

Автоматические регуляторы и законы регулирования

В системах автоматического регулирования поддержание заданного значения регулируемого параметра или изменение его по определенному закону обеспечивается аппаратными средствами, имеющие общее название – автоматические регуляторы.

По виду регулируемого параметра автоматические регуляторы подразделяются на регуляторы температуры, давления, влажности, разрежения, расхода, состава и т. п.

По характеру изменения регулирующего воздействия автоматические регуляторы подразделяются на регуляторы с линейными и нелинейными законами регулирования.

Примером регуляторов с нелинейным законом регулирования могут служить двухпозиционные регуляторы температуры в холодильных машинах. В трехпозиционных дискретных системах выходной сигнал может принимать три значения: -1, 0, +1, т.е. "меньше", "норма", "больше". Качество работы таких САР выше, хотя их надежность ниже.

Регуляторы с линейным законом регулирования по математической зависимости между входными и выходными сигналами подразделяются на следующие основные виды:

- пропорциональные (П-регуляторы);
- пропорционально-интегральные (ПИ-регуляторы);
- пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-регуляторы).

В зависимости от вида используемой энергии регуляторы подразделяются на электрические (электромеханические, электронные), пневматические, гидравлические и комбинированные.

В СКВ в основном применяются электрические регуляторы. Пневматические и гидравлические регуляторы, как правило, применяются во взрыво- и пожароопасных зонах.

В зависимости от задающего воздействия и параметров объекта регулирования подбирают регулятор с определенной характеристикой W_p [1]. Изменение W_p адекватно ведет к изменению коэффициентов дифференциального уравнения общего передаточного звена (регулятор-объект) и тем самым достигается необходимое качество регулирования. В промышленных регуляторах эти величины называются параметрами настройки. Параметрами настройки являются: коэффициент усиления, зона нечувствительности, постоянная времени интегрирования, постоянная времени дифференцирования и т. д. Для изменения параметров настройки в регуляторах имеются органы настройки (управления).

Кроме органов настройки основных параметров, регуляторы имеют также органы настройки, косвенно влияющие на эти коэффициенты или режимы его работы, например, органы настройки, изменяющие чувствительность регулятора, демпфирование входного сигнала и др.

2.4.1. Пропорциональные регуляторы

Обобщенная структурная схема САР представлена на рис. 2.10.

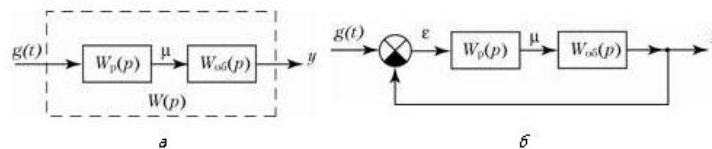


Рис. 2.10. Структурная схема САР: а – разомкнутой системы по каналу задающего воздействия; б – то же, но замкнутой системы

Для системы регулирования, показанной на рис. 2.10, а, ее амплитудно-фазовая характеристика (АФХ) определяется выражением

$$W(j\omega) = W_p(j\omega) \cdot W_{ог}(j\omega), \quad (2.5)$$

где $W_p(j\omega)$ – АФХ регулятора;

$W_{ог}(j\omega)$ – АФХ объекта регулирования.

Если комплексная частотная характеристика регулятора будет

$$W_p(j\omega) = k_p, \quad (2.6)$$

то АФХ всей системы запишется в виде

$$W(j\omega) = k_p \cdot W_{ог}(j\omega). \quad (2.7)$$

Следовательно, при подключении к объекту регулятора с АФХ (2.6) АФХ системы на каждой частоте увеличивается в k_p раз.

Такие регуляторы называются пропорциональными (П-регуляторы) и имеют один параметр настройки – коэффициент передачи k_p .

Переходные процессы в П-регуляторе описываются выражением

$$\mu = k_p \cdot \epsilon, \quad (2.8)$$

где ϵ – входное воздействие на регулятор, равное отклонению регулируемой величины от заданного значения;

μ – воздействие регулятора на объект, направленное на ликвидацию отклонения регулируемой величины от заданного значения.

На рис. 2.11. приведен пример контура регулирования температуры приточного воздуха в канальном кондиционере. Температура воздуха поддерживается водяным калорифером, через который пропускается теплоноситель. Воздух, проходя через калорифер, нагревается. Температура воздуха после водяного калорифера измеряется датчиком (Т), далее эта величина поступает на устройство сравнения (УС) измеренного значения температуры ($T_{изм}$) и заданного ($T_{зад}$). В зависимости от разности между температурой уставки и измеренным значением температуры регулятор (Р) вырабатывает сигнал, воздействующий на исполнительный механизм (М – электропривод трехходового клапана). Электропривод открывает или закрывает трехходовой клапан до положения, при котором ошибка $\epsilon = T_{зад} - T_{изм}$ будет стремиться к нулю.

Выходным сигналом регулятора может быть напряжение в определенном диапазоне (например, постоянное напряжение в диапазоне от 0 до 10 В, ток 0–20 мА и т. д.).

Диапазон изменения выходного сигнала называется диапазоном регулирования (рис. 2.12). Диапазон изменения сигнала ошибки называют пропорциональным диапазоном.

В П-регуляторах имеется возможность изменять диапазон регулирования и пропорциональный диапазон.

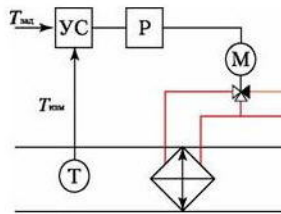


Рис. 2.11. Контур регулирования температуры приточного воздуха в канале центрального кондиционера

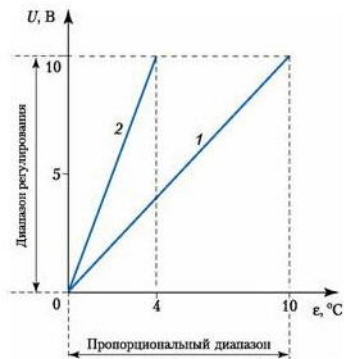


Рис. 2.12. График пропорционального регулирования

Из графика (рис. 2.12.) видно, что чем меньше пропорциональный диапазон, тем круче характеристика регулирования. Кривая (1) соответствует диапазону изменения температуры 0–10 °С, а кривая (2) – диапазону 0–4°С.

$$\frac{\Delta U}{\epsilon}$$

Величина $k_p = \frac{\Delta U}{\epsilon}$ есть коэффициент регулирования. В первом случае $k_p = 1$, а во втором $k_p = 2,5$.

При больших значениях k_p в контуре регулирования могут возникнуть колебания (рис.2.13.). Так, если во время включения системы температура воздуха $T_{изм}$ ниже заданной температуры $T_{зад}$, устройство управления выдает большой сигнал на открытие трехходового клапана. Температура водяного калорифера и приточного воздуха начнет повышаться.

Когда температура приточного воздуха после водяного калорифера достигает $T_{зад}$, устройство управления выдает команду на закрытие трехходового клапана (точка t_1 , рис. 2.13).

Однако из-за того, что калорифер разогрет, температура приточного воздуха до момента t_2 еще будет расти, а затем начнет снижаться. Этот процесс имеет вид затухающих колебаний, и через определенное время (t_3) процесс стабилизируется.

После стабилизации из-за инерционности системы всегда будет существовать статическая ошибка $\Delta_{ст} = T_{зад} - T_{изм}$.

Сигнал на выходе устройства управления будет иметь вид

$$y(t) = U_0 + k_p \cdot \epsilon, \quad (2.9)$$

где U_0 – сигнал на выходе устройства управления при $\epsilon = 0$.

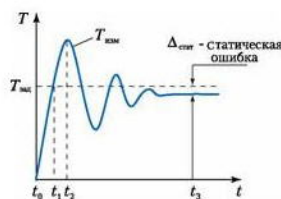


Рис. 2.13. Переходной процесс при пропорциональном (П) регулировании

Чем большим выбран пропорциональный диапазон регулирования, тем большей будет величина статической ошибки. При малой величине пропорционального диапазона увеличивается время переходных процессов, и при некоторых условиях может возникнуть автоколебательный (незатухающий) процесс в контуре регулирования.

Путем выбора параметров регулирования П-регулятора можно существенно уменьшить установившуюся ошибку регулирования, однако ее полное устранение не представляется возможным даже теоретически.

Из рис. 2.11. видно, что в цепочке регулирования в реальном регуляторе установлено еще одно звено – исполнительный механизм (М). В данном случае – это электродвигатель привода трехходового клапана. Электрический привод является интегрирующим звеном и его влияние по возможности уменьшают, используя обратные связи. Это связано с тем, что динамические свойства участка, охваченного обратной связью, независит от динамических свойств прямого участка, а определяются в основном динамическими свойствами звена обратной связи. Эта особенность широко используется на практике при разработке автоматических регуляторов.

Исходя из этого, для устранения влияния исполнительного механизма его необходимо охватить отрицательной обратной связью. Для повышения коэффициента передачи прямого канала отрицательной обратной связью нужно охватить и усилительное звено регулятора. Такие П-регуляторы, называемые позиционерами, можно представить в виде последовательного соединения собственно П-регулятора и некоторого балластного звена с постоянной времени T_6 .

На рис. 2.14 представлена структурная схема П-регулятора, а на рис. 2.15 – реализуемый ею закон регулирования.

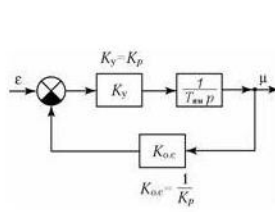


Рис. 2.14. Структурная схема П-регулятора

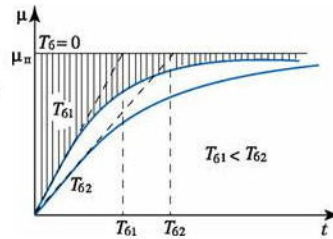


Рис. 2.15. Закон П-регулирования

Параметром настройки регулятора является коэффициент передачи устройства обратной связи $K_{осс}$. Коэффициент передачи регулятора $K_П$ тем больше, чем меньше $K_{осс}$. Однако следует иметь в виду, что чем больше $K_П$, тем больше постоянная времени балластного звена и тем больше искажается идеальный закон П-регулирования.

2.4.2. Пропорционально-интегральные регуляторы

Статическую ошибку, возникающую при пропорциональном регулировании, можно исключить, если кроме пропорционального ввести еще и интегральное звено. Последнее образуется путем постоянного суммирования ϵ за определенный промежуток времени формирования сигнала управления, пропорционального полученной величине.

Математически этот процесс может быть описан следующей зависимостью:

$$\mu = k_i \int_0^t \epsilon z dt, \quad (2.10)$$

где $k_i = 1/T_i$ – коэффициент пропорциональности интегральной составляющей, а T_i – постоянная времени интегрирования, параметр настройки регулятора.

Если $k_i \neq 0$, то даже при незначительных отклонениях регулируемой величины сигнал со временем может достичь любой величины, что приведет к перемещению регулирующего органа до момента, пока ϵ не станет равным 0.

Рассмотрим физический смысл постоянной времени интегрирования. Предположим, что на вход регулятора поступил сигнал $\epsilon = \epsilon_0$, а пропорциональная составляющая отсутствует ($k_П = 0$). При этом выходной сигнал в соответствии (2.10) будет меняться по закону $\mu = \epsilon_0 \cdot t/T_i$. По истечении времени $t = T_i$ значение выходного сигнала будет равно $\mu = \epsilon_0$ (рис. 2.16, а).

Таким образом, постоянная времени интегрирования в И-регуляторе равна времени, в течение которого с момента поступления на вход регулятора постоянного сигнала сигнал на выходе регулятора достигнет значения, равного значению входного сигнала.

Переходной процесс в И-регуляторе показан на рис. 2.16, б. Устраняя статическую ошибку интегральный регулятор, однако, ухудшает качество переходного процесса. Поэтому на практике применяют комбинированные ПИ-регуляторы.

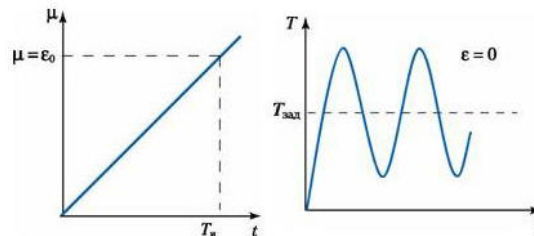


Рис. 2.16. Закон регулирования (а) и переходной процесс (б) при интегральном (И) регулировании

При этом используется как параллельное соединение пропорционального и интегрального звена (рис. 2.17, а), так и последовательного (рис. 2.17, б).

ПИ-регулятор оказывает воздействие на регулирующий орган пропорционально отклонению и интегралу от отклонения регулируемой величины

$$\mu = k_p \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt \quad (2.11)$$

Передаточная функция ПИ-регулятора (по схеме, рис. 2.17, а):

$$W_{\text{ПИ}}(p) = k_p + \frac{1}{T_i p} \quad (2.12)$$

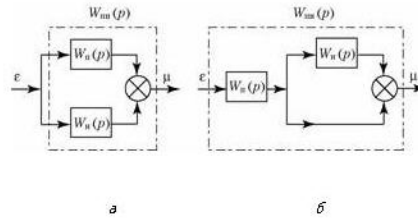


Рис. 2.17. Структурная схема идеальных ПИ-регуляторов: а – с передаточной функцией (2.12); б – с передаточной функцией (2.14)

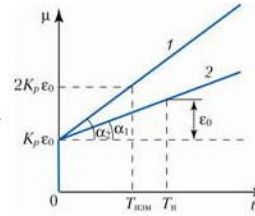


Рис. 2.18. Закон ПИ-регулирования регуляторов 1 – с передаточной функцией (2.12) 2 – с передаточной функцией (2.14)

При скачкообразном изменении регулируемой величины на значение ε_0 ПИ-регулятор со скоростью, определяемой быстродействием привода, перемещает исполнительный механизм на величину $(k_p \cdot \varepsilon_0)$, после чего исполнительный механизм дополнительно перемещается в ту же сторону со скоростью ε_0/T_i пропорциональной отклонению регулируемой величины. Следовательно, в ПИ-регуляторе при отклонении регулируемой величины от заданного значения мгновенно срабатывает пропорциональная (статическая) составляющая регулятора, а затем постепенно увеличивается интегральная (астатическая) составляющая регулятора.

Переходная характеристика ПИ-регулятора с передаточной функцией (2.12) показана на рис. 2.18 (прямая 1).

Параметрами настройки являются независимые друг от друга коэффициенты усиления k_p и постоянная времени интегрирования T_i .

Схема на рис. 2.17, б реализует закон регулирования

$$\mu = k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_{из}} \int_0^t \varepsilon dt \right) \quad (2.13)$$

где $T_{из}$ – постоянная времени изодрома.

Передаточная функция ПИ-регулятора по схеме рис. 2.17, б:

$$W_{\text{ПИ}}(p) = k_p \cdot \frac{T_{из} \cdot p + 1}{T_{из} \cdot p} \quad (2.14)$$

Таким образом, ПИ-регулятор со структурной схемой, приведенной на рис. 2.17, б, имеет взаимосвязанные параметры настройки статической и астатической частей по коэффициенту k_p . Так, при настройке коэффициента усиления k_p будет изменяться и постоянная времени интегрирования:

$$T_i = T_{из} / k_p \quad (2.15)$$

Рассмотрим физический смысл постоянной времени изодрома $T_{из}$. Предположим, что на вход регулятора поступил постоянный сигнал ε_0 . Тогда выражение (2.13) преобразуется к виду

$$\mu = k_p \varepsilon_0 (1+t/T) \quad (2.16)$$

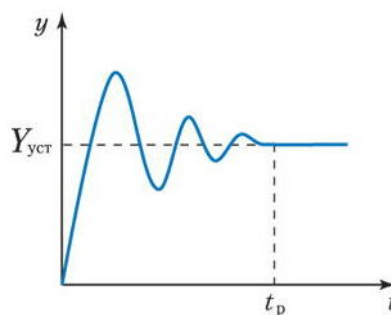


Рис. 2.19. Переходной процесс при пропорционально-интегральном (ПИ) регулировании

При поступлении на вход регулятора сигнала ε_0 в начальный момент работает пропорциональная составляющая и на выходе регулятора появится сигнал $\mu_1 = k_p \varepsilon_0$. В дальнейшем по закону (2.16) линейно начинает нарастать выходной сигнал от интегральной составляющей и при $t = T_{из}$ достигнет значения $\mu_2 = 2k_p \varepsilon_0$.

Таким образом, $T_{из}$ – это время, в течение которого от начала действия интегральной (астатической) составляющей регулятора пропорциональная (статическая) составляющая удваивается.

Переходной процесс при ПИ-регулировании показан на рис. 2.19.

Варианты структурных схем ПИ-регуляторов приведены на рис. 2.20, а их особенности можно найти в [2].

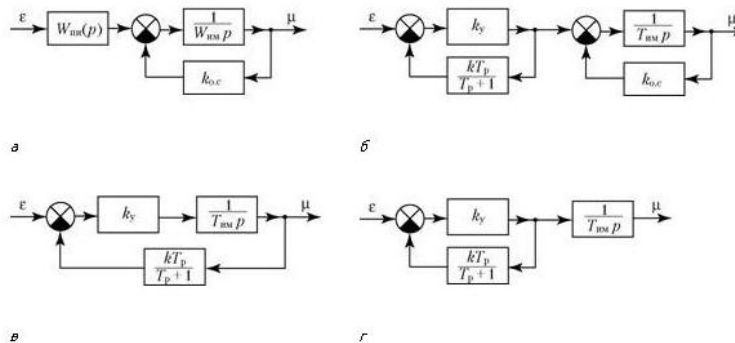


Рис. 2.20. Структурные схемы промышленных ПИ-регуляторов

2.4.3. Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы

П- и ПИ-регуляторы не могут предупредить ожидаемое отклонение регулируемой величины, реагируя только на уже имеющееся отклонение. Возникает необходимость в регуляторе, который выработал бы дополнительное регулирующее воздействие, пропорциональное скорости отклонения регулируемой величины от заданного значения

$$\mu_{\dot{\varepsilon}} = T_{\dot{\varepsilon}} \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.17)$$

Такое регулирующее воздействие используется в дифференциальных и ПИД-регуляторах. ПИД-регуляторы воздействуют на объект пропорционально отклонению ε регулируемой величины, интегралу от этого отклонения и скорости изменения регулируемой величины:

2.4.3. Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы

П- и ПИ-регуляторы не могут предупредить ожидаемое отклонение регулируемой величины, реагируя только на уже имеющееся отклонение. Возникает необходимость в регуляторе, который выработал бы дополнительное регулирующее воздействие, пропорциональное скорости отклонения регулируемой величины от заданного значения

$$\mu_{\dot{\varepsilon}} = T_{\dot{\varepsilon}} \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.17)$$

Такое регулирующее воздействие используется в дифференциальных и ПИД-регуляторах. ПИД-регуляторы воздействуют на объект пропорционально отклонению ε регулируемой величины, интегралу от этого отклонения и скорости изменения регулируемой величины:

$$\mu = k_{\varepsilon} \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_{\int}} \int_0^t \varepsilon dt + T_{\dot{\varepsilon}} \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.18)$$

По возможности ПИД-регуляторы являются универсальными. Используя их, можно получить любой закон регулирования. Структурная схема и закон регулирования идеального ПИД-регулятора приведены на рис. 2.21.

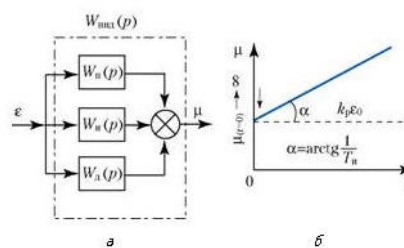


Рис. 2.21. Структурная схема ПИД-регулятора (а) и закон ПИД-регулирования (б)

При скачкообразном изменении регулируемой величины ПИД-регулятор в начальный момент времени оказывает мгновенное бесконечно большое воздействие на объект регулирования, затем величина воздействия резко падает до значения, определяемого пропорциональной составляющей, после чего постепенно начинает оказывать влияние интегральная составляющая регулятора. Переходной процесс при этом (рис. 2.22) имеет минимальные отклонения по амплитуде и по времени.

Параметры настройки ПИД-регуляторов являются коэффициент пропорциональности регулятора k_p , постоянная времени интегрирования T_{\int} и постоянная времени дифференцирования $T_{\dot{\varepsilon}}$.

Структурные схемы промышленных ПИД-регуляторов, а также их характеристики описаны в [2].

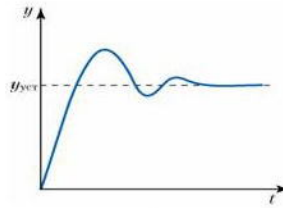


Рис. 2.22 Переходной процесс при ПИД-регулировании

2.4.4. Автоматическое регулирование на основе нечеткой логики

В последнее время для управления системами кондиционирования воздуха активно развивается принципиально новые законы регулирования, получившие название "нейротехнология" и нечеткая логика" (Neuro&Fuzzy logic).

Нейротехнология – это новая технология управления, в которой в качестве модели используется нейронная система.

Данный способ заключается в использовании параметров PMV (Predicted Mean Voice – предсказанное усредненное голосование), определяющих для человека комфорт окружающей среды по величине индексов дискомфорта D_n .

Система измеряет температуру в помещении и автоматически выбирает режим работы. Выбор основывается на практическом анализе – за эталон берутся стандартные предпочтения людей, пользующихся системой. Величины D_n отражают уровни различных факторов, от значения которых зависит комфорт человека: температура, влажность, интенсивность воздушных потоков, тип одежды (летняя/зимняя) и др.

Приведен пример учета воздействия влажности на состояние человека.

Ощущение теплоты или прохлады является следствием не только температуры воздуха, но его влажности. Температура воздуха 26°C и влажность 50-60% считаются комфортными летом, тогда как температура 22°C будет комфортной зимой. Однако даже температура 29 °С будет находиться в зоне комфортности, если влажность составляет 50%, тогда как эта же температура при влажности 70% будет казаться высокой и вызывать ощущение "жаркости". Для оценки совместного влияния температуры и влажности на ощущение дискомфорта введен индекс:

$$D_n = 0,72(t_c + t_{вл}) + 40,6 \quad (2.19)$$

где t_c – температура сухого термометра;

$t_{вл}$ – температура влажного термометра.

Таблица 2.2. Таблица степени дискомфорта

Индекс дискомфорта D_n	Степень дискомфорта
70 или менее	Комфортно
70–75	Некоторые люди чувствуют себя некомфортно
75–80	50% людей чувствуют себя некомфортно
80–85	Все чувствуют себя некомфортно
86 и более	Невыносимый дискомфорт

Такой подход хорошо согласуется с логической системой обработки информации "нечеткая логика" (fuzzy logic), которая применяется в нечетких логических регуляторах (НЛР). Нечеткая логика имеет преимущества по сравнению с использованием ПИД-регуляторов при обработке очень сложных процессов, нелинейных процессов высоких порядков, обработке экспертных (лингвистически сформулированных) данных.

Нечеткая логика оперирует не цифровыми, а лингвистическими понятиями.

Ключевыми понятиями нечеткой логики являются:

- фаззификация – преобразование множества значений аргумента (x) в некоторую функцию принадлежности $M(x)$, т. е. перевод значений (x) в нечеткий формат;
- дефаззификация – процесс обратный фаззификации.

Системы с нечеткой логикой функционируют по следующему принципу: показания измерительных приборов фаззифицируются (переводятся в нечеткий формат), обрабатываются, дефаззифицируются и затем в виде обычных сигналов подаются на исполнительные устройства.

Рассмотрим принцип управления холодопроизводительностью кондиционера с использованием нечеткой логики.

Холодопроизводительность, которую должен обеспечить кондиционер, определяется разностью между температурой в помещении и температурой, которую мы хотели бы получить (температура уставки). Эта переменная лингвистически может быть сформулирована как "разность температур" и принимать значения "малая", "средняя" и "большая". Естественно, чем больше разность температур в данный момент, тем больше должна быть холодопроизводительность.

Второй лингвистической переменной определим "скорость изменения температуры" в помещении, которой также дадим лингвистические значения "малая", "средняя" и "большая". Если скорость изменения температуры большая, то требуется большая холодопроизводительность. По мере приближения температуры в помещении к температуре уставки скорость изменения температуры в помещении будет уменьшаться, а холодопроизводительность кондиционера снижаться.

Холодопроизводительность является выходной переменной, которой присваиваются следующие термы: "очень малая", "малая", "средняя", "большая" и "очень большая".

Связь между входом и выходом занесем в таблицу нечетких правил.

Скорость изменения температуры	Разность температур		
	малая	средняя	большая
малая	очень малая	малая	средняя
средняя	малая	средняя	большая
большая	средняя	большая	очень большая

Таблица 2.3. Зависимость холодопроизводительности от разности температур и скорости ее изменения

Каждая запись соответствует своему нечеткому правилу. Например, если разность температур средняя, а скорость изменения большая, то холодопроизводительность должна быть большая.

Кондиционер с нечеткой логикой работает по следующему принципу: сигналы от датчиков будут фазифицированы, обработаны, дефазифицированы и полученные данные в виде сигналов поступят на частотный регулятор двигателя компрессора, скорость вращения которого (ω , следовательно, и производительность) будут меняться в соответствии со значением функции принадлежности.

Построим две функции принадлежности. В одном случае аргументом является разность температур (Δt) (рис.2.23), а во втором – скорость изменения температуры (V_t) (рис.2.24). Для первой функции диапазон температур составляет от 0 до 30 К, для второй – от 0 до 0,3К/мин.

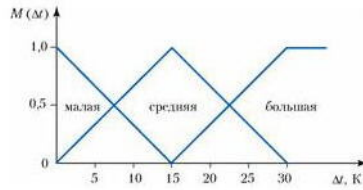


Рис. 2.23. Функция принадлежности для лингвистического аргумента "разность температур"

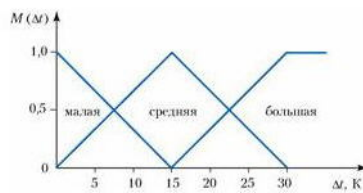


Рис. 2.4. Функция принадлежности для лингвистического аргумента "скорость изменения температуры"

Результат совместного влияния двух функций принадлежности $M_{\Sigma} = f[M(\Delta t), M(V_t)]$ на значение выходного параметра "холодопроизводительность" определяется соответствующей программой, заложенной в логическое устройство. Учитывая, что холодопроизводительность пропорциональна частоте вращения компрессора, можно построить зависимость результирующей функции принадлежности M_{Σ} от частоты вращения компрессора, придав лингвистическим термам скорость вращения компрессора с рангом 1,0 следующие значения (рис.2.25): малая – 37 Гц; средняя – 62 Гц; большая – 87 Гц; очень большая – 115 Гц.

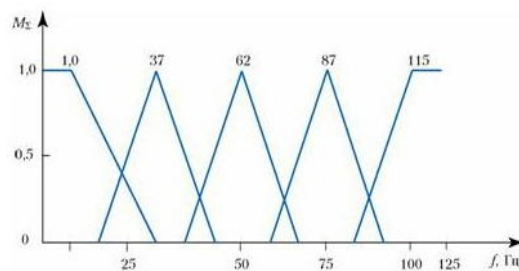


Рис. 2.25. Зависимость параметра "частота вращения компрессора" от значения суммарной функции принадлежности

Таким образом, найдя лингвистическим методом суммарную функцию принадлежности, после дефазификации можно перейти к четкому значению выходного параметра – частоте вращения компрессора или холодопроизводительности.

Микроконтроллер, реализующий нечеткую логику, содержит в своем составе следующие составные части: блок фазификации, базу знаний, логическое устройство, блок дефазификации (рис. 2.26).



Рис. 2.26. Блок-схема микроконтроллера, реализующего нечеткую логику

Блок фаззификации преобразует четкие величины, измеренные на выходе объекта управления, в нечеткие величины, описываемые лингвистическими переменными.

Логическое устройство использует нечеткие условные правила, заложенные в базе данных, для преобразования нечетких входных данных в управляющие воздействия, которые также носят нечеткий характер.

Блок дефаззификации преобразует нечеткие данные с выхода блока решений в четкую величину, которая используется для управления объектом.

В системе управления "FuzzyLogic" температура установки постоянно корректируется, исходя из текущих значений температуры и влажности помещения.

Колебания температуры уменьшаются даже по сравнению с ПИД-регуляторами (рис. 2.27).

Поддерживаемая температура в помещении находится на уровне минимального допуска, благодаря чему снижается энергопотребление.

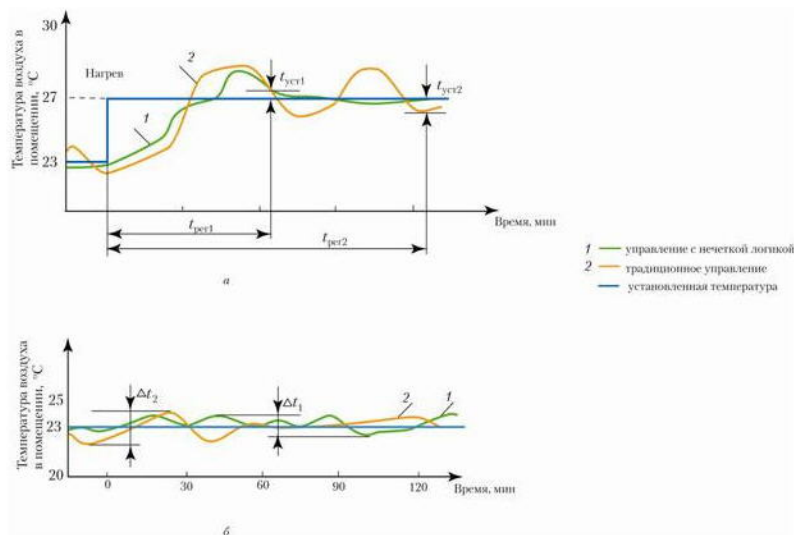


Рис. 2.27. Графики изменения температуры в помещении а — кривая разгона; б — изменение температуры в помещении

Таким образом, управление кондиционером с применением нечетких логических регуляторов обеспечивает:

- изменение температуры в соответствии с санитарными нормами (отсутствие резкого перепада температур в помещении, поддержание допустимой скорости потока воздуха и др.);
- установку необходимой холодопроизводительности;
- выбор режима работы и уставку температуры, исходя из температуры и влажности в помещении;
- выбор оптимального (комфортного) распределения и интенсивности потока воздуха;
- минимальное время выхода на заданный режим;
- уменьшение расхода электроэнергии на 20–40%.

Литература:

1. Общие положения автоматического управления системами кондиционирования и вентиляции. Ничин Г. В. и др., СОК, — 2005. — №7. — с. 26–30.
2. Настройка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие /А. С. Клюев, А. Т. Лебедев, С. А. Клюев, А. Г. Товарнов; Под ред. А. С. Клюева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. —386 с.: ил.
3. Бондар Ю. С. Передові технології в керуванні кондиціонерами // Холод, н.т. — 2004. — № 4. — с. 38-39.