

БЕЗУДАРНЫЙ ПЕРЕХОД ИЗ РУЧНОГО РЕЖИМА НА АВТОМАТИЧЕСКИЙ В САР УРОВНЯ ВОДЫ БАРАБАНА ПАРОВОГО КОТЛА

С.В. Батяшов, Е.И. Громаков (ТПУ), А.В. Лиепиньш (ООО «Томскнефтепроект»)

Проведен анализ различных структур регулятора, обеспечивающих безударный переход от ручного режима работы к автоматическому. Представлены рекомендации по реализации безударного межрежимного перехода для САР уровня воды барабана парового котла.

Ключевые слова: регулирование процесса, безударность режимов управления, барабан парового котла.

При эксплуатации систем автоматического регулирования (САР) возникают ситуации, когда ручное управление становится предпочтительнее автоматического. В этом случае значение выхода регулятора задается оператором вручную и «перекрывает» действие, рассчитанное регулятором [1]. Необходимость в переключении между режимами может возникать как при пуске оборудования, так и при выводе его на определенное задание работы. В ручном режиме стремятся достигнуть более высокого быстродействия «форсажного» выхода на заданный режим работы. При переключении между режимами управляющие выходы блоков ручного и автоматического управления могут не совпадать. Такое расхождение приводит к нежелательным выбросам («ударам») регулируемой величины, что негативно сказывается на ресурсе исполнительных механизмов (ИМ). Поэтому возникает задача плавного, «безударного» переключения режимов работы [2].

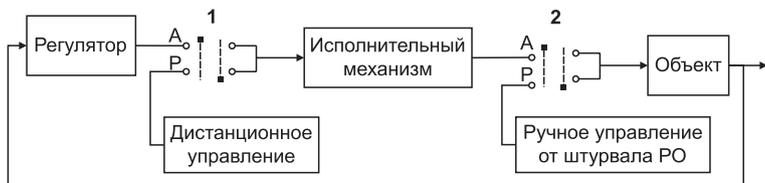


Рис. 1. Выбор режима работы (ручной/автоматический)

При решении задачи «безударного» переключения возможны следующие варианты ПИД-управления:

1) использование «форсажного» управления в ручном режиме путем подачи мощного импульса задающего воздействия (уставки) без отключения ПИД-регулятора;

2) выключение регулятора с последующей балансировкой (оптимизацией) промежуточных переменных регулятора, вызванных переключением.

Эффективным решением первого варианта являются регуляторы с двумя степенями свободы, в частности, регуляторы с весовыми коэффициентами при уставке [3].

Вариант разомкнутого регулирования многими производителями регуляторов считается более эффективным средством повышения быстродействия

и робастности систем автоматического регулирования. Согласно [3] его недостатком является необходимость знания обратной динамики объекта управления, что требует применения численных методов оптимизации.

Единого подхода для реализации численных методов оптимизации межрежимного перехода нет. В [2] предлагается обеспечить безударность с использованием закона регулирования по отклонению и блока типа зона нечувствительности. Достаточно широко при использовании ПЛК распространен подход при реализации безударного переключения посредством управления операциями интегрирования в алгоритме управления. Это означает, что для достижения плавной смены режимов производится коррекция значения интегральной составляющей, которая является элементом, накапливающим режимную разницу [4–6]. Хотя ПЛК-регулятор во время ручного управления не воздействует

на процесс, он продолжает непрерывно рассчитывать управляющее воздействие по своему алгоритму. В [6] описан вариант оптимизации путем слежения выхода регулятора за ручным заданием, поступающим на исполнительный механизм. При использовании этого подхода следует учитывать особенности привода исполнительного механизма контура ПИД-регулирования, а также структурные особенности современных средств автоматизированного управления.

Целью настоящей работы является развитие оптимизационного подхода безударного ПИД-управления с исполнительным механизмом на основе привода с постоянной скоростью как при дистанционном управлении с панели опера-

тора или контроллерного шкафа, так и при непосредственном ручном управлении его механическим штурвалом.

Варианты ручного регулирования в АСУТП

Принципиальная схема системы автоматического управления с возможностью переключения режимов работы регулятора приведена на рис. 1.

Если рассматривать иерархическую структуру АСУТП (рис. 2), то можно выделить три места в кана-

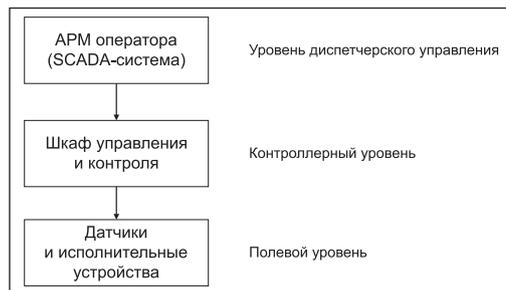


Рис. 2. Трехуровневая структура АСУТП

ле управления, из которых можно производить ручное регулирование процесса.

Во-первых, САР можно переводить в режим дистанционного управления с АРМ оператора, что соответствует уровню диспетчерского управления (рис. 2). При таком способе оператор переключает на пульте управления в SCADA-системе состояние графических изображений на мнемосхеме процесса. Происходит целенаправленное управление сигналом исполнительного органа вручную с использованием экранных графических ползунков (позиция 1 на рис. 1). Данный способ ручного управления удобен, так как оператор наблюдает на мнемосхеме множество параметров процесса, которые дают ему полное представление о его протекании. Следовательно, можно достоверно оценивать показатели ТП и производить ручное управление им эффективным образом.

Во-вторых, на ручной режим можно переходить непосредственно со шкафа управления, в котором находится регулятор. При этом выход регулятора можно задавать, например, с помощью потенциометрического датчика, подключенного к аналоговому входу регулятора. И в этом случае ручному управлению задается приоритет над значением, рассчитанным регулятором. Для наблюдения за состоянием процесса оператор использует приборы, установленные на шкафу. Осуществляя ручное управление с контроллерного шкафа, у оператора оказывается значительно меньше информации о текущем состоянии процесса, по сравнению с управлением из диспетчерского пункта.

И, наконец, можно осуществлять ручное управление непосредственно исполнительным механизмом на полевом уровне. Положение регулирующего органа задается штурвалом управления, что позволяет осуществлять непосредственное регулирование заданного параметра объекта (позиция 2 на рис. 1). Регулятор не воздействует на исполнительный механизм, но продолжает получать информацию с датчиков и рассчитывать управляющее воздействие. Так как регулирующий орган обычно находится вблизи объекта регулирования, то при таком варианте ручного управления можно на полевом уровне эффективно управлять состоянием регулируемого процесса.

Описание системы автоматического регулирования

Пусть, для определенности, объектом управления САР (рис. 3) является барабан парового котла с регулируемой переменной — уровнем в барабане. В качестве исполнительного механизма используется привод постоянной скорости. Основными факторами,



Рис. 3. Структурная схема САР

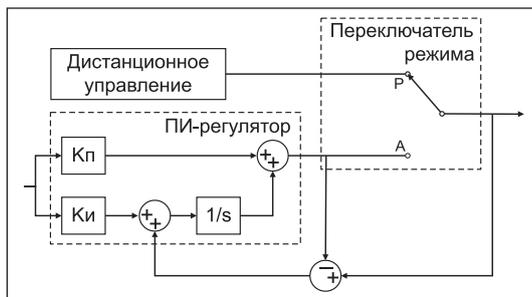


Рис. 4. Пересчет интегральной составляющей

влияющими на величину уровня в барабане котла, являются расход пара и расход питательной воды. В соответствии с теорией автоматического управления динамическую модель барабана котла при изменении как расхода пара, так и расхода питательной воды можно рассматривать как сумму передаточных функций интегрирующего и инерционного звена [7]. Целью регулирования является поддержание уровня воды в барабане при малой величине допустимого отклонения. Для регулирования уровня используется трехимпульсная схема регулирования. ПИД-регулятор формирует сигнал управления на основе измерений уровня воды, расхода пара за котлом и расхода питательной воды перед котлом.

Реализация плавного переключения режимов

Пусть при переключении от ручного режима работы на автоматический ставится задача безударного перехода. Такой переход реализуется эффективно регуляторами, в составе которых имеется интегральная составляющая, например в случае ПИ-настройки регулятора. Для устранения резкого скачка на выходе регулятора его интегральная составляющая при работе в ручном режиме пересчитывается автоматически. Схема, реализующая такой алгоритм, показана на рис. 4

В соответствии с этим алгоритмом интегральная составляющая сигнала управления регулятора накапливает разницу между значением, рассчитанным автоматически и заданным вручную. Если использовать это накопленное значение для коррекции режимной разницы сигнала управления приводом, то можно достичь плавного переключения режимов. Этот алгоритм автоматического пересчета применим как при управлении посредством АРМ оператора, так и при управлении с контроллерного шкафа.

Однако в случае использования исполнительного механизма постоянной скорости интегрирующая составляющая ПИД-регулирования может только ухудшить процесс регулирования (в контуре регулирования появляется двойное интегрирование, вызванное действием ПИД-регулятора и исполнительного механизма). В дополнение к этому следует учитывать интегрирующие свойства объекта управления.

Безударное регулирование с использованием ручного управления с контроллера юнита или со SCADA экрана

Моделирование режимов работы САР в среде Matlab показывает, что устранить «удар» по скорости перемещения исполнительного механизма для САР с П и ПД настройками ПИД-регулятора путем пересчета коэффициентов регулятора не представляется возможным (рис. 5), так как не осуществляется накопление истории сигнала регулятора в промежутке времени между ручным заданием и автоматическим регулированием. Проведенные модельные исследования показали, что для САР с приводом постоянной скорости и ПД-регулятором, в частности, можно лишь снизить в некоторой (небольшой) мере скачок при переходе между режимами.

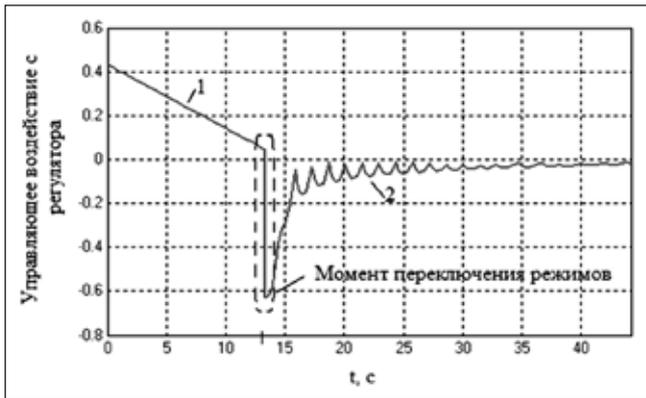


Рис. 5. Выход регулятора при комбинации ручного и автоматического управления, где 1 – сигнал ручного задания, 2 – сигнал автоматического регулятора

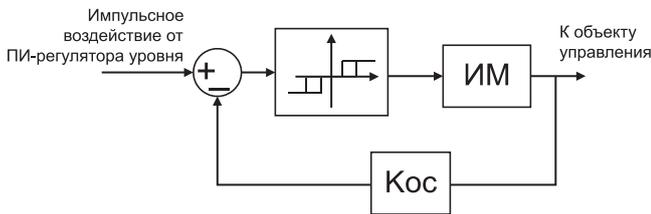


Рис. 6. Структурная схема исполнительного механизма

Поэтому для реализации безударного переключения управления предлагается воспользоваться каскадной схемой регулирования. Основная идея такого решения состоит в том, что внутренний контур каскадной схемы формирует позиционное перемещение регулирующего органа и тем самым во внешнем контуре исключается интегрирующая составляющая привода, и следовательно, появляется возможность ПИ-настройки его регулятора. При использовании привода постоянной скорости и импульсного алгоритма регулирования ИМ за счет использования контура обратной связи по положению регулирующего органа (рис. 6) с достаточной для практического применения точностью, можно реализовать его пропорциональное перемещение [8]. Импульсный ПИД-регулятор при этом будет задатчиком этого контура регулирования

Для безударного переключения можно использовать схему пересчета, приведенную на рис. 4. Результат такого управления показан на рис. 7-б, где можно видеть, что ударный эффект переключения практически исчезает (сравните с рис. 7-а).

Безударное регулирование с использованием ручного управления на полевом уровне

При ручном управлении исполнительным механизмом с использованием механического штурвала перемещения исполнительного органа схема на рис. 4 не применима, так как точка приложения ручного воздействия в контуре регулирования находится после исполнительного механизма (ИМ), а не после регулятора, как это реализовывалось оператором АРМ.

Поэтому для реализации автоматического ПЛК-алгоритма пересчета, сигнал положения исполнительного механизма в ручном режиме следует скорректировать посредством учета обратной передаточной функции исполнительного устройства $W_{ИМ}^{-1}(s)$. Согласно [7] ИМ со структурной схемой, показанной на рис. 7, приближенно реализует П-закон регулирования с коэффициентом передачи:

$$W_{ИМ}(s) = \frac{1}{K_{oc}}$$

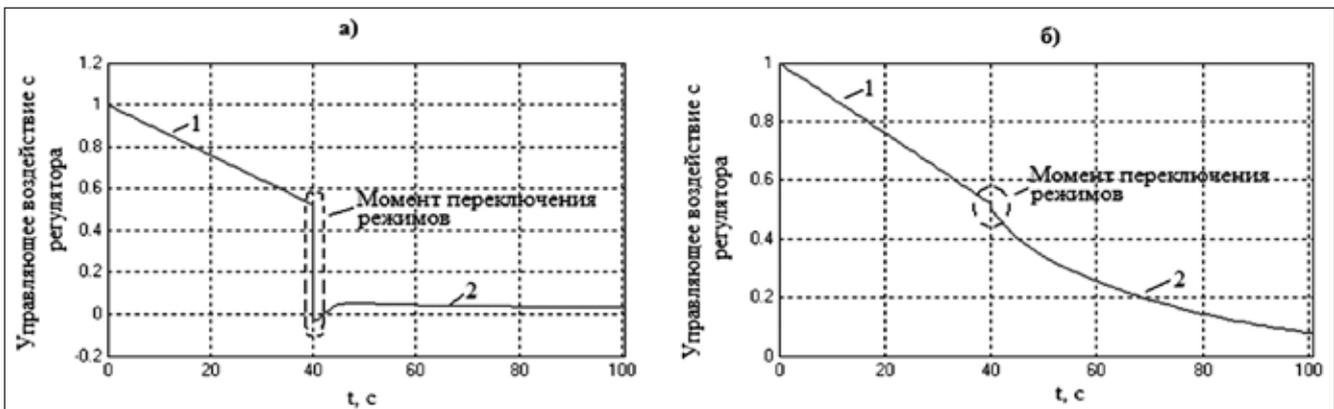


Рис. 7. Выход регулятора при комбинации ручного и автоматического управления

а) без пересчета интегральной составляющей, б) с пересчетом интегральной составляющей; 1 – сигнал ручного задания, 2 – сигнал автоматического регулятора

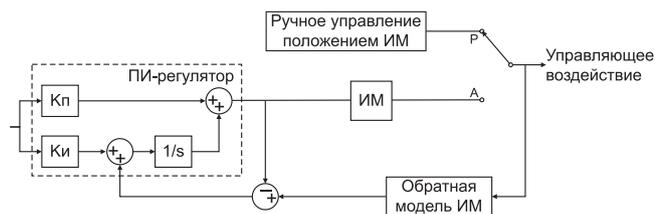


Рис. 8. Пересчет интегральной составляющей для ручного управления ИМ

где $W_{ИМ}(s)$ — передаточная функция исполнительного механизма; $K_{ос}$ — коэффициент обратной связи.

Тогда обратная передаточная функция исполнительного механизма будет равна:

$$W_{ИМ}^{-1}(s) = K_{ос}.$$

Динамику переходных процессов исполнительного механизма можно не учитывать, так как процессы управления в ручном режиме медленные.

Устранить скачок при переходе от ручного режима на полевом уровне к автоматическому управлению процессом можно с использованием переключателя, расположенного на пульте ручного управления котлом. Схема реализации такого переключения показана на рис. 8. При этом структура системы, реализующая безударный переход между режимами, изменится по сравнению со случаями ручного управления на верхних уровнях АСУТП. Такая модификация обусловлена особенностью точки приложения ручного воздействия в контуре регулирования, которая в свою очередь приводит к необходимости вводить в схему пересчета обратную передаточную функцию исполнительного механизма.

На рис. 9 показаны графики ручного изменения положения исполнительного механизма для системы регулирования уровня в барабане парового котла и переход на автоматическое управление.

Без использования алгоритма пересчета (график 1, рис. 9) положение исполнительного механизма при переходе в автоматический режим изменяется скачком, возникает «удар». Применение пересчета позволяет добиться плавного перехода между режимами (график 2, рис. 9).

Вывод

В системах автоматического регулирования режим ручного управления может осуществляться тремя способами: от АРМ оператора, на щите автоматики и непосредственным ручным управлением положения исполнительного механизма. Используя любой из перечисленных способов ручного управления,

Евгений Иванович Громаков — канд. техн. наук, доцент Томского политехнического университета,
Андрей Вилнисович Лиепиньш — канд. техн. наук, директор по развитию ООО «Томскнефтепроект»,
 заведующий кафедрой интегрированных компьютерных систем управления

Томского политехнического университета.
 Контактный телефон (3822) 783-601.

E-mail: batiashovsv@gmail.com, gromakov@tpu.ru, LiepinyshAV@tomsknefteprojekt.ru

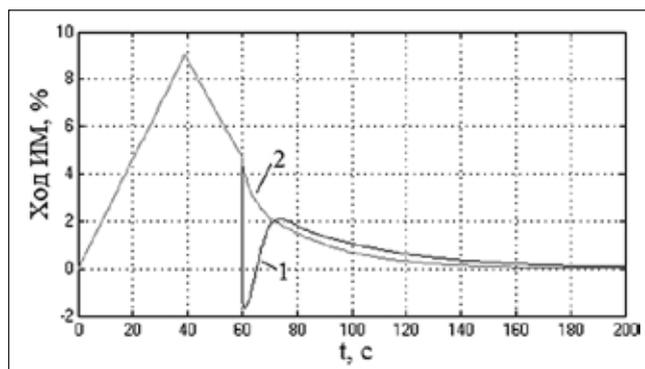


Рис. 9. Эффект от безударного переключения

можно реализовывать безударный переход от ручного к автоматическому режиму. Плавность переключения достигается за счет пересчета в динамике интегральной составляющей регулятора. Для ручного управления с использованием механического штурвала перемещения исполнительного органа требуется дополнительная модификация регулятора. Суть модификации заключается в коррекции сигнала регулятора в период работы в ручном режиме посредством обратной передаточной функции исполнительного устройства.

Список литературы

1. Прангишвили И.Р., Амбарцумян А.К. Основы построения АСУ сложными технологическими процессами. М.: Энергоатомиздат. 1994.
2. Севастьянов Б.Г. Безударность и надежность систем автоматического регулирования // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №12. 2007.
3. Денисенко В.В. Разновидности ПИД-регуляторов // Автоматизация в промышленности. 2007. №6.
4. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. Ч. 1 // Astrom, K.J. and Hagglund T. Advanced PID control. ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society). 2006.
5. Автоматические регуляторы и устройства с расширенными функциональными возможностями // АТМ - Комплексная автоматизация технологических процессов. URL: http://atm-tech.ru/PublicContent/Files/RFV_1.PDF.
6. Журавлев А.А., Шит М.Л., Попонина О.Б., Шит Б.М. Синтез и анализ законов управления системой регулирования уровня в барабане газомазутного парового котла с учетом экономии энергоресурсов // Проблемы региональной энергетики. №1. 2005.
7. Клюев А.С., Лебедев А.Т., Клюев С.А., Товарнов А.Г. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие. Под ред. А.С. Клюева. 3-е изд., стереотипное. Перепечатка со второго издания 1989 г.- М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2009.

Сергей Владимирович Батяшов — магистрант,