Тема 2. Автоматические регуляторы, их классификация. Примеры синтеза классических регуляторов в программных средах современных промышленных контроллеров. Управление с применением нечеткой логики и нечетких интервалов для повышения эффективности функционирования процессов производства энергии(2 часа)

При управлении ветрогенераторами, для моделирования поведения которых возможно применить аналитическую модель в виде того или иного вида дифференциального уравнения, можно воспользоваться промышленными регуляторами, используемыми для синтеза систем автоматического управления. Рассмотрим виды (типы) классических регуляторов.

Регулятором является совокупность искусственно вводимых в САУ элементов, предназначенных для формирования управляющих воздействий. Управляющие воздействия формируются на основе информации о задающих воздействиях, управляемых величинах, переменных состояния и внешних воздействиях.

Управление различными процессами и их параметрами является главной областью применения регулирующих устройств, которые могут быть представлены в форме отдельных регулирующих приборов или программных регуляторов. Техника регулирования является важнейшей областью традиционной техники управления и автоматизации. Таким образом, регулирование – это действия, направленные на поддержание заданного (постоянного) значения управляемой величины.

Автоматические регуляторы классифицируются по назначению, принципу действия, конструктивным особенностям, виду используемой энергии, характеру изменения регулирующего воздействия и т.д. Обзор различных регуляторов представлен на рис. 2.1.

Следует отметить, что регуляторы прямого действия не используют внешнюю энергию для процессов управления, а используют регулируемой среды, в регуляторах непрямого действия для работы требуется внешний источник энергии.

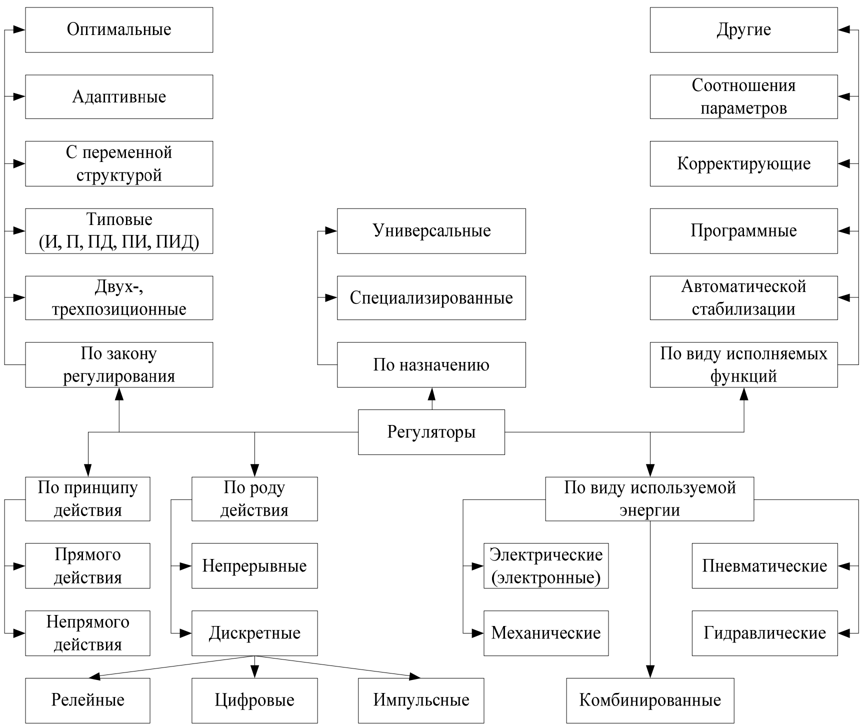


Рисунок 2.1 Классификация регуляторов

Выбор регулятора по виду используемой энергии определяется характером объекта регулирования и особенностями автоматической системы. По назначению регуляторы подразделяются на специализированные и универсальные с нормированными входными и выходными сигналами и пригодные для управления различными параметрами.

Термин «закон управления» перешел в теорию управления из классической теории. Под законом понимают математическую зависимость, по которой управляющее устройство воздействовало бы на объект, если бы оно было безынерционным. Таким образом, «закон» – это идеализированный алгоритм управления. Фактический алгоритм управления будет несколько отличаться от «закона» за счет динамических искажений в управляющем устройстве.

Но так как во многих промышленных регуляторах инерционность весьма мала в сравнении с инерционностью объекта, алгоритм управления в них близок к «закону», и этим термином широко пользуются. Эти законы получили название типовых и реализуются с помощью регуляторов. Наиболее часто используются следующие регуляторы.

П-регулятор реализует пропорциональный закон управления по отклонению:

$$u = K_p \varepsilon, \qquad (2.1)$$

где K_p – коэффициент передачи регулятора (параметр настройки);

$\varepsilon = g - y$ – отклонение (рассогласование) системы.

Это наиболее простой закон регулирования. Он применяется, если к САУ предъявляются невысокие качественные требования.

Д-регулятор реализует дифференциальный закон управления:

$$u = T_\partial \frac{d\varepsilon}{dt}, \qquad (2.2)$$

где T_∂ – постоянная времени (параметр настройки).

И-регулятор реализует интегральный закон управления:

$$u = \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau, \qquad (2.3)$$

где T_u – время изодрома (параметр настройки). «Д» и «И» законы управления обычно используются в более сложных, комбинированных законах управления.

ПИ-регулятор реализует пропорционально-интегральный закон управления:

$$u = K_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau \right). \qquad (2.4)$$

Регуляторы этого типа относятся к наиболее распространенным и используются в тех случаях, когда требуется нулевая ошибка САУ при постоянных по величине воздействиях. Иногда его называют пропорциональным законом с интегральной коррекцией.

ПД-регулятор реализует пропорционально-дифференциальный закон управления:

$$u = K_p \left(\varepsilon + T_\partial \frac{d\varepsilon}{dt} \right). \qquad (2.5)$$

ПД-закон управления придает регулятору прогнозирующие свойства, что улучшает качество САУ при изменяющихся во времени воздействиях.

ПИД-регулятор реализует пропорционально-интегрально-дифференциальный закон управления:

$$u = K_p\left(\varepsilon + \frac{1}{T_u}\int_0^t \varepsilon(\tau)d\tau + T_\partial \frac{d\varepsilon}{dt}\right). \qquad (2.6)$$

Этот тип регулятора является самым распространенным на практике регуляторов. ПИД-регулятор обладает наиболее широкими возможностями по приданию системе управления требуемых свойств по сравнению с предыдущими типами автоматических регуляторов. Он применяется в тех случаях, когда необходимо получить качественную систему автоматического управления без больших затрат на проведение исследований по синтезу более сложного закона управления. Однако, являясь самым сложным из описанных законов управления, он требует более тщательной настройки параметров под конкретный объект управления.

Регуляторы, в смысле собственно регулирования, есть функциональные элементы, которые в зависимости от измеренной технически (сенсором) величины процесса воздействуют по математически точному правилу на физическую величину в замкнутом контуре с помощью активного органа. Практически регуляторы содержат не только вычислительное правило (алгоритм), но имеют и ряд управляющих функций для обслуживания, наблюдения, обеспечения безопасности и возможностей переключений в контуре управления.

Для синтеза кроме известных программных средств используется программное обеспечение Step 7 MicroWin.

Команда «PID-регулятор» выполняет расчет контура PID-регулятора для заданного контура регулирования LOOP с помощью данных о входных величинах и конфигурации в таблице (TBL).

Команда «PID-регулятор» (пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор) предназначена для расчета PID-регуляторов. Чтобы эти расчеты можно было выполнять, вершина логического стека (TOS) должна быть активизирована (поток сигнала). Команда имеет два операнда: TABLE, являющийся начальным адресом таблицы с данными контура регулирования, и LOOP – номер контура регулирования, являющийся константой от 0 до 7 рис. 2.2.

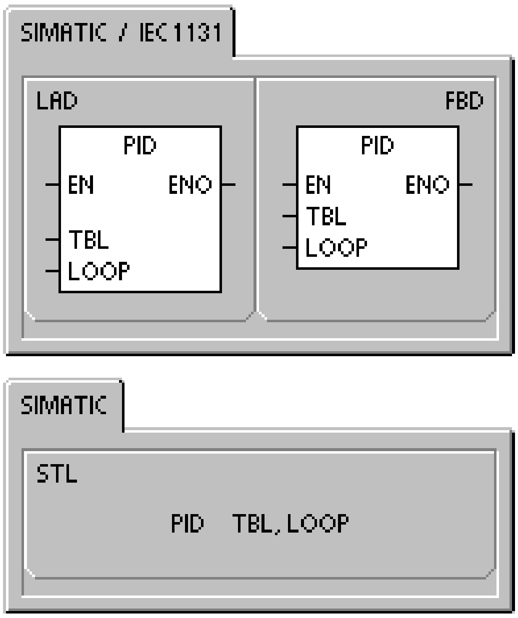


Рисунок 2.2 Команда ПИД-регулятора

В программе можно использовать до восьми команд PID. Если две или более команд PID используются с одним и тем же номером контура регулирования (даже если у них разные номера таблиц), то расчеты PID-регуляторов будут влиять друг на друга, и выход будет непредсказуемым.

Таблица контура регулирования хранит девять параметров, используемых для управления и контроля за работой контура регулирования. Сюда входят текущее и предыдущее значение регулируемой переменной (фактическое значение), заданное значение, регулирующее воздействие (выход), коэффициент усиления, период квантования, постоянная времени интегрирования (или время интегрирования), постоянная времени воздействия по производной (скорость) и интегральная сумма (смещение).

Для выполнения расчета PID-регулятора с желаемым временем квантования команда PID-регулятор должна выполняться или из программы обработки прерывания по времени, или из главной программы со скоростью, управляемой таймером. Время квантования должно подаваться как вход в команду PID-регулятор через таблицу контура регулирования.

В команду PID-регулятор встроена возможность автоматической настройки. В установившемся режиме PID-регулятор управляет своим выходом (регулирующим воздействием) таким образом, чтобы свести ошибку регулирования (e) к нулю. Мерой ошибки является разность между заданным значением (setpoint, SP) и значением регулируемой переменной (processvariable, PV) (фактическое значение).

Принцип PID-регулятора основан на следующем уравнении, которое выражает регулирующее воздействие M(t) как функцию пропорциональной составляющей, интегральной составляющей и дифференциальной составляющей, как показано на рис. 2.3.

Чтобы реализовать эту функцию управления в цифровой вычислительной машине, должно быть выполнено квантование непрерывной функции в соответствии с периодическими замерами значения ошибки с последующим расчетом регулирующего воздействия. Соответствующее уравнение, являющееся основой для решения на цифровой вычислительной машине, имеет вид, показанный на рис. 2.4.

Выход (регулирующее воздействие)	=	Пропорциональная составляющая	+	Интегральная составляющая	+	Дифференциальная составляющая
M(t)	=	$K_C * e$	+	$K_C \int_0^t e\,dt + M_{нач}$	+	$K_C * de/dt$

где:

	$M(t)$	- регулирующее воздействие (выход регулятора) как функция времени
	K_C	- коэффициент усиления контура регулирования
	e	- ошибка регулирования (разность между заданным значением и регулируемой переменной)
	$M_{нач}$	- начальное значение регулирующего воздействия

Рисунок 2.3Принцип PID-регулятора

M_n	=	$K_c * e_n$	+	$K_I * \sum_1^n e_x + M_{нач}$	+	$K_D * (e_n - e_{n-1})$
Выход (регулирующее воздействие)	=	Пропорциональная составляющая	+	Интегральная составляющая	+	Дифференциальная составляющая

где:

	M_n	- расчетное значение регулирующего воздействия в момент квантования n
	K_C	- коэффициент усиления контура регулирования
	e_n	- значение ошибки регулирования в момент квантования n
	e_{n-1}	- предыдущее значение ошибки регулирования (в момент квантования n - 1)
	K_I	- коэффициент пропорциональности интегральной составляющей
	$M_{нач}$	- начальное значение регулирующего воздействия
	K_D	- коэффициент пропорциональности дифференциальной составляющей

Рисунок 2.4 Уравнение, являющееся основой для решения на цифровой вычислительной машине

Из уравнения на рис. 2.4 следует, что интегральная составляющая является функцией всех составляющих ошибки от первого до текущего отсчета. Дифференциальная составляющая является функцией текущего и предыдущего отсчета, тогда как пропорциональная составляющая является функцией только текущего отсчета.

В цифровой вычислительной машине нецелесообразно хранить все отсчеты ошибки регулирования, да в этом и нет необходимости. Так как компьютер должен вычислять регулирующее воздействие каждый раз, как опрашивается значение ошибки, начиная с первого отсчета, то необходимо сохранять только предыдущее значение ошибки и предыдущее значение интегральной составляющей. Как результат повторяющейся природы компьютерного решения, может быть получено упрощение уравнения, подлежащего решению в каждый момент квантования. Упрощенное уравнение имеет вид, показанный на рис. 2.5.

M_n	=	K_c * e_n	+	K_I * e_n + MX	+	K_D * (e_n-e_{n-1})
Выход (регулирующее воздействие)	=	Пропорциональная составляющая	+	Интегральная составляющая	+	Дифференциальная составляющая

где:
- M_n - расчетное значение регулирующего воздействия в момент квантования n
- K_C - коэффициент усиления контура регулирования
- e_n - значение ошибки регулирования в момент квантования n
- e_{n-1} - предыдущее значение ошибки регулирования (в момент квантования n - 1)
- K_I - коэффициент пропорциональности интегральной составляющей
- MX - предыдущее значение интегральной составляющей (в момент квантования n - 1)
- K_D - коэффициент пропорциональности дифференциальной составляющей

Рисунок 2.5 Упрощенное уравнение

S7–200 использует модифицированную форму упрощенного выше уравнения при расчете регулирующего воздействия. Это модифицированное уравнение имеет вид, показанный на рис. 2.6.

M_n	=	MP_n	+	MI_n	+	MD_n
Выход (регулирующее воздействие)	=	Пропорциональная составляющая	+	Интегральная составляющая	+	Дифференциальная составляющая

где:
- M_n - расчетное значение регулирующего воздействия в момент квантования n
- MP_n - значение пропорциональной составляющей регулирующего воздействия в момент квантования n
- MI_n - значение интегральной составляющей регулирующего воздействия в момент квантования n
- MD_n - значение дифференциальной составляющей регулирующего воздействия в момент квантования n

Рисунок 2.6 Модифицированное уравнение

Пропорциональная составляющая в уравнении PID-регулятора.

Пропорциональная составляющая MP – это произведение коэффициента усиления (KC), определяющего точность расчета регулирующего воздействия, и ошибки регулирования (e), представляющей собой разность между заданным значением (SP) и регулируемой переменной (PV) в данный момент квантования. Уравнение для пропорциональной составляющей, решаемое S7–200, имеет вид, показанный на рис. 2.7.

$$MP_n = K_C * (SP_n - PV_n)$$

где: MP_n - значение пропорциональной составляющей регулирующего воздействия в момент квантования n

K_C - коэффициент усиления контура регулирования

SP_n - заданное значение регулируемой величины в момент квантования n

PV_n - значение регулируемой переменной в момент квантования n

Рисунок 2.7 Уравнение для пропорциональной составляющей, решаемое S7–200

Интегральная составляющая в уравнении PID-регулятора.

Интегральная составляющая MI пропорциональна сумме ошибок за все время управления. Уравнение для интегральной составляющей, решаемое S7–200, имеет вид, показанный на рис. 2.8.

$$MI_n = K_C * T_S / T_I * (SP_n - PV_n) + MX$$

где: MI_n - значение интегральной составляющей регулирующего воздействия в момент квантования n

K_C - коэффициент усиления контура регулирования

T_S - период квантования контура регулирования

T_I - постоянная времени интегрирования контура регулирования (называемая также временем интегрирования)

SP_n - заданное значение регулируемой величины в момент квантования n

PV_n - значение регулируемой переменной в момент квантования n

MX - значение интегральной составляющей в момент квантования n – 1 (называемое также интегральной суммой или смещением)

Рисунок 2.8 Уравнение для интегральной составляющей, решаемое S7–200

Интегральная сумма или смещение (MX) – это текущая сумма всех предыдущих значений интегральной составляющей. После каждого расчета MIn смещение обновляется значением MIn, которое может быть согласовано или ограничено. Начальное значение смещения обычно устанавливается равным значению регулирующего воздействия ($M_{нач}$) сразу перед его первым расчетом для контура регулирования.

Частью интегральной составляющей являются также несколько констант: коэффициент усиления (KC), период квантования (TS), представляющий собой время цикла, с которым PID-регулятор пересчитывает регулирующее воздействие, и постоянная времени интегрирования (или сброс) (TI), которая используется для управления влиянием интегральной составляющей на расчет регулирующего воздействия.

Дифференциальная составляющая в уравнении PID-регулятора.

Дифференциальная составляющая MD пропорциональна изменению ошибки регулирования. S7–200 использует следующее уравнение для расчета дифференциальной составляющей, показанное на рис. 2.9.

$$MD_n = K_C * T_D / T_S * ((SP_n - PV_n) - (SP_{n-1} - PV_{n-1}))$$

Рисунок 2.9 Уравнение для расчета дифференциальной составляющей, решаемое S7–200

Во избежание ступенчатых изменений или скачков регулирующего воздействия при изменениях заданного значения это уравнение модифицировано в предположении, что заданное значение постоянно (SPn=SPn–1). В результате рассчитывается изменение регулируемой переменной, а не изменение ошибки регулирования. Это показывает следующее уравнение, приведенное на рис. 2.10.

Термин «управление» применим во многих областях и не только в энергетике, например, при управлении государством, управлении государственной территориальной единицей, отраслью народного хозяйства, автомобилем, объектами производственных процессов и т.д. В условиях современного научно-технического прогресса любое промышленное предприятие не может обходиться без помощи научных методов управления, автоматики и вычислительной техники, автоматических и автоматизированных систем, позволяющих умело управлять технологическими объектами.

$$MD_n = K_C * T_D / T_S * (SP_n - PV_n - SP_n + PV_{n-1})$$

или:

$$MD_n = K_C * T_D / T_S * (PV_{n-1} - PV_n)$$

где:

MD_n - значение дифференциальной составляющей регулирующего воздействия в момент квантования n

K_C - коэффициент усиления контура регулирования

T_S - период квантования контура регулирования

T_D - постоянная времени воздействия по производной контура регулирования (называемая также временем упреждения)

SP_n - заданное значение регулируемой величины в момент квантования n

SP_{n-1} - заданное значение регулируемой величины в момент квантования n-1

PV_n - значение регулируемой переменной в момент квантования n

PV_{n-1} - значение регулируемой переменной в момент квантования n-1

Рисунок 2.10 Модифицированное уравнение расчета дифференциальной составляющей

Важнейшей современной задачей при разработке автоматических систем управления является повышение эффективности управления технологическими объектами. При этом, повышению оперативности управления и качества регулирования препятствуют два основных фактора: нестабильность параметров объекта управления в процессе работы и постоянно изменяющиеся требования к качеству регулирования.

При решении задач управления технологическими объектами в энергетике оперируют следующими понятиями:

- знания о процессе управления, необходимые для определения цели управления и установления технологических средств для построения управляющих систем; в общем случае цель управления заключается в том, чтобы на основе анализа текущего состояния объекта управления определить значения управляющих переменных, позволяющих обеспечить желаемое поведение или состояние объекта управления;

- принципы и методы управления для различных энергетических объектов и процессов, в том числе в условиях неполноты текущей информации;

- процесс функционирования энергетических систем, отражающий последовательное изменение состояния системы во времени;

- модель энергетического объекта или системы, являющаяся результатом системного моделирования, причем, под моделью понимается некоторое представление о системе, описывающее её структуру при помощи выбранного языка моделирования;

- параметры энергетического объекта или системы или воздействия, представленные в общем случае входными и выходными параметрами (переменными); среди входных переменных различают управляющие переменные, предназначенные непосредственно для достижения системой желаемого поведения (цели), а взаимодействие системы с окружающей средой определяется при помощи выходных параметров;
- алгоритм функционирования энергетического объекта, системы или подсистем, определяемый совокупностью правил, предписаний или математических зависимостей; согласно алгоритму функционирования в дальнейшем строится алгоритм управления.

В настоящее время для решения таких задач управления интенсивно применяются интеллектуализированные системы, разрабатываемые в рамках приоритетного научного направления «искусственный интеллект», позволяющие одновременно использовать преимущества традиционных средств управления и методов искусственного интеллекта.

Базовая архитектура или модель классической теории управления основывается на представлении объекта и процесса управления в форме некоторых систем. При этом объект управления характеризуется некоторым конечным множеством входных параметров и конечным множеством выходных параметров. На вход системы управления поступают входные переменные, формируемые конечным множеством датчиков. На выходе системы управления посредством некоторого алгоритма управления формируется множество значений выходных переменных, которые называются управляющими переменными или переменными процесса управления.

Значения этих выходных переменных поступают на вход объекта управления и, комбинируясь со значениями входных параметров объекта управления, изменяют его динамику.

Рассмотренная архитектура называется процессом управления с обратной связью, а используемые для управления техническими объектами системы управления регуляторами. Примерами рассмотренной модели управления могут служить рассмотренные в предыдущей лекции различные регуляторы: пропорциональный, пропорционально-интегральный, пропорционально-дифференциальный, пропорционально-интегрально-дифференциальный.

Алгоритм управления этих регуляторов основан на сравнении выходных параметров объекта управления с некоторыми заданными параметрами и определении значения ошибки между ними. После этого рассчитываются значения выходных переменных в форме аддитивной суммы величины этой ошибки, значения интеграла и производной по времени в течение некоторого промежутка времени.

Функциональная обратная связь является ключевым элементом в системах цифровой адаптивной обработки информации и широко применяемым способом для реализации адаптации в различных приложениях.

Однако, одним из недостатков, например, ПИД-регуляторов является предположение о линейном характере зависимости входных и выходных переменных процесса управления, что существенно снижает адекватность этой модели при решении практических задач. Не все регуляторы, применяемые для контроля и регулирования технологических параметров при производстве электрической энергии, имеют оптимальную настройку регуляторов. При оперативном управлении энергетическими объектами с высокой динамикой изменения выходных параметров недопустимы задержки при реализации управляющих воздействий. Также в режиме функционирования автоматической системы управления можно столкнуться со сложностью настройки его параметров.

Таким образом, классические методы управления хорошо работают при полностью детерминированном объекте управления и детерминированной среде, а для систем с неполной априорной информацией и высокой сложностью объекта управления оптимальными являются нечёткие методы управления.

На современном этапе развития общества человечество столкнулось с проблемами, для решения которых невозможно получить полную информацию или определение которых недостаточно полно. Решить эти проблемы помогает нечёткая логика.

Появление теории нечётких множеств и нечёткой логики позволило одновременного учесть огромное многообразие информации, различные обстоятельства и ситуации, характеристики управляющих воздействий и внешней среды. Нечёткая логика, подобная процессам мышления человека и обеспечивающая организацию интеллектуального управления в автоматическом режиме, составляет основу алгоритмов интеллектуальных систем управления.

Применение нечёткой логики позволяет усовершенствовать и даже заменить классический ПИД-регулятор. Настраивая параметры ПИД-регулятора, можно влиять на форму создания кривой управления. Так как нечёткая логика основана на правилах регулирования, то форма кривой может создаваться индивидуально на каждом её участке. С помощью нечёткой логики можно ограничить влияние соседних участков кривой.

С термином «лингвистическая переменная» можно связать любую физическую величину, для которой нужно иметь больше значений, чем только «да» и «нет». В этом случае определяется необходимое число термов и каждому из них ставится в соответствие некоторое значение описываемой физической величины. Для этого значения степень принадлежности физической величины к терму равна единице, а для всех остальных значений, в зависимости от выбранной функции принадлежности.

Другой подход в формализации неопределенности определен применением нечетких чисел и нечетких интервалов для определения параметров энергетических объектов, критериальных функций, а также выполнения преобразований в системе управления.

Предположим, что параметр P_i энергетического объекта задается на универсуме Ω_p. Оценку случайного параметра P_i целесообразно осуществлять экспертным путем, т.к. для применения методов математической статистики необходимо вначале получить достаточный объем статистических данных, но практика, как правило, не предоставляет для этого времени.

Более приемлемым и эффективным является подход, при котором эксперт каждому событию P_i ставит в соответствие действительное число $q(P_i)$ (функции), которое характеризует степень уверенности эксперта в том, что $q(P_i) \subset \Omega_p$. Такие функции для оценки неопределенности были предложены в работах Сугено и были названы им нечеткими мерами. Дюбуа Д. в своей совместной работе с Прадом А. ввели наименование «мера неопределенности», применение которой позволяет задать приведенные выше параметры в виде нечетких интервалов и нечетких чисел.

Нечеткий интервал – это выпуклая нечеткая величина A, функция принадлежности которой квазивогнута, так что выполняется условие:

$$\forall u,v,\ \forall w \in [u,v],\ \mu_A(w) \geq min(\mu_A(u),\ \mu_A(v)),\ \ u,v,w \in X. \qquad (2.1)$$

Нечеткое число является частным случаем нечеткого интервала. Нечетким числом называют полунепрерывный сверху нечеткий интервал с компактным носителем и единственным модальным значением.

При подобном подходе к заданию параметров энергетического объекта устраняется неопределенность, связанная с тем, что статистическими методами невозможно точно определить параметры из-за ограниченной выборки. Невозможно получить достоверную информацию о колебании нагрузки в сети, объеме потребляемой энергии, частоте пиков и провалов энергопотребления, требуемого резерва мощности и прочее. Если строго фиксировать границы интервальных оценок, то существует неопределенность, т.к. границы могут быть или завышенными или заниженными, что вызовет сомнение в результатах расчетов.

Задание параметров задачи в виде нечеткого интервала будет одновременно и завышенным и заниженным, а носитель (базовое множество) нечеткого интервала будет выбран так, что ядро содержит наиболее правдоподобные значения, и будет гарантировано нахождение рассматриваемого параметра в требуемых пределах. Рассмотрим варианты заданий нечетких интервалов для решения задач в условиях неопределенности.

Нечеткий интервал задают на множестве X четверкой параметров $M=(\underline{m},\overline{m},\alpha,\beta)$, как это показано на рис. 2.11, где $\underline{m}$ - нижнее и верхнее модальное значение, а $\overline{m}$ - верхнее модальное значение нечеткого интервала. Коэффициенты α и β представляют собой левый и правый коэффициент нечеткости и задаются также экспертами.

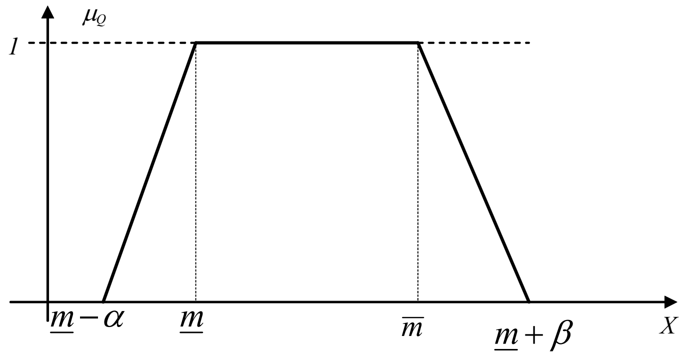


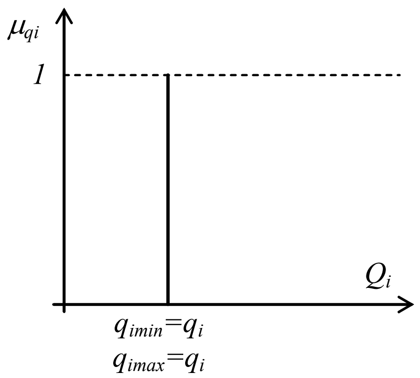
Рисунок 2.11

Задание нечеткого интервала может быть осуществлено следующими способами.

Если нижнее и верхнее модальное значение интервала совпадают, коэффициенты α и β равны нулю, а значение Q_i-го множества q_i определяется с неопределенностью равной нулю, то для задания нечеткой входной переменной $\widetilde{Q}_i$ на Q_i-м множестве будет применен нечеткий интервал $\widetilde{Q}_i$ =(q_{imin}=q_i, q_{imax}=q_i,0,0), где q_{imin}- нижнее модальное значение $\underline{m}$, а q_{imax}- верхнее модальное значение $\overline{m}$, как это показано на рис. 2.12.

В результате получено задание в виде четкого числа i–ой входной q_i переменной на множестве ее значений Q_i, т.е. четкое число является частным случаем нечеткого интервала, причем, μ_{qi}- значение степени принадлежности интервалу.

Если коэффициент α равен нулю, а нижнее модальное значение $\underline{m}$ и верхнее модальные значения $\overline{m}$ совпадают, то нечеткий интервал определен, как $\widetilde{Q}_i$ =(q_{imin}, q_{imax}=q_{imin},0,β), как это показано на рис. 2.13.



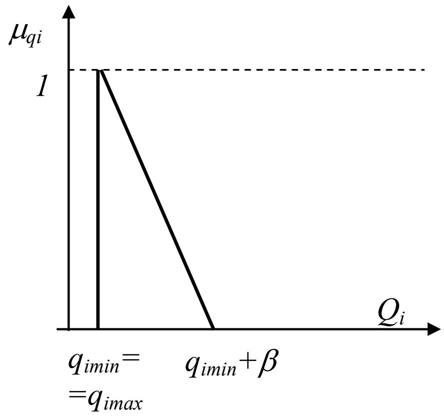
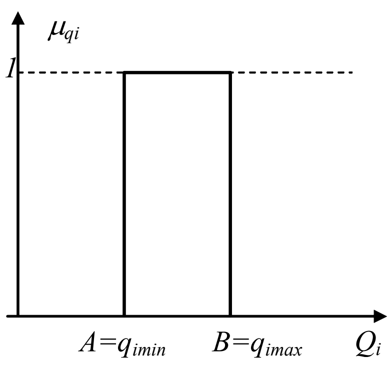


Рисунок 2.12 Рисунок 2.13

Четкий интервал является частным случаем нечеткого интервала, если коэффициенты α и βравны нулю. Нечеткий интервал для задания нечеткой входной переменной $\widetilde{Q}_i$ на Q_i-м множестве будет иметь вид: $\widetilde{Q}_i$ =(A=q_{imin}, B=q_{imax}, 0, 0), гдеA – нижнее модальное значение (минимально возможное значение входной переменнойq_i), B– верхнее модальное значение (максимально – возможное значение входной переменнойq_i. Пример задания четкого интервала приведен на рис. 2.14.

Если коэффициент α равен нулю, A – нижнее модальное значение равно q_{imin}, аB– верхнее модальное значение равно q_{imax}, то формально нечеткий интервал определен в виде $\widetilde{Q}_i$ =(A=q_{imin}, B=q_{imax}, 0, β), а пример задания показан на рис. 2.15.



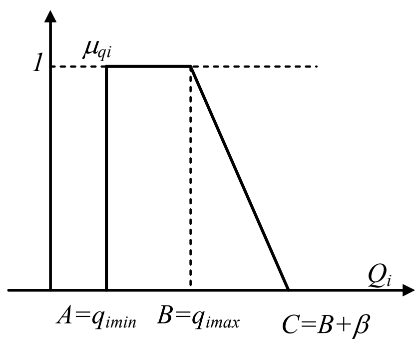


Рисунок 2.14 Рисунок 2.15

Если коэффициент β равен нулю, A – нижнее модальное значение равно q_{imin}, аB– верхнее модальное значение равно q_{imax}, то формально нечеткий интервал определен в виде $\widetilde{Q}_i$ =(A=q_{imin}, B=q_{imax}, α, 0), а пример задания показан на рис. 2.16. Общий случай формального задания нечеткого интервала в виде $\widetilde{Q}_i$ =(B=q_{imin},C=q_{imax}, α,β)показан на рис. 2.17, гдеα=B-A, β=D-C.

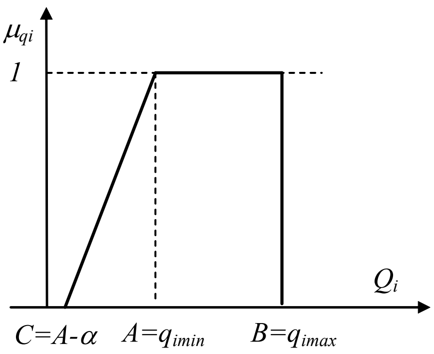


Рисунок 2.1

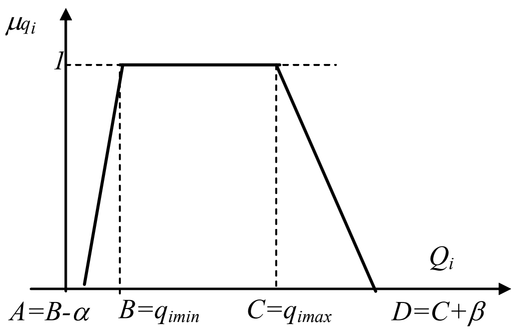


Рисунок 2.17

Над нечеткими интервалами задана алгебра, которая позволяет производить над нечеткими интервалами следующие операции.

Сумма двух нечетких интервалов M_i=($\underline{m}_i, \overline{m}_i, \alpha_i, \beta_i$) и M_j=($\underline{m}_j, \overline{m}_j, \alpha_j, \beta_j$) определяется посредством применения операции нечеткого суммирования. В результате будет получен нечеткий интервал $M_i \widetilde{+} M_j$=$(\underline{m}, \overline{m}, \alpha, \beta)$, причем,

$$\alpha=\alpha_i + \alpha_j;\ \beta=\beta_i + \beta_j;\ \underline{m} = \underline{m}_i + \underline{m}_j,\ \overline{m} = \overline{m}_i + \overline{m}_j. \qquad (2.2)$$

Для n нечетких интервалов сумма определится формулами

$$\alpha = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i;\quad \beta = \sum_{i=1}^{n} \beta_i;\ \underline{m} = \sum_{i=1}^{n} \underline{m}_i\ \ \overline{m} = \sum_{i=1}^{n} \overline{m}_i. \qquad (2.3)$$

Нечеткая разность $\widetilde{Y} \simeq \widetilde{X}$ двух нечетких интервалов$\widetilde{Y}$=($\underline{y}, \overline{y}, \alpha, \beta$) и $\widetilde{X}$=($\underline{x}, \overline{x}, \eta, \lambda$) представляет собой трапециевидный интервал $\widetilde{Z}=(\underline{z}, \overline{z}, \chi, \delta)$, для которого

$$\chi=|\alpha-\eta|,\ \ \delta=|\beta-\lambda|, \underline{z} = \underline{y} - \overline{x},\ \overline{z} = \overline{y} - \underline{x}, \qquad (2.4)$$

где $\underline{z}, \underline{y}, \underline{x}$ - нижние модальные значения нечетких интервалов $\widetilde{Z}, \widetilde{Y}, \widetilde{X}$, $\overline{z}, \overline{y}, \overline{x}$ - верхние модальные значения нечетких интервалов $\widetilde{Z}, \widetilde{Y}, \widetilde{X}$.

Для принятия решения путем сравнения нечеткого интервала $\tilde{Z}=(\underline{z},\bar{z},\chi,\delta)$ с действительным числомA применяется операция нечеткого сравнения. Для этого действительное число А представляют также в виде нечеткого интервала (A, A, 0, 0). Определение меньшего или большего значения нечеткого интервала по отношению к действительному числуA производится по формулам:

$\tilde{Z} \underset{\sim}{>} A$, если $|A-(\underline{z}-\chi)|\leq|A-(\bar{z}+\delta)|$ и $A\leq\bar{z}$;

$\tilde{Z} \underset{\sim}{<} A$, если $|A-(\underline{z}-\chi)|\geq|A-(\bar{z}+\delta)|$ и $A\geq\bar{z}$. (2.5)

Для нечетких интервалов заданы операции произведения и деления. Произведение $\tilde{S}\otimes\tilde{X}$ двух нечетких интервалов$\tilde{S}=(\underline{s},\bar{s},\alpha,\beta)$ и $\tilde{X}=(\underline{x},\bar{x},\eta,\lambda)$ представляет собой трапециевидный интервал $\tilde{Z}=(\underline{z},\bar{z},\chi,\delta)$, параметры которого определяются по формулам:

$\chi=\alpha\eta,\ \delta=\beta\lambda,\ \underline{z}=[min\{\underline{s}\underline{x},\bar{s}\underline{x},\underline{s}\bar{x},\bar{s}\bar{x}\}]$;

$\bar{z}=[max\{\underline{s}\underline{x},\bar{s}\underline{x},\underline{s}\bar{x},\bar{s}\bar{x}\}]$. (2.6)

Формулы (2.6) для умножения двух нечетких интервалов в зависимости от знаков чисел $\bar{s}$, $\underline{s}$, $\bar{x}$, $\underline{x}$ принимают вид:

- если $\underline{s}\geq 0,\ \underline{x}\geq 0$, то $\underline{z}=\underline{s}\underline{x},\ \bar{z}=\bar{s}\bar{x}$;
- если $\underline{s}\geq 0,\ \bar{x}\leq 0$, то $\underline{z}=\bar{s}\underline{x},\ \bar{z}=\underline{s}\bar{x}$;
- если $\bar{s}\leq 0,\ \bar{x}\geq 0$, то $\underline{z}=\underline{s}\bar{x},\ \bar{z}=\bar{s}\underline{x}$;
- если $\bar{s}\leq 0,\ \bar{x}\leq 0$, то $\underline{z}=\bar{s}\bar{x},\ \bar{z}=\underline{s}\underline{x}$;
- если $\underline{s}<0<\bar{s},\ \underline{x}\geq 0$, то $\underline{z}=\underline{s}\bar{x},\ \bar{z}=\bar{s}\bar{x}$;
- если $\underline{s}<0<\bar{s},\ \bar{x}\leq 0$, то $\underline{z}=\bar{s}\underline{x},\ \bar{z}=\underline{s}\underline{x}$;
- если $\underline{s}\geq 0,\ \underline{x}<0<\bar{x}$, то $\underline{z}=\bar{s}\underline{x},\ \bar{z}=\bar{s}\bar{x}$;
- если $\bar{s}\leq 0,\ \underline{x}<0<\bar{x}$, то $\underline{z}=\underline{s}\bar{x},\ \bar{z}=\underline{s}\underline{x}$;
- если $\underline{s}<0<\bar{s},\ \underline{x}<0<\bar{x}$,

то

$\underline{z}=min\{\underline{s}\bar{x},\bar{s}\underline{x}\},\ \bar{z}=max\{\underline{s}\underline{x},\bar{s}\bar{x}\}$ (2.7)

В результате деления $\tilde{S}/\tilde{X}$ двух нечетких интервалов $\tilde{S}=(\underline{s},\bar{s},\alpha,\beta)$ и $\tilde{X}=(\underline{x},\bar{x},\eta,\lambda)$ получают трапециевидный интервал $\tilde{Z}=(\underline{z},\bar{z},\chi,\delta)$, параметры которого определяются формулами:

$\chi=\alpha\eta,\ \delta=\beta\lambda, \underline{z} = [min\{\underline{s}/\underline{x},\bar{s}/\underline{x},\underline{s}/\bar{x},\bar{s}/\bar{x}\}]$;

$$\bar{z} = [max\{\underline{s}/\underline{x},\bar{s}/\underline{x},\underline{s/},\bar{s}/\bar{x}\}], \qquad (2.8)$$

причем, в зависимости от знаков чисел $\bar{s}$, $\underline{s}$, $\bar{x}$, $\underline{x}$ правило (2.8) для деления двух нечетких интервалов будет выглядеть:

- если $\underline{s} \geq 0,\ \underline{x} \geq 0$, то $\underline{z} = \underline{s}/\underline{x},\ \bar{z} = \bar{s}/\bar{x}$;
- если $\underline{s} \geq 0,\ \bar{x} \leq 0$, то $\underline{z} = \bar{s}/\underline{x},\ \bar{z} = \underline{s}/\bar{x}$;
- если $\bar{s} \leq 0,\ \bar{x} \geq 0$, то $\underline{z} = \underline{s}/\bar{x},\ \bar{z} = \bar{s}/\underline{x}$;
- если $\bar{s} \leq 0,\ \bar{x} \leq 0$, то $\underline{z} = \bar{s}/\bar{x},\ \bar{z} = \underline{s/x}$;
- если $\underline{s} < 0 < \bar{s},\ \underline{x} \geq 0$, то $\underline{z} = \underline{s}/\bar{x},\ \bar{z} = \bar{s}/\bar{x}$;
- если $\underline{s} < 0 < \bar{s},\ \bar{x} \leq 0$, то $\underline{z} = \bar{s}/\underline{x},\ \bar{z} = \underline{s}/\underline{x}$;
- если $\underline{s} \geq 0,\ \underline{x} < 0 < \bar{x}$, то $\underline{z} = \bar{s}/\underline{x},\ \bar{z} = \bar{s}/\bar{x}$;
- если $\bar{s} \leq 0,\ \underline{x} < 0 < \bar{x}$, то $\underline{z} = \underline{s}/\bar{x},\ \bar{z} = \underline{s}/\underline{x}$;
- если $\underline{s} < 0 < \bar{s},\ \underline{x} < 0 < \bar{x}$,

то

$$\underline{z} = min\{\underline{s}/\bar{x},\bar{s}/\underline{x}\},\ \bar{z} = max\{\underline{s}/\underline{x},\bar{s}/\bar{x}\}. \qquad (2.9)$$

Таким образом, задание параметровэнергетических объектов в виде нечетких интервалов является более общим способом формализации этих параметров, позволяющим учитывать существующую априорную неопределенность.

Вопросы для самоконтроля.

1. Классификая автоматических регуляторов.
2. Особенности выбора автоматических регуляторов.
3. Определите сущность П-регулятора.
4. Определите сущность Д-регулятора.
5. Определите сущность И регулятора.

6. Определите сущность ПИ регулятора.

7. Определите сущность ПД регулятора.

8. Определите сущность ПИД регулятора.

9. Назначение программного обеспечения Step 7 MicroWin.

10. Какими понятиями оперируют при решении задач управления технологическими объектами в энергетике?

11. На каких представлениях основывается базовая архитектура или модель классической теории управления?

12. Недостатки ПИД-регуляторов.

13. Возмости нечеткой логики.

14. Определение нечеткого интервала.

15. Приведите варианты заданий нечетких интервалов.

16. Определите преимущества задания параметров энергетических объектов в иде нечетких интервалов и нечетких чисел.

17. Операция суммирования нечетких интервалов.

18. Операция умножения нечетких интервалов.

19. Операция сравнения нечетких интервалов.