mu \quad (3)$$

k_p - коэффициент передачи регулятора.

Скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна изменению сигнала на выходе регулятора и выражается дифференциалом:

$$\frac{d\varphi}{dt} = k_p \frac{d\mu}{dt} \quad (4)$$

Графическое выражение П-закона регулирования показано на рис. 1.

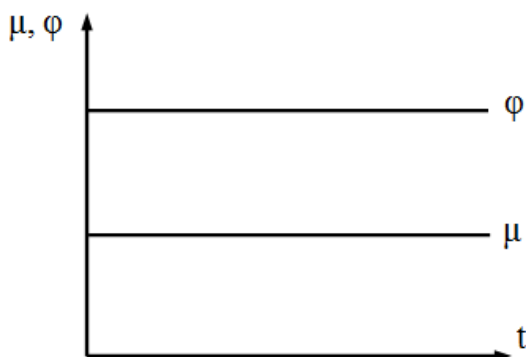


Рис. 1. Графическое выражение пропорционального закона регулирования

Поскольку изменению сигнала на входе $d\mu/dt$ строго соответствует аналогичное во времени изменение выходного сигнала $d\varphi/dt$, то П-регуляторы являются безынерционными.

Из формулы (4) следует, что в установившемся режиме регулирования ($\mu = \mu_0 = const$) сигнал на выходе φ постоянный, а регулирующий орган неподвижный. Следовательно, П-регулятор является статическим и величина статизма δ_p связана с коэффициентом передачи соотношением:

$$k_p = \frac{1}{|\delta_p|} \quad (5)$$

Практически закон регулирования формируется системой функциональных звеньев, связанных между собой прямой и обратной последовательностью.

Например, в пропорциональном регуляторе ПТРП этот закон реализуется электронным усилителем на транзисторах и звеном положительной обратной связи от исполнительного механизма с устройством сравнения, выполненным в виде делителя напряжения резисторного типа.

Поскольку значению сигнала на выходе регулятора φ строго соответствует положение регулирующего органа, то каждому значению отклонения регулируемой величины $\Delta y_{(i)}$ должно соответствовать свое открытие регулирующего органа $\Delta \alpha_{(i)}$. То есть $\Delta y_{(i)}$ будет неизбежной статической ошибкой регулирования.

В П-регуляторах всегда имеется статическая ошибка регулирования.

Это обстоятельство в некоторых случаях (в частности, когда допускаемые статические отклонения регулируемой величины ограничены) не позволяет использовать П-регуляторы. Однако в некоторых случаях наличие статической ошибки выступает как положительное свойство П-закона.

Например, при регулировании вентиляции птичников в летний период в функции температуры пропорционально увеличению температуры в помещении увеличиваются частота вращения и подача вентиляторов, что вполне соответствует требованиям к управлению.

В целом при выборе П-закона необходимо учитывать, что полное открытие регулирующего органа $\Delta \alpha_{P(max)}$ должно соответствовать допустимому длительному отклонению регулируемой величины $\sigma_{доп}$, то есть $\Delta \alpha_{P(max)} = \sigma_{доп}$.

Параметром настройки П-регуляторов является коэффициент передачи k_P , пользуясь которым можно настроить регулятор на различные $\sigma_{доп}$.

3. ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ЗАКОН РЕГУЛИРОВАНИЯ (И-закон)

И-закон регулирования выражает управление по интегралу от отклонения регулируемой величины:

$$\varphi = \frac{1}{T_I} \int \mu \cdot dt \quad (6)$$

где T_I - имеет размерность времени и называется постоянной интегрирования регулятора. Обычно это время, за которое регулирующий орган перемещается из одного крайнего положения в другое при максимальном входном сигнале.

Отсюда скорость перемещения регулирующего органа объекта равна:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{T_I} \mu \quad (7)$$

Таким образом, скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна отклонению регулируемой величины. Очевидно, что регулирующий орган ($d\varphi/dt \neq 0$) не остановится до тех пор, пока существует отклонение μ . А это значит, что статической ошибки здесь не может быть. Единственным условием равновесия регулирующего органа является отсутствие отклонения регулируемой величины ($\mu = 0, d\varphi/dt = 0, \varphi = const$).

На рис. 2 показано графическое выражение интегрального закона регулирования.

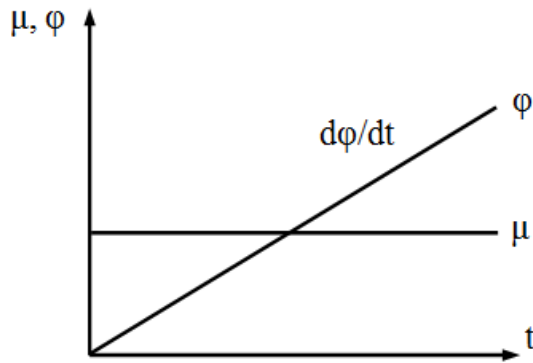


Рис. 2. Графическое выражение интегрального закона регулирования

Отсутствие статической ошибки позволило назвать И-регулятор астатическим.

Параметрами настройки И-регуляторов являются постоянная интегрирования T_{II} и минимальный сигнал срабатывания Δ :

$$\Delta = 0,5 \cdot \sigma \cdot k_{п.п} \quad (8)$$

где $k_{п.п}$ — крутизна статической характеристики первичного преобразователя;
 σ — допустимое отклонение регулируемой величины (допустимая ошибка).

К преимуществам И-закона следует отнести отсутствие статической ошибки регулирования, что отражается как на устойчивости, так и на точности процесса регулирования.

4. ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ЗАКОН РЕГУЛИРОВАНИЯ (ПИ-закон)

ПИ-закон регулирования выражает регулирование по отклонению регулируемой величины и интегралу от него:

$$\varphi = k_p \left[\mu + \frac{1}{T_{II}} \int \mu \cdot dt \right] \quad (9)$$

Коэффициент T_{II} в этом законе определяется как время удвоения пропорциональной составляющей перемещения регулирующего органа через канал интегрирования и называется временем изодрома. Соответственно регуляторы называют изодромными.

Скорость перемещения регулирующего органа определяется:

$$\frac{d\varphi}{dt} = k_p \left[\frac{d\mu}{dt} + \frac{1}{T_{II}} \mu \right] \quad (10)$$

Графическое выражение ПИ-закона показано на рис. 3,а, а структурное изображение — на рис. 3,б.

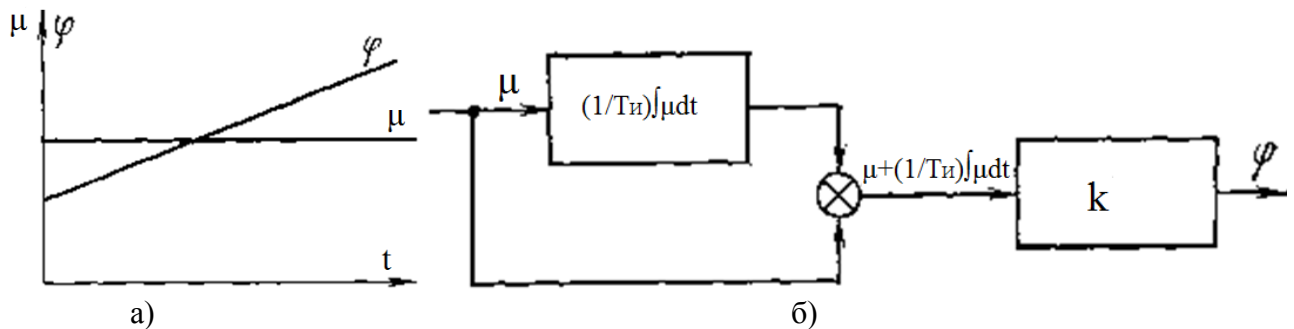


Рис. 3. Графическое выражение ПИ-закона (а) и его алгоритмическая структура (б)

При $\mu = \mu_0 = const$ пропорциональная составляющая скорости перемещения регулирующего органа отсутствует, но интегральная остается:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{k_p}{T_I} \mu \quad (11)$$

Это обстоятельство характеризует ПИ-регулятор как астатический. Параметрами настройки ПИ-регуляторов являются k_p , T_I и Δ .

5. ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ЗАКОН РЕГУЛИРОВАНИЯ (ПД-закон)

Структурно ПД-закон представляется сложным (рис. 4, б), состоящим из двух, определенным образом соединенных звеньев — дифференцирующего Д и пропорционального П.

ПД-закон регулирования выражает регулирование по отклонению регулируемой величины и его производной:

$$\varphi = k \left[\mu + T_D \frac{d\mu}{dt} \right] \quad (12)$$

Коэффициент T_D имеет размерность времени и называется постоянной дифференцирования или временем предварения. Дифференциальная составляющая форсирует регулирующее воздействие в переходных режимах, поэтому ее называют элементом предварением.

Скорость перемещения регулирующего органа равна:

$$\frac{d\varphi}{dt} = k \left[\frac{d\mu}{dt} + T_D \frac{d^2\mu}{dt^2} \right] \quad (13)$$

На рис. 4, а показано графическое изображение ПД-закона регулирования.

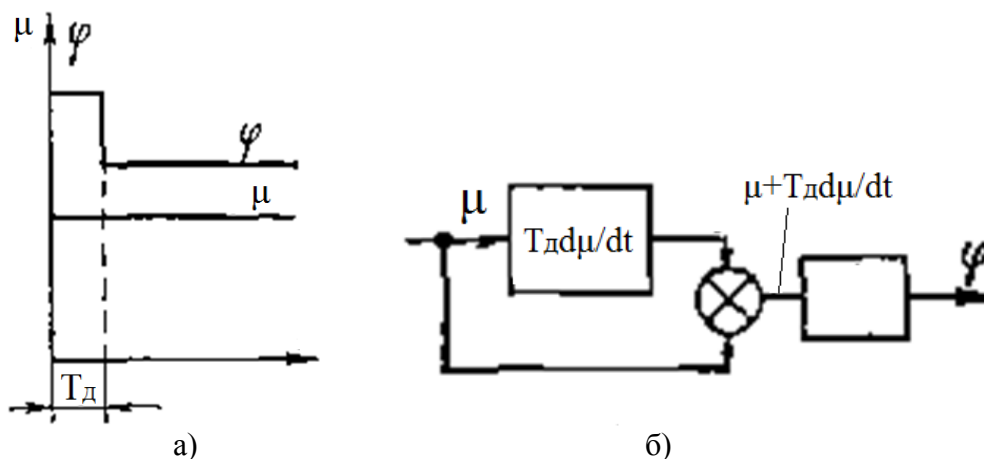


Рис. 4. Графическое выражение ПД-закона (а) и алгоритмическая структура регулятора (б)

Очевидно, что чем больше и быстрее меняется регулируемая величина, тем больше влияние предварения на выход регулятора. В установившемся режиме ($\mu = \mu_0 = const, d\varphi/dt=0$) ПД-регулятор остается статическим, отклонение полностью не устраняется.

Как и в П-регуляторах, коэффициент k_p безразмерен и равен обратной величине статизма регулятора $k_p = \frac{1}{|\delta|}$.

Параметрами настройки таких регуляторов являются величины k_p и T_D .

6. ПОЗИЦИОННЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Позиционные законы регулирования отличаются тем, что для них нет непрерывной зависимости $\varphi(\mu)$. Эта зависимость чаще всего выражается нелинейными функциями.

Соответственно позиционные регуляторы, получив сигнал отклонения регулируемой величины, перемещают регулирующий орган в одно из крайних фиксированных положений.

Релейный позиционный закон регулирования Рп-закон

Рп-закон регулирования (рис. 5) представляет собой зависимость между входом μ и выходом регулятора φ . Аналитически Рп-закон описывают следующими уравнениями:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \text{sign}(\mu - \Delta) \quad \text{при} \quad \frac{d\mu}{dt} > 0 \quad (14)$$

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \text{sign}(\mu + \Delta) \quad \text{при} \quad \frac{d\mu}{dt} < 0 \quad (15)$$

где Δ — половина зоны неоднозначности;
 sign — означает знак бинорма в скобках.

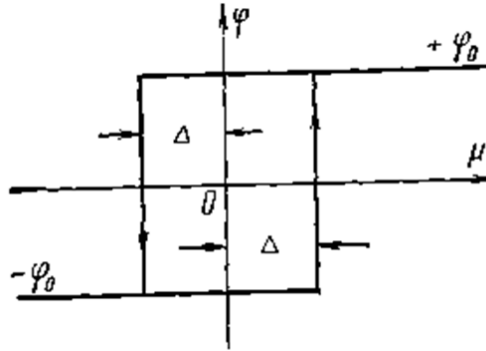


Рис 5. Графическое выражение Рп-закона регулирования

Зоной неоднозначности называется диапазон значений входной координаты регулятора μ , в котором выходная координата φ имеет не менее двух значений. Т.е. при возрастании отклонения параметра до определенного значения μ регулирующий орган скачком изменяет положение от $-\varphi$ до $+\varphi$, а при уменьшении отклонения μ обратное срабатывание от $+\varphi$ до $-\varphi$ происходит с некоторым сдвигом за 2Δ .

Параметрами настройки двухпозиционных регуляторов являются степень открытия регулирующего органа φ и зона неоднозначности 2Δ .

Релейный закон регулирования с постоянной скоростью (Рс-закон)

Рс-закон регулирования (рис. 6) имеет зону нечувствительности 2δ и аналитически может быть выражен следующими уравнениями:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{T_c} \text{sign}(\mu) \quad \text{при} \quad |\mu| > \delta \quad (16)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = 0 \quad \text{при} \quad |\mu| < \delta \quad (17)$$

где T_c — время полного открытия регулирующего органа;
 δ — половина зоны нечувствительности регулятора (рис. 6)

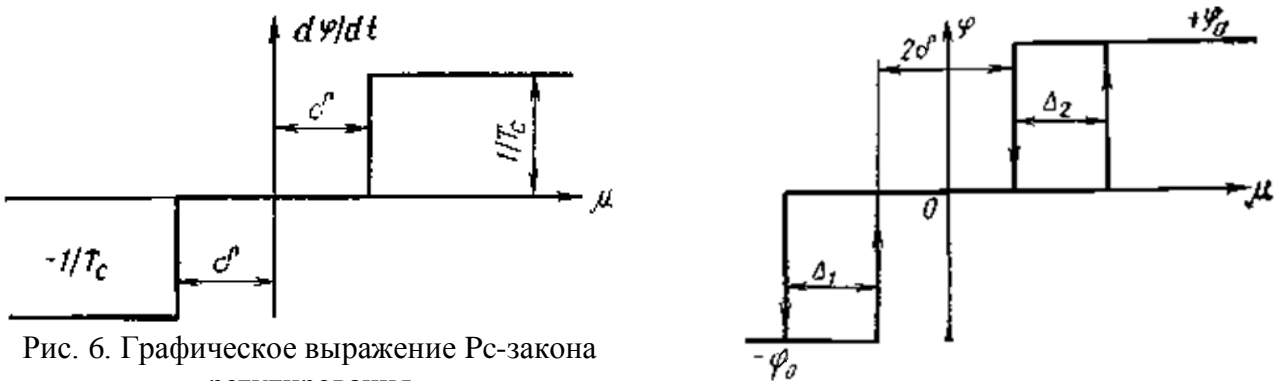


Рис. 6. Графическое выражение Рс-закона регулирования

Рис. 7. Графическое выражение трех-
позиционного регулирования

Зоной нечувствительности 2δ называется диапазон значений μ , в котором скорость открытого регулирующего органа равна нулю.

По Рс-закону регулирующий орган перемещается с постоянной скоростью $\frac{1}{T_c}$ в ту или другую сторону в зависимости от знака отклонения μ , если его абсолютное значение больше δ .

На основе Рп- и Рс-законов можно создать сложные регуляторы, например трехпозиционные (рис. 7), имеющие как зону нечувствительности 2δ , так и зоны неоднозначности Δ_1 и Δ_2 . Аналогично можно составить закон многопозиционного регулирования, по своим характеристикам приближающийся к плавному регулированию.

7. ПРАВИЛА ВЫБОРА ПРИНЦИПА И ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Используя данные об объекте автоматизации — статические и динамические характеристики, сведения о возмущениях, технологические требования к качеству регулирования, можно в каждом конкретном случае на основе выработанных практикой критериев определить закон регулирования и выбрать тип регулятора. Выбор этот является предварительным, а окончательное заключение об устойчивости системы объект — регулятор и точности регулирования делают на основе последующих расчетов.

При выборе и обосновании закона регулирования прежде всего выбирают непрерывное или позиционное регулирование. При этом учитывают, что позиционные регуляторы, как правило, проще по устройству и в эксплуатации и дешевле регуляторов плавного действия. Кроме того, имеют в виду, что непрерывное регулирование может быть реализовано только на объектах, регулируемый орган которых обеспечивает плавное изменение своего положения.

Основное условие выбора принципа регулирования определяется соотношением запаздывания регулирующего воздействия и постоянной времени объекта управления $\frac{\tau}{T}$. Считается, что если $\frac{\tau}{T} < 0,2$, то может быть использовано позиционное регулирование, а при $\frac{\tau}{T} > 1$ требуются особо чувствительные, например импульсные, регуляторы. В промежутке между указанными пределами $0,2 < \frac{\tau}{T} < 1$ применяется плавное регулирование.

Время запаздывания регулирующего сигнала τ в этом случае выражается суммой:

$$\tau = \tau_{p.o} + T_{p.o} + \tau_{o.v} \quad (18)$$

где $\tau_{p.o}$ и $\tau_{o.v}$ — запаздывание в регулирующем органе и объекте управления;
 $T_{p.o}$ — постоянная времени емкостного регулирующего органа.

Постоянная времени — это условное время изменения выходной величины от начального значения до нового установившегося, если бы это изменение происходило с максимальной скоростью для данного переходного процесса.

Постоянная времени характеризует инерционность объекта, под которой понимается его способность замедленно накапливать или расходовать вещество или энергию. Чем больше T , тем медленнее изменяется регулируемый параметр, тем легче работать регулятору. Это оказывается возможным благодаря наличию в составе объекта регулирования сопротивлений и емкостей, препятствующих поступлению и выходу этого вещества или энергии.

Величина T при наличии возмущения определяет продолжительность переходного процесса и крутизну кривой нарастания параметра Y .

Пример. В домашнем холодильнике имеющего малый объем и, следовательно, малую аккумулирующую способность, продолжительность переходного процесса будет меньше, чем у холодильников промышленного типа, имеющих больший объем.

Для многоемкостных объектов постоянная времени объекта управления T равна сумме постоянных времени всех емкостей T_i :

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad (19)$$

При выборе закона непрерывного регулирования руководствуются следующими выработанными практикой положениями:

1) Астатические объекты и статические с малым коэффициентом статизма из условий устойчивости не следует блокировать с И-регулятором.

2) Объекты с большим статизмом могут быть сблокированы со всеми типами регуляторов.

3) При отсутствии значительных запаздываний, плавных возмущениях и отсутствии особых требований ко времени переходного процесса рекомендуется И-закон, в противном случае, если допускается статическая ошибка — П-закон.

4) Когда емкость объекта небольшая, а возмущения резко меняются, вводится предварение — ПД- или ПИД-закон.

5) ПИ-регуляторы применяются для объектов со значительным запаздыванием при плавно меняющихся возмущениях.

6) Если надо увеличить быстродействие, пользуются ПИД-законом, иногда с прерывистым воздействием.