

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УПРАВЛЯЮЩИХ КАНАЛОВ КОНТРОЛЛЕРОВ В СОСТАВЕ ПТК

Ю.С. Тверской, А.В. Голубев

(Ивановский государственный энергетический университет)

Приведен анализ факторов микропроцессорной системы регулирования в составе полномасштабной АСУТП, влияющих на динамические свойства управляющих каналов контроллеров. Разработаны рекомендации по проектированию и вводу в эксплуатацию автоматических систем регулирования на базе ПТК сетевой организации.

Введение

Специфика современных АСУТП главным образом связана с тем, что они представляют распределенные системы, и их основными системообразующими компонентами являются ПТК сетевой организации.

Особенности современных АСУТП

– АСУТП представляют собой распределенные интегрированные программно-технические системы большого информационного масштаба (реализуют контроль и управление как тепломеханического, так и электротехнического оборудования ТЭС);

– АСУТП строятся с использованием контроллеров, компьютеров рабочих станций операторов и вычислительных сетей;

– АСУТП выполняют информационно-вычислительные и управляющие функции средствами ПТК (дисплейное дистанционное управление, технологические защиты, блокировки, автоматическое регулирование, функционально-групповое управление и др.), т.е. впервые единый (системообразующий) ПТК заменяет ранее информационно не связанные локальные подсистемы (КИП, автоматическое регулирование, технологические защиты и др.);

– основные функциональные задачи АСУТП выполняются на уровне ПО.

В связи со сложностью и многокомпонентностью программно-технической структуры АСУТП существует проблема эффективности реализации функции автоматического регулирования в составе всей системы. Задача автоматического регулирования является одной из многих функций, выполняемых ПТК, и должна рассматриваться в определенной взаимосвязи с ними. В связи с этим, появился ряд дополнительных факторов, влияющих на динамические свойства алгоритмов регулирования в микропроцессорных контроллерах ПТК.

Указанная проблема существует начиная с 70 годов, когда проводились исследования еще аналоговых средств регулирования. Было известно, что для правильного выбора и эффективного использования аппаратуры автоматического регулирования, необходимо знать ее технические характеристики, принципы действия и учитывать динамические характеристики управляющих каналов.

Было выявлено, что в действительности закон функционирования реального аналогового регулятора может настолько сильно отличаться от заданного,

что неучет этих различий приводил к резкому ухудшению качества регулирования. Это привело к появлению термина – область нормальной работы (ОНР) регулятора, представляющей собой пространство амплитуд и частот входного сигнала, а также параметров настройки регулятора, в которой амплитудно-частотные (АЧХ) и фазо-частотные характеристики реального регулятора отличаются от соответствующих характеристик идеального регулятора не более чем на некоторые заранее установленные значения [1]. Для широкого перечня аналоговых регуляторов того времени были определены их реальные динамические свойства, уточнены линейные динамические модели и области нормальной работы.

Переход к цифровым средствам регулирования еще острее обозначил указанную проблему. Известно, что механический перенос непрерывных систем на дискретные возможен далеко не всегда. При переходе от аналоговых регуляторов к цифровым необходимо, чтобы цифровая система обладала теми же свойствами, что и непрерывный аналог. Численный алгоритм, заложенный в цифровой регулятор, реализует передаточную функцию непрерывного закона регулирования приближенно. Различия в используемых методах численной реализации и структурах регуляторов оказывают существенное влияние на точность приближения к непрерывным законам, и, соответственно, на качество процессов и даже на устойчивость систем с цифровыми регуляторами [2, 3 и др.].

Как в локальных цифровых системах регулирования (Протар, Ремиконт Р-110 и др.), так и в АСУТП на базе ПТК ключевую роль в реализации управляющих функций играет алгоритмическое обеспечение контроллеров. Как правило, ПО контроллеров состоит из фиксированного набора типовых программных блоков (типовых алгоритмов), выполняющих преобразование сигналов в цифровой форме.

Опыт применения первых микропроцессорных контроллеров для построения систем автоматического регулирования показал, что при их использовании в сложных многоканальных системах часто нарушается заданный режим управления. Декларируемые "виртуально-непрерывные" законы преобразования сигналов действительно выполняются при ограниченных условиях. Был выявлен ряд факторов, существенным образом влияющих на способность ПО контроллеров выполнять заданные функции. Таким образом, имеет место неопределенность динамических свойств управляющих каналов в некоторых ре-

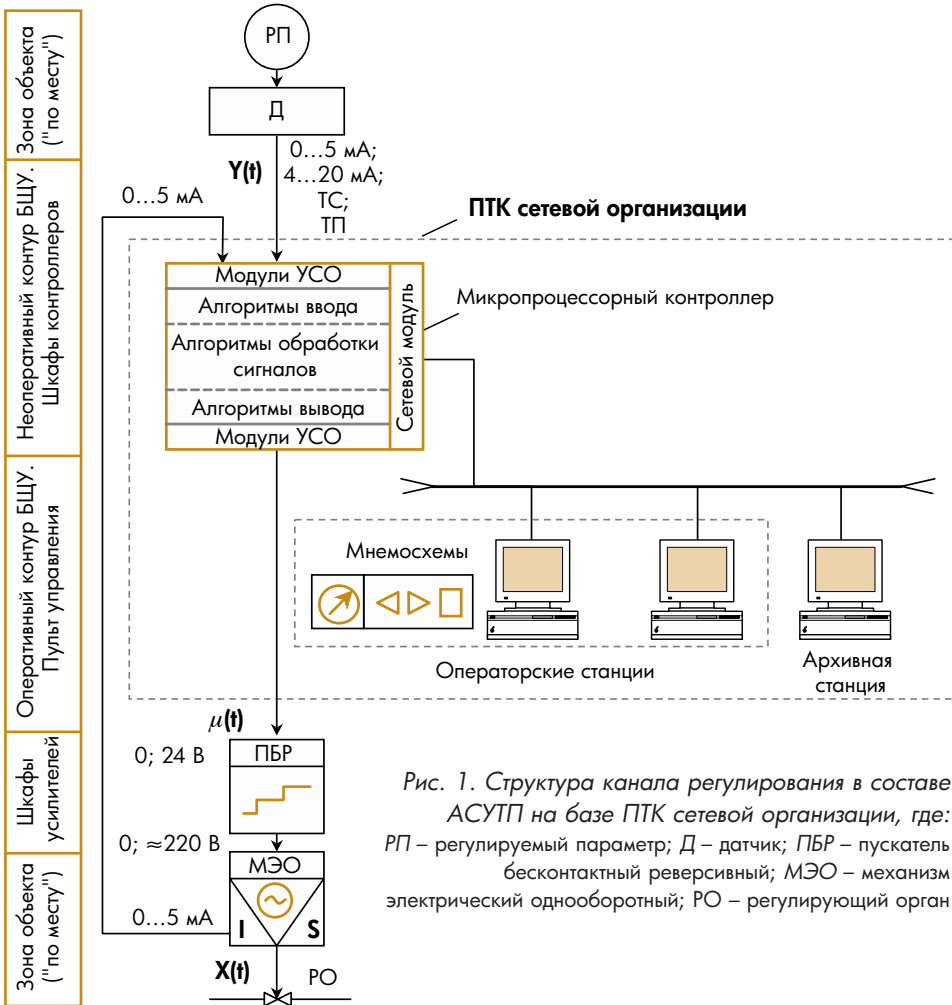


Рис. 1. Структура канала регулирования в составе АСУТП на базе ПTK сетевой организации, где: РП – регулируемый параметр; Д – датчик; ПБР – пускатель бесконтактный реверсивный; МЭО – механизм электрический однооборотный; РО – регулирующий орган

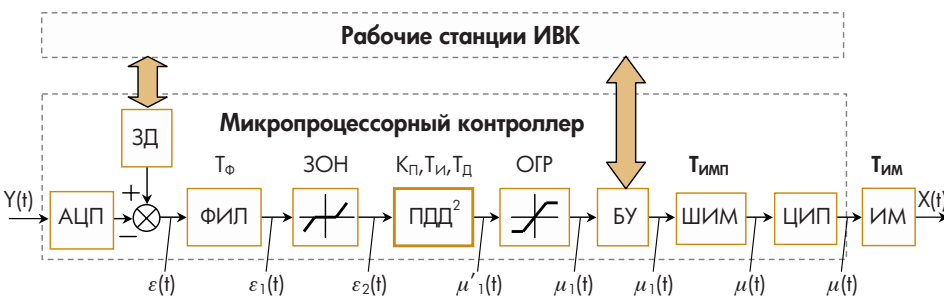


Рис. 2. Схема реализации контура импульсного регулирования средствами ПTK, где: АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ЗД – блок формирования сигнала задания; ФИЛ – блок фильтрации; ЗОН – блок зоны нечувствительности; ПДД² – блок динамического преобразования; ОГР – блок ограничения; БУ – блок управления; ШИМ – блок широтно-импульсного модулирования; ЦИП – цифро-импульсный преобразователь; ИМ – исполнительный механизм постоянной скорости

в контроллер алгоритмов управления и разработаны рекомендации по проектированию и вводу АСР в составе АСУТП на базе ПTK.

Особенности функционирования систем регулирования в составе современных ПTK.

Классификация факторов

В полномасштабной АСУТП функция регулирования реализуется в основном с помощью алгоритмов, функционирующих в контроллерах. Рассмотрим схему реализации одноконтурной системы регулирования с исполнительным механизмом постоянной скорости в составе АСУТП на базе ПTK "Квинт" [5] (рис. 1, 2). Входной сигнал регулируемой переменной может быть подключен к контроллеру как через нормирующий преобразователь, так и непосредственно от датчика (например, от термосопротивления или термопары стандартных градуировок). Введенный в контроллер через АЦП входной сигнал может в дальнейшем использоваться во всех требуемых задачах (контроль, сигнализация, автоматическое регулирование и т.д.), а размножение сигнала осуществляется программно внутри контроллера (виртуально).

В задаче автоматического регулирования сигнал регулируемой переменной суммируется (с обратным знаком) с сигналом задания и поступает на вход звена фильтрации. При наличии высокочастотных пульсаций во входном сигнале с помощью звена фильтрации производят отстройку регулятора от их воздействия для обеспечения стабильной работы. Далее сигнал проходит через блок зоны нечувствительности, который определяет статическую точность регулирования. Динамическое преобразование сигнала реализуется в звене ПДД², которое совместно с исполнительным механизмом постоянной скорости, имеющим время полного хода ТИМ, приближенно реализует ПИД-закон регулирования. Сигнал по скорости измене-

жимах работы АСУТП [4]. Устранение этой неопределенности и разработка рекомендаций по проектированию и вводу автоматической системы регулирования (АСР) в составе АСУТП на базе ПTK представляет актуальную научно-техническую задачу.

Важно, чтобы алгоритмическая база ПTK была максимально приближена к идеальным (теоретическим алгоритмам), от этого во многом зависит качество управления. В настоящей статье проведен анализ факторов, влияющих на реализацию заложенных

сигнале с помощью звена фильтрации производят отстройку регулятора от их воздействия для обеспечения стабильной работы. Далее сигнал проходит через блок зоны нечувствительности, который определяет статическую точность регулирования. Динамическое преобразование сигнала реализуется в звене ПДД², которое совместно с исполнительным механизмом постоянной скорости, имеющим время полного хода ТИМ, приближенно реализует ПИД-закон регулирования. Сигнал по скорости измене-

ния управляющего воздействия $\mu'_1(t)$ с выхода звена ПДД² поступает на блок ОГР, который выполняет ограничение выходного сигнала в соответствии с положением ИМ. Сигнал с выхода блока ОГР поступает на блок ШИМ, который выдает на выходы ЦИП серию широтно-модулированных импульсов "больше/меньше", воздействующих на перемещение ИМ.

Кроме этого, через локальную вычислительную сеть обеспечивается связь контроллера с рабочими станциями ИВК, которые размещаются в оперативном контуре БЩУ. В составе ИВК выделены операторские станции, которые обеспечивают контроль всех сигналов и ручное управление. Ручное управление в канале регулирования осуществляется путем воздействия на блок формирования задания (изменение сигнала задания) и блок управления (изменение режима "ручной"/"автоматический", ручное управление положением ИМ и др.).

Анализ особенностей АСУТП на базе современных ПТК сетевой организации позволил выделить ряд факторов микропроцессорной системы регулирования в составе полномасштабной АСУТП и объединить, по степени влияния друг на друга, в следующие подгруппы (рис. 3).

Локальные факторы – параметры настройки конкретного алгоритма, влияющие на закон преобразования сигнала, заложенный в него. В общем случае, для ПИД-закона импульсного регулирования можно выделить: K_p – коэффициент пропорциональности; T_i – время интегрирования; T_d – время дифференцирования; $T_{им}$ – время полного хода исполнительного механизма; ω_p – рабочая частота системы регулирования (определяется динамическими свойствами объекта регулирования и действующими на него возмущениями).

Общие факторы – факторы, влияющие на работу всех алгоритмов в контроллере. Для систем регулирования, построенных на микропроцессорной технике, можно выделить: T_k – время цикла контроллера (квантование по времени); l – квантование по уровню; τ – запаздывание в канале регулирования.

Системные факторы – факторы, влияющие на значения локальных факторов. В связи с тем, что программное обеспечение современных контроллеров выполняет в комплексе широкий набор функций, реализация которых выполняется с по-

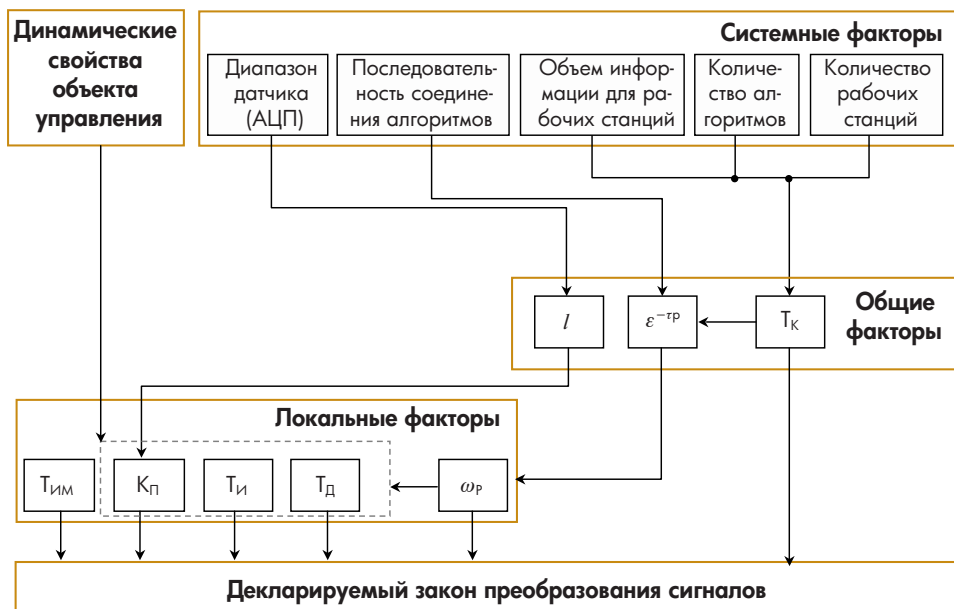


Рис. 3. Иерархия влияния факторов на закон преобразования сигнала

мощью соединения библиотечных алгоритмов, являются дополнительные факторы, влияющие на работу всей системы и зависящие от решений принятых на стадии проектирования АСУТП. К системным факторам, влияющим на квантование по уровню, относятся рабочий диапазон изменения сигнала от датчика и разрядность АЦП. К системным факторам, влияющим на квантование по времени, относятся количество алгоритмов функционирующих в контроллере, объем информации, передаваемый контроллером рабочим станциям ИВК, и число рабочих станций работающих с данным контроллером. К системным факторам, влияющим на запаздывание в канале регулирования, относятся время цикла контроллера и последовательность соединения алгоритмов в канале регулирования.

Анализ влияния локальных факторов

Анализ работы алгоритмов регулирования показывает, что в некоторых режимах (области малых значений коэффициентов пропорциональности K_p и времени интегрирования T_i большая величина T_k времени цикла контроллера) неучет особенностей реализации алгоритмов приводит к существенному ухудшению показателей качества регулирования. В связи с этим необходимо учитывать, что заложенный идеальный закон регулирования отличается от реального по амплитуде и фазе. Указанное отличие выражается следующей зависимостью:

$$W_{рег}(p) = K_{\delta}(K_p, T_i, \omega) \cdot e^{-T_{\delta}(K_p, T_i, \omega)p} \cdot W_{рег}^{ид}(p), \quad (1)$$

где $K_{\delta}(K_p, T_i, \omega)$ – поправочный коэффициент по амплитуде, зависящий от K_p, T_i и ω ; $T_{\delta}(K_p, T_i, \omega)$ – поправочный коэффициент по фазе, зависящий от K_p, T_i и ω, c .

Возможный вид зависимостей поправочных коэффициентов проиллюстрируем на примере исследований контроллеров Ремиконт Р-210 ПТК "Квинт" (рис. 4).

Для каждого конкретного типа контроллера определение точных значений поправочных коэффициентов может быть получено с учетом методики определения частотных характеристик [6].

При реализации импульсного закона регулирования (рис. 2) в автоматических системах регулирования часто пренебрегают диапазоном изменения сигналов в самом контуре регулирования, а именно

$$\delta_{CT} = K_{об} \frac{100 \cdot T_{имп}}{T_{им}} \geq \delta x \rightarrow \min \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{им} \geq K_{об} \frac{100 \cdot T_{имп}}{\delta x},$$

где $X_{огр}$ – величина ограничения сигнала $\mu_1(t)$ в блоке ОГР, δ_{CT} – статическая точность регулирования, δx – погрешность измерительного канала, $T_{имп}$ – минимальное время импульса в блоке ШИМ-преобразования.

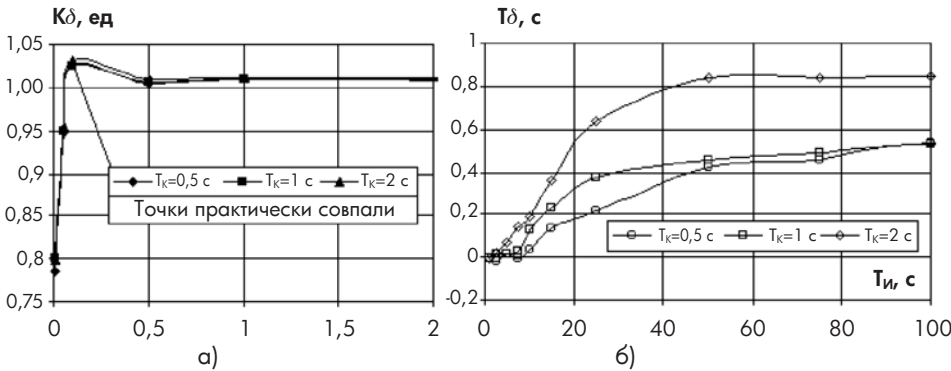


Рис. 4. Результаты анализа динамических характеристик алгоритма импульсного регулирования в контроллерах ПТК "Квинт": а) усредненные зависимости $K_{\delta}(K_{п})$ при $T_{и}=0,5; 1; 2$ с; б) зависимости $T_{\delta}(T_{и}, \omega)$ при $K > K_{п}^{мин}$, $\omega = 0,05$ рад/с

диапазоном изменения сигнала $\mu'_1(t)$ на выходе блока динамического преобразования ПДД² и $\mu_1(t)$ на выходе блока ограничения. В связи с тем, что в канале импульсного регулирования имеется дифференциальная (Д) составляющая, выходной сигнал $\mu'_1(t)$ зависит от максимальной скорости изменения ошибки регулирования $\epsilon_2(t)$. С учетом экспресс модели объекта регулирования в виде аппериодического звена первого порядка максимальная скорость изменения сигнала регулируемой переменной

$$v_{MAX} = K_{об} \Delta x_{ВОЗМ} / T_{об}, \% / c, \quad (2)$$

получим экспресс оценку максимального изменения сигнала

$$\Delta \mu_1^{max}(t) = v_{MAX} K'_{п} T_{и} = v_{MAX} K_{п} T_{им}, \quad (3)$$

где $K'_{п} = K_{п} T_{им} / T_{и}$ – комплексный коэффициент пропорциональности, $K_{п}$ – коэффициент пропорциональности регулятора; $T_{и}$ – время интегрирования, с; $T_{им}$ – время полного хода ИМ, с; $K_{об}$ – коэффициент усиления объекта; $T_{об}$ – время интегрирования объекта (по экспресс аппроксимации), с; $\Delta x_{ВОЗМ}$ – величина возмущения в объекте, %.

Исходя из условия статического и динамического приближения качества переходных процессов в системе к идеальным, необходимо выполнение следующих ограничений по выбору времени полного хода ИМ:

$$\Delta \mu_1^{max}(t) \leq X_{огр} \Rightarrow T_{им} \leq \frac{X_{огр}}{v_{MAX} K_{п}} = \frac{X_{огр} T_{об}}{K_{об} K_{п} \Delta x_{ВОЗМ}}, \quad (4)$$

Анализ влияния системных и общих факторов

Диапазон входного сигнала. Рабочий диапазон входного сигнала АЦП и дискретность его изменения характеризуют величину квантования сигнала по уровню. Следует учитывать, что разрешающая способность контроллера полностью не отображает точность преобразования аналогового сигнала в АЦП $\alpha_{АЦП}$.

Фактический (рабочий) диапазон h_i изменения сигналов по каналам регулиро-

вания меньше полного $h_i < h$. Соответственно, количество l_i уровней квантования сигнала в канале:

$$l_i = \frac{h_i}{\alpha_{АЦП}} < l = \frac{h}{\alpha}, \quad (6)$$

т.е. разрешающая способность канала изменяется обратно-пропорционально отношению h_i / h

$$\alpha_{вх_i} = \alpha_{АЦП} \frac{h}{h_i}, \% \quad (7)$$

В типовом случае канал регулирования состоит из датчика и АЦП контроллера. Для данного канала погрешность измерительного канала (с вероятностью $p=0,95$) принимаем равной:

$$\delta x_i = 2 \cdot \sigma_i = \sqrt{\sigma_{д}^2 + \sigma_{АЦП}^2}, \quad (8)$$

где $\sigma_{д}$ – средне-квадратическое отклонение измеряемой величины датчика; $\sigma_{АЦП}$ – средне-квадратическое отклонение преобразования сигнала в АЦП контроллера.

Исходя из того, что $\alpha_{вх_i} \leq \delta x_i$ получим диапазон изменения входного сигнала без потери информации:

$$h_i \geq \alpha_{АЦП} \frac{h}{\delta x_i}, \% \quad (9)$$

В связи с тем, что в зоне малых значений коэффициента пропорциональности регулятора $K_{п}^{мин} < 1$ (рис. 4, а) точность выполнения закона регулирования сильно ухудшается [4, 6] и $K_{п} \sim 1/K_{об}$, где $K_{об}$ – коэффициент усиления объекта, зависящий от диапазона датчика. Увеличение диапазона входного сигнала h_i в системе ре-

гулирования приводит, с одной стороны, к увеличению точности преобразования сигнала в АЦП, а с другой стороны, к уменьшению коэффициента пропорциональности регулятора K_{Π} и, соответственно, ухудшению качества преобразования сигнала в алгоритме.

В связи с этим необходимо дополнительное, предварительное, до звена динамического преобразования масштабирование входного сигнала. При этом величина масштабирования K_m определяется исходя из результатов исследований (рис. 4, а). Для контроллеров Ремиконт Р-210 ПТК "Квинт" входной канал определяется следующей системой выражений:

$$\begin{cases} K_{\Pi} \geq 1 \\ \alpha'_{\text{вх}} \geq \alpha \end{cases}, \quad (10)$$

где $\alpha'_{\text{вх}}$ – разрешающая способность канала с учетом масштабирования сигнала.

Время цикла контроллера. В современных ПТК используются синхронные микропроцессорные контроллеры, особенность которых – задание постоянного времени T_k цикла обработки заданного алгоритма. Оптимальное (минимальное) время выполнения программы определяется:

$$T_k^{\text{ОПТ}} = T_{\text{МИН}} = T_{\text{СИСТ}} + T_{\text{СД}} + T_{\text{АЛГ}} + T_{\text{ЗАПР}}(n_{\text{СТ}}, q_{\text{ИНФ}}), \text{ с}, \quad (11)$$

где $T_{\text{СИСТ}}$ – системное время, зависящее от общих параметров настройки контроллера, с; $T_{\text{СД}}$ – время самодиагностики, с; $T_{\text{АЛГ}}$ – время обслуживания запрограммированного алгоритма, с; $T_{\text{ЗАПР}}$ – время ответа контроллера (формирования и посылка данных) на запросы от операторских станций, с; $n_{\text{СТ}}$ – число операторских станций, $q_{\text{ИНФ}}$ – объем информации, запрашиваемый операторской станцией.

Однако, особенностью установки времени цикла во многих контроллерах ПТК является то, что время $T_{\text{ЗАПР}}$ добавляется к общему времени выполнения технологической программы в произвольное время и зависит от количества операторских станций, в данный момент запрашивающих информацию от контроллера. Не учитывать данную составляющую нельзя, т.к. это может привести к невыполнению части технологической программы при $T_k^{\text{ОПТ}} > T_k$.

На практике с одной стороны встречается неоправданное уменьшение времени цикла $T_k \ll T_k^{\text{ОПТ}}$, что ведет к уменьшению ресурса контроллера и соответственно к увеличению их количества для решения задач контроля и управления, т.е. к дополнительным затратам. С другой стороны, при $T_k > T_k^{\text{ОПТ}}$ нарушается функциональная надежность ПО.

Шаг квантования по времени определяется, как правило, спектральной характеристикой входного сигнала и требованием теоремы Котельникова [7]. Для замкнутых систем период квантования выбирают таким, при котором заведомо выполняется условие, аналогичное условию теоремы Котельникова-Шеннона:

$$T_k \leq T_{\text{МАХ}} = \frac{\pi}{\omega_c}, \text{ с}, \quad (12)$$

где ω_c – частота среза АЧХ канала регулирования (условная частота, при которой модуль АЧХ становится

меньше наперед заданной величины). При соблюдении этого условия возможна замена непрерывных сигналов без потерь информации передачей дискретных значений, т.е. последовательности модулированных импульсов. Соответственно, все методы исследования непрерывных систем применимы к рассматриваемому классу амплитудно-импульсных систем.

Исходя из условия получения максимальной точности работы канала регулирования необходимо обеспечить реакцию системы на максимальную скорость изменения сигнала. В зависимости от скорости изменения сигнала ограничение на максимальное время цикла получаем:

$$T_k \leq T_{\text{МАХ}} = \frac{\alpha_{\text{вх}}}{v_{\text{МАХ}}}, \text{ с}. \quad (13)$$

Данная зависимость характеризует максимально возможное время цикла, при котором фиксируется изменение входной величины на величину равную разрешающей способности канала. При этом ограничением на минимальное время цикла является точность преобразования сигнала в модуле АЦП контроллера:

$$T_k \leq T_{\text{МАХ}} = \frac{\alpha_{\text{вх}}}{v_{\text{МАХ}}}, \text{ с}. \quad (14)$$

Запаздывание в канале регулирования. Для цифровых систем управления характерным является появление дополнительного запаздывания в канале регулирования. Анализ результатов исследований [4] микропроцессорных систем регулирования без ИВК (Ремиконт Р-110, Протар-100) показывает, что величина запаздывания выражается

$$\tau_0 = (1+L) \cdot T_k, \text{ с} \quad (15)$$

где L – количество алгоблоков в канале преобразования сигнала управления, включенных в обратной последовательности.

Для ПТК сетевой организации в связи с наличием дополнительной составляющей $T_{\text{ЗАПР}}$, влияющей на время цикла контроллера, это выражение неверно. Исследования [6] показывают, что РВ запаздывания в канале регулирования является функцией $\tau_0(T_k, L)$. Исследования контроллеров Ремиконт Р-210 ПТК "Квинт" показали, что в реальной эксплуатации $\tau_0 \ll T_k$.

Динамические свойства канала, по аналогии с непрерывными процессами, можно представить в виде передаточной функции

$$W(p) = \prod_{i=1}^L W_{F_i}(p) e^{-\tau_0(T_k, L)p}, \text{ с}. \quad (16)$$

где F_i – функции алгоблоков в канале, состоящем из L алгоблоков. При расчете систем регулирования величину запаздывания можно условно отнести к объекту регулирования.

Рекомендации по проектированию и вводу в действие АСР.

Для эффективного и качественного использования микропроцессорных контроллеров в задачах автоматического регулирования в составе АСУТП необходимо учитывать результаты анализа выявленных факторов.

Исходя из выполненного анализа факторов при выполнении проектных и наладочных работ, следует осуществить ряд операций, рассмотренных ниже.

– При разработке общесистемных решений и проектной компоновки ПТК необходимо произвести анализ применимости контроллеров по ограничению на время цикла контроллера в конкретном канале регулирования. При невыполнении условий (12)-(14) необходимо пересмотр общесистемных решений с целью распределения функций на несколько контроллеров и/или оптимизация технической (сетевой) структуры ПТК в составе АСУТП для уменьшения количества запросов информации от рабочих станций к конкретному контроллеру. При этом необходимо учитывать, что с точки зрения функциональной надежности работы ПО при эксплуатации АСУТП, для определения устанавливаемого времени T_k цикла обработки алгоритмов в контроллере, необходимо руководствоваться данными, полученными или с помощью проведения эксперимента на полигоне (в крайнем случае на объекте) при максимальной загрузке информационного канала контроллера (запроса от всех рабочих станций максимальной информации от заданного контроллера), или на основе вычислений по известным для данного контроллера экспериментальным данным.

– При конструкторском проектировании необходимо провести:

– анализ применимости выбранного ИМ по ограничению на диапазон времени полного хода в конкретном канале регулирования. При невыполнении условий (4), (5) производится замена ИМ на необходимый с требуемым временем полного хода. С одной стороны для улучшения качества регулирования в динамике требуется уменьшить $T_{им}$, с другой стороны уменьшение $T_{им}$, при ограничении на минимальное время импульса $T_{имп}$, приводит к увеличению статической ошибки. Наиболее важен выбор ИМ по ограничению на $T_{имп}$ для малоинерционных объектов с большим коэффициентом усиления (для $K_p=1$, $T_{об}=17,5$ с, $\Delta x_{возм}=10\%$ получим $T_{им} \leq 25$). Для указанных типов объектов для улучшения динамической точности необходим выбор ИМ из ряда типовых с учетом ограничения (4)-(5), а также для улучшения статической точности уменьшение $T_{имп}$ в блоке ШИМ-преобразования (также следует учитывать, что уменьшение $T_{имп}$ приводит к увеличению частоты срабатывания ИМ, что является неблагоприятным режимом работы электродвигателя ИМ);

– исследование влияния коэффициента пропорциональности на заложенный закон преобразования сигнала, с целью определения ограничения на минимальный $K_p^{мин}$ и выбор рабочего диапазона датчика с учетом (9).

– При разработке алгоритмических схем контроллеров и полигонных испытаниях необходимо:

– ввести дополнительный коэффициент масштабирования на стадии разработки алгоритмических схем с учетом исследований по определению $K_p^{мин}$ и ограничений (10);

– провести исследование и расчет зависимости величины запаздывания в канале регулирования $\tau_0(T_k, L)$ с учетом последовательности соединения алгоритмов. Выполнить перерасчет параметров настройки регулятора с учетом τ_0 ;

– провести исследование влияния времени интегрирования на заложенный закон преобразования сигнала при $K_p > K_p^{мин}$, с целью определения реальных динамических характеристик (поправочных коэффициентов K_δ, T_δ). При существенном отличии реальных законов преобразования от декларируемых необходим перерасчет параметров настройки с учетом поправочных коэффициентов.

Учет всех приведенных рекомендаций возможен лишь при создании специализированных полигонов (стендов) ПТК [8, 9], как неотъемлемого этапа сквозного проектирования, и реализация на их основе демонстрационных версий систем управления, полноценно функционирующих в режиме РВ.

Список литературы

1. Штейнберг Ш.Е. Промышленные автоматические регуляторы. Под ред. Е.П. Стефани. М.: Энергия. 1973.
2. Ротач В.Я. Импульсные системы автоматического регулирования. М.: Энергия. 1964.
3. Острем К., Виттенмарк Б. Системы управления с ЭВМ/Пер. с англ. М.: Мир. 1987.
4. Тверской Ю.С., Демин А.М. К расчету систем управления с регулирующими микроконтроллерами // Изв. ВУЗов. Энергетика. Ч.1: 1991, №7, с. 102-105; Ч.2: 1991, №8, с. 86-89.
5. Курносоев Н.М., Певзнер В.В., Уланов А.Г., Яхин Е.А. Программно-технический комплекс "Квинт" // Теплоэнергетика. 1993. №10. С.2-10.
6. Голубев А.В. Исследование динамических свойств управляющих каналов программно-технических комплексов // Тез. докл. межд. науч. техн. конф. "Состояние и перспективы развития электротехнологии" (Х Бенардосовские чтения). Иваново. 2001.
7. Котельников В.А. О пропускной способности "эфира" и проволоки в электросвязи // В кн.: Матер. к I Всесоюз. съезду по вопр. техн. реконстр., дела связи и развития слаботочной промышленности. М.: Изд. правления связи РКК. 1993.
8. Тверской Ю.С., Крайнов В.К., Балдин Н.Н. и др. Основные положения концепции модернизации АСУТП энергоблока 1200 МВт Костромской ГРЭС // Новое в российской электроэнергетике. 2001. №5. С.20-27.
9. Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Голубев А.В. и др. К освоению технологии АСУТП // Там же. 2001. №8.

*Тверской Юрий Семенович – д-р техн. наук, профессор,
Голубев Антон Владимирович – аспирант кафедры "Системы управления"
Ивановского государственного энергетического университета.
Контактный телефон (0932) 38-57-82. E-mail: kafsu@su.ispu.ru*