



АСУ для ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ш. Е. ШТЕЙНБЕРГ (ЦНИИКА),
Л. П. СЕРЕЖИН, И. Е. ЗАЛУЦКИЙ,
И. Г. ВАРЛАМОВ (НПО Техноконт)

Проблемы создания и эксплуатации эффективных систем регулирования

*Главный порок промышленных систем регулирования –
"слабые" настройки регуляторов!*

Анализируются причины потерь качества САР, выявленные статистическими исследованиями фирмы Honeywell на 350 предприятиях. Рассматривается возможность использования в промышленности существующих предложений, предназначенных для улучшения качества САР. Описывается новая технология настройки САР, позволяющая улучшить качество систем для промышленных условий эксплуатации.

The paper analyses the causes of automatic control system performance degradation that was detected by statistical studies undertaken by Honeywell at 350 plants. It discusses the possibility of industrial application of existing solutions intended for control performance improvement. A new technology of control loop tuning, which enables the improvement of control performance for field operation is further described.

Статистика действующих систем регулирования

На промышленных установках основа экономического эффекта от АСУТП – качество работы системы регулирования. Исследование качества этих систем проведено компанией Honeywell. Результаты опубликованы в конце 2003 г.¹

На 350 предприятиях в различных отраслях промышленного производства анализировались 100000 контуров регулирования, находящихся в эксплуатации не менее 5 лет.

Численные данные по работе контуров таковы. На различных предприятиях 49 – 63 % контуров работает со

"слабыми" (приближенными к размыканию контура) настройками. В эту группу включены как контуры, настройки которых ослаблены для обеспечения работы контура при изменении режима работы объекта (например, нагрузки), так и необоснованно чрезмерно ослабленные настройки (т.е. по существу регуляторы отключены, контур почти разомкнут). В среднем примерно треть контуров работает с нормальными настройками, треть – с ослабленными, треть – практически разомкнуты "слабыми" настройками.

К группе с намеренно "ослабленными" настройками отнесены и контуры с плохими регулирующими органами (люфт, выбег, гистерезис и т.п.). При обследовании было выявлено 16 % таких контуров. Несмотря на большое число плохо работающих контуров, за предыдущие 2 года настраивались только 4,4 % регуляторов.

Причины низкого качества работы контуров регулирования

(Мнение специалистов фирмы Honeywell)

Фирмой проведен опрос специалистов по наладке систем регулирования о причинах низкого качества их эксплуатации. Их мнения можно сформулировать следующим образом:

- подавляющее большинство контуров функционирует в сложных структурах систем регулирования с перекрестными связями в объекте. Поэтому эти контуры взаимодействуют друг с другом через перекрестные связи. Таких контуров, действующих на настраиваемый контур, может быть 10, а в большинстве случаев 2-3. Настройки каждого контура существенно зависят от характеристик других контуров, в том числе от параметров настройки регуляторов в этих контурах. Поэтому настройка таких систем – очень сложная задача;

- если в многомерной системе неправильно настроен один контур, чаще всего это проявляется в появлении периодических колебаний одной частоты с разными амплитудами и фазами во всех взаимодействующих контурах. Определить контур с регулятором – виновником плохой работы системы (корневой контур) – весьма трудная задача;

- в современных условиях эксплуатации систем регулирования в составе АСУТП один инженер, занимающийся настройкой регуляторов, отвечает более, чем за 400

¹ Rich Merritt Some Process Plants Are Out of Control // Control December 01. 2003 (<http://www.controlmag.com>)

контуров. В этих условиях ликвидировать возникающие в системе предаварийные ситуации можно только наиболее простыми приемами, заключающимися в ослаблении настройки регуляторов. При этом будет снижаться качество работы системы, т.е. прибыль, но функционирование процесса в этих условиях допустимо.

Рассмотренные выше исследования проведены, вероятно, не в России. Но вряд ли статистика эксплуатации САР в России лучше приведенных данных. Нашим предприятиям обычно приходится работать с менее стабильными характеристиками сырья и материалов, с худшей организацией труда. Хотя, судя по данным, приведенным в работе [1], на наших тепловых станциях инженер отвечает за 40 -50 контуров.

По существу, опубликованные результаты как в части основных симптомов, так и в части перечисленных причин, соответствуют выводам, высказанным в работах [1, 2]. Однако, по нашему мнению, перечисленные причины (многомерность и недостаток обслуживающего персонала) являются следствиями других причин, которые мы постараемся обсудить в этой статье. Здесь также будет рассмотрена возможность использования в промышленных условиях существующих предложений, позволяющих улучшить качество САР.

Первопричины низкого качества работы систем регулирования

Основной недостаток действующих систем регулирования, снижающий прибыль предприятий, – “слабые настройки” контуров на процесс.

По мнению специалистов фирмы Honeywell причины, обуславливающие плохие статистические показатели качества систем регулирования – многомерность реальных систем регулирования и недостаточность времени у обслуживающего персонала. Но даже если в эксплуатации находятся только одномерные системы, как правило, настройки будут ослаблены. Это объясняется зависимостью характеристик объекта от режима его работы (нагрузки, состава топлива, сырья, материалов, используемого оборудования и т.д.).

Поскольку эксплуатационный персонал, обслуживающий САР, не имеет времени на перенастройку системы при любых изменениях режима, обычно происходящих не реже 2-3 раз в сутки, ему приходится использовать “всережимные”, т.е. слабые настройки. Эти настройки будут соответствовать режиму, требующему таких настроек, а вовсе не наиболее долговременному режиму. Но предположим, что персонал располагает достаточным временем для перенастроек. И в этом случае следует признать нереальность использования на промышленных агрегатах существующих методик расчета настроек. Все эти методики в качестве входной информации для расчета используют некоторые упрощенные модели объекта с известными параметрами или характеристики незатухающих колебаний в замкнутой системе.

В первом случае, чтобы получить параметры модели, рекомендуется нанести возмущение выбранной формы регулирующим органом при отключенном регуляторе и записать переходный процесс. *Во втором* – незатухающие колебания, характеристики которых нужны для расчета настроек, возбуждаются в свободном движении

замкнутой системы с помощью настроек регулятора или специально встроенного реле. При вынужденном движении на вход регулятора или на ИМ подаются периодические (обычно гармонические) колебания на нескольких частотах.

Следовательно, чтобы получить параметры настройки, необходимо организовать и провести на действующих промышленных установках эксперимент с выводом объекта из нормального режима работы на длительное время. Для многих наиболее ответственных процессов (вытягивание кристаллов, прокатные и сталеплавильные процессы, некоторые энергетические агрегаты) такие эксперименты требуют весьма ощутимых экономических затрат. Но, пожалуй, наиболее печально, что проведенная работа выполнена в значительной степени впустую, поскольку параметры модели объекта изменяются в зависимости от режимов работы установки, характеристик сырья и других, часто ненаблюдаемых возмущений.

Например, в статье [3] опубликованы результаты идентификации нескольких каналов парового котла. Параметры модели в зависимости от режима меняются в 2-3 раза. Следовательно, если невозможно в промышленных условиях пользоваться предлагаемыми методиками, остается только один выход: чтобы обеспечить необходимый запас устойчивости в широком диапазоне изменения параметров модели объекта, приходится устанавливать “слабые” настройки. Это, как показывают результаты статистического исследования, и делают на предприятиях. Разумеется, для многомерных систем названное условие многократно усложняется, поскольку изменение характеристик каждого контура требует перенастройки всех взаимозависимых контуров системы.

Используя данные исследования фирмы Honeywell, можно определить численность персонала, необходимого для реализации перенастроек. По нашим наблюдениям, чтобы использовать возможности стандартных регуляторов, нужно проводить на нескольких контурах не менее 2 – 3 перенастроек в сутки (при описанных в работе [2] испытаниях адаптивного регулятора его настроечные параметры менялись адаптивной приставкой 5 – 8 раз в сутки). Даже если считать, что из 300 контуров только 10 нуждаются в перенастройке и можно обойтись всего двумя перенастройками в сутки при полученной фирмой Honeywell производительности, нужно увеличить обслуживающий персонал более, чем в 1000 раз. Очевидно, такое увеличение бессмысленно и нужно искать другие пути решения проблемы.

Суммируя сказанное, можно сделать следующее заключение: первопричиной ослабленных настроек и, соответственно, качества функционирования систем регулирования являются достаточно частые изменения характеристик объекта. Эти изменения вызваны переменным режимом работы объектов, свойствами ИУ и регулирующих органов, взаимозависимостью контуров в многомерных системах. В настоящее время эксплуатационный персонал не имеет годных для промышленных условий методических и инструментальных средств распознавания происшедшего нарушения работы контура и методов необходимого пересчета настроек. В условиях эксплуатации *единственный выход* – ослабить настройки, добиваясь снижения, таким образом, взаимовлияния

контуров, обеспечения необходимого запаса устойчивости при любых возможных режимах работы объекта. Качество работы систем при этом очевидно хуже, а прибыль меньше достижимых при настройках, соответствующих характеристикам объекта.

Пути повышения качества систем регулирования

Предлагаемые решения

За последние 50 лет появилось большое число предложений, призванных улучшить качество регулирования. Среди этих предложений основной объем занимают оптимальные решения задач, построенных на известных точных моделях регулируемого объекта, заданных возмущениях, известных показателях качества и т.п. Эти решения, успешно развиваемые в многочисленных монографиях и диссертационных исследованиях, можно отнести к достижениям в области решения вариационных задач прикладной математики.

К сожалению, можно констатировать, что для целей автоматизации промышленных процессов практически не востребованы даже такие крупные успехи теории управления, как динамическое программирование и оптимальная фильтрация. Кто виноват в этом? Управленцы-математики, не умеющие довести свои результаты до практического использования в задачах автоматизации? Инженеры, занимающиеся созданием, наладкой, эксплуатацией АСУ в промышленности и не имеющие руководств для практического использования?

Оставим предложения теории управления за рамками рассмотрения настоящей статьи. Может быть, как предмет дискуссии на тему: "Возможность использования теории управления в практике автоматизации промышленных объектов". Рассмотрим круг предложений, касающихся повышения качества систем регулирования. Краткий обзор предложений, предназначенных для улучшения качества работы систем регулирования, проведем, пользуясь следующей классификацией.

Использование дополнительной информации о возмущениях, поступающих в регулируемый контур

К этим предложениям относятся разного рода компенсаторы наблюдаемых возмущений. Такие компенсаторы могут пользоваться информацией непосредственно от измерителя возмущения, а могут измерять некоторую (промежуточную) переменную, которая отзывается на поступившее ненаблюдаемое возмущение несколько раньше регулируемой переменной. Аппаратурно эти предложения реализуются обычно в виде многоимпульсных регуляторов и каскадных схем. Ввод в регулятор импульса от приведенного возмущения или из промежуточной точки по постановке задачи идентичны использованию каскадных схем.

Названные предложения плодотворны и широко используются в практике построения систем регулирования, обеспечивая часто существенное улучшение качества при эксплуатации. Однако эти предложения не устраняют основного недуга промышленных систем регулирования слабых настроек в основном контуре. В этом смысле рассматриваемые предложения, хотя и зависят от приведенной модели канала возмущения, обычно сохраняют компенсационные свойства при изменении характеристик модели основного регулируемого объекта.

Использование модели для прогноза регулируемой переменной. Повышение порядка уравнения управляющего устройства

Среди известных вариантов этих предложений могут быть названы упредитель Смита, фильтр (наблюдатель) Люэнберга и другие. При использовании прогноза эти предложения позволяют улучшить характеристики объекта, например, исключить запаздывание (упредитель Смита). Для преобразованных объектов можно устанавливать более сильные настройки. Но сильные настройки – это уменьшение области устойчивости в пространстве параметров модели объекта. Парадокс поиска этих лучших решений заключается в том, что введение дополнительных параметров, нелинейностей, повышение порядка с целью улучшения качества приводит к уменьшению области устойчивости в пространстве параметров модели объекта (границы D-разбиения).

При изменяющихся характеристиках объекта вероятность потери системой устойчивости возрастает, изменение характеристик объекта будет еще более существенно сказываться на изменении качества системы. Поэтому вполне успешные результаты использования, например, упредителя Смита в лабораторных условиях становятся отрицательными на промышленных объектах. Использование прогнозаторов конструктивно только при наличии относительно качественных и, главное, неизменных моделей.

Использование оптимальных нелинейных управляющих устройств

Изменение параметров настройки регуляторов в зависимости от значений регулируемой переменной и регулирующего органа.

Уравнения управляющих устройств этой группы алгоритмов содержат нелинейные зависимости. На этой основе строятся алгоритмы регуляторов с переменной структурой, некоторые алгоритмы регуляторов, использующих при построении математический аппарат теории нечетких множеств (fuzzy logic). Известны многочисленные работы, авторы которых решали задачу синтеза оптимального управления в классе произвольных (нелинейных) функций.

Модель объекта описывалась при этом линейным уравнением. Такие решения найдены, например, для критерия максимального быстродействия, минимального квадратичного критерия [4]. Как правило, использование этих приемов позволяет получить некоторое улучшение качества переходных процессов при заданном виде возмущения. Однако парадокс, высказанный выше, проявляется еще острее. Поэтому для промышленных условий с приближенными моделями, с изменяющимися параметрами этих моделей, разнообразными возмущениями и помехами вряд ли удастся воспользоваться оптимальными решениями.

Использование адаптивных и приспосабливающихся систем

Для удобства изложения мы будем называть здесь **адаптивными** системами такие, в которых автоматически выполняются все операции настройки регулятора на регулируемый объект. В приспосабливающихся системах часть этих операций или решений выполняется оператором.

Для систем с существенно изменяющимися характеристиками объекта возможны 2 стратегии, приводящие к нормальной эксплуатации САР, т.е. позволяющие исключить постоянные отключения регуляторов и переход на ручное управление:

1. Использование “слабых”, но всережимных настроек.
2. Обеспечение адаптации настроек регуляторов в системах к изменяющимся характеристикам объектов.

Всережимная настройка стандартных регуляторов, обеспечивающая робастность (грубость) систем регулирования к изменению характеристик объекта, в конечном счете, может быть реализована только путем ослабления настроек регулятора, что и делается на промышленных предприятиях, как показывают исследования фирмы Honeywell.

Обычно для расчета значений этих всережимных (робастных) настроек используется какой-либо из следующих подходов:

- объявление параметров модели объекта случайными величинами с заданными законами и параметрами распределений;
- расчет системы с заданным запасом устойчивости на наиболее неблагоприятные из возможных значения параметров модели объекта. Поскольку при других значениях параметров этот запас устойчивости должен быть обеспечен, то этот подход приводит также к слабым настройкам.

Таким образом, оказывается, что единственной альтернативой использованию в промышленных системах потерь прибыли из-за слабых настроек является построение приспособляющихся и адаптивных систем. Более того, адаптация, построенная на идентификации модели объекта, открывает дорогу к использованию других, рассмотренных выше предложений, направленных на повышение качества действующих систем регулирования. Заметим, что идентификация параметров модели не является единственно возможным способом построения адаптивных алгоритмов. Анализ ситуации с использованием на промышленных объектах адаптивных и приспособляющихся систем посвящен следующий раздел статьи.

Адаптация и приспособлявание – основной путь повышения качества промышленных систем регулирования

ТПЗС – этап решения задачи промышленного использования адаптивных алгоритмов

В последние 3 – 4 десятилетия после периода интенсивной разработки и ввода в эксплуатацию различных адаптивных устройств к регуляторам в настоящее время имеет место практически повсеместное разочарование возможностью их использования и их дискредитация. Трудно не согласиться с этим явлением.

Многочисленные алгоритмы построения адаптивных устройств [4] для распознавания происшедших изменений и идентификации используют в большинстве случаев автоматический периодический ввод в разомкнутый контур специально генерируемых возмущений, либо вывод замкнутого контура на границу устойчивости или в режим устойчивых автоколебаний. В условиях экс-

плуатации такие возмущения, несанкционированные технологическим персоналом, часто недопустимые в текущей ситуации, обычно приводили к необходимости выключения адаптивных устройств.

В то же время стремление без специальных возмущений использовать для адаптации статистическую близость записей наблюдаемых переменных и их моделируемых значений приводило к недопустимым ошибкам определения параметров моделей. Эти ошибки вполне естественны, поскольку минимизируемые статистики приходилось вычислять при различных возмущениях, на статистически недопустимо коротких выборках, полученных в условиях нестационарных помех с неизвестными распределениями.

Несанкционированный ввод возмущений и ложные шаги, появляющиеся в САР при включении адаптивных устройств, конечно, приводили к их отключению и их дискредитации. Чтобы найти другие, менее болезненные для эксплуатации методы адаптации регуляторов к характеристикам объекта, обратимся к опыту практиков, настраивающих системы регулирования. Они используют для установки параметров регуляторов только наблюдения за поведением регулируемой переменной и ИМ. Одной-тремя итерациями устанавливают параметры настройки, обеспечивающие поведение регулируемого контура, близкое в их понимании к оптимальному.

Эти итерации обычно выполняются без знаковых ошибок, т.е. решение об ослаблении или усилении настроек принимается однозначно. При итерациях подбирают только шаг изменения выбираемых параметров настройки. Наблюдаемые процессы, на основе свойств которых проводится перенастройка, выбираются по записям переменных в процессе нормальной эксплуатации при известных записанных возмущениях.

Чаще всего эти возмущения по нагрузке или по заданию имеют ступенчатую форму. Во многих случаях наладчики сами наносят небольшие возмущения, предупредив об этом оператора – технолога. Возмущения, введенные в замкнутый контур регулирования, не вызывают отторжения операторов-технологов, поскольку режим нормальной эксплуатации и представляет собой постоянное “гашение” регулятором такого типа воздействий.

Итак, при наладке контуров регулирования наладчик, подбирая параметры настройки, в действительности осуществляет интуитивное преобразование наблюдаемых переходных процессов в действующей системе к необходимым ему параметрам настройки регулятора. Такое преобразование – сложная задача, особенно для систем с запаздыванием в объекте. Но по постановке задача разрешима, поскольку переходные процессы в замкнутой системе при заданных видах моделей объекта, регулятора, возмущения содержат всю информацию о параметрах модели объекта.

Стало быть, при известных параметрах становятся известными и параметры замкнутой системы. Остается только так изменить параметры регулятора, чтобы получить оптимальный показатель качества. Правда, из-за помех, дополнительных ненаблюдаемых воздействий строгие аналитические решения как в части определения параметров модели объекта, так и в определении оптимальных параметров регуляторов практически неосуществимы.

По существу, среди многих возможных аппроксимаций, позволяющих найти решение, следует выбрать алгоритмы, позволяющие за одну итерацию получить настройки, наиболее близкие к оптимальным. Находить строгое действительно оптимальное решение нецелесообразно. Ведь используемое формальное или неформальное преобразование переходного процесса в параметры настройки базируется на приближенных характеристиках объекта, регулятора и возмущений.

Описанные выше алгоритмы базируются на привычных для специалистов по расчетам систем регулирования понятиях и формах их описания. В частности, аппроксимационная (феноменологическая [4]) модель представляется параметрами, которые определяют линейное дифференциальное уравнение с запаздыванием, описывающее объект. Но обязательно ли преобразование только через привычные формы модели объекта? Может быть, не нужно искать параметры модели объекта? Достаточно найти соотношения между некоторым вектором числовых характеристик переходного процесса в замкнутой системе и оптимальными значениями параметров настройки регулятора.

Важно только, чтобы эти выбранные характеристики содержали информацию о параметрах модели объекта. Именно на этом принципе разработана методика Циглера, Никольса, где в качестве выбранных характеристик используются период незатухающих колебаний замкнутой системы с П регулятором и значение коэффициента пропорциональности регулятора. Предлагаются зависимости, позволяющие найти значения параметров П, ПИ, ПИД регуляторов, оптимальных в определенном смысле.

Методика Циглера, Никольса не может быть использована для адаптации, поскольку требует недопустимых для промышленных объектов режимов – вывода контура регулирования на границу устойчивости, что вряд ли допустимо и для специально организованных испытаний на большинстве объектов. Но ведь нужно сделать еще только “маленький шаг” – использовать вместо характеристик незатухающих колебаний характеристики переходных процессов в замкнутой системе при привычных для эксплуатации возмущениях.

Эти преобразования, т.е. методы распознавания необходимости перенастройки и расчет параметров настройки по реакции замкнутой системы регулирования на заданный вид возмущений в соответствии с работой [1], будем называть Технологией перенастройки замкнутых систем (ТПЗС). К ТПЗС мы будем относить все виды рассматриваемых преобразований как с предварительным определением параметров модели, так и с непосредственным переходом от характеристик тестового переходного процесса к оптимальным параметрам настройки. Важно только, чтобы для решения поставленных задач, если необходим ввод возмущений, они должны быть введены или разрешены оператором. Эти возмущения могут вводиться только в замкнутую систему, должны иметь ступенчатую или прямоугольную форму. Параметрические возмущения, выводящие замкнутую систему в режимы незатухающих или автоколебаний, недопустимы в ТПЗС.

Наряду с рассмотренными выше прямыми методами адаптации настроек к изменяющимся характеристикам объекта, ТПЗС предполагает возможность использования также регламентных методов адаптации. Суть регламентных методов заключается в предварительном составлении зависимости параметров настройки от измеряемых переменных режима объекта. Например, в работе [3] содержатся таблицы параметров модели парового котла в зависимости от его нагрузки. Эти параметры модели могут быть пересчитаны в значения настроек.

Таким образом, настройки будут поставлены в соответствие нагрузке, и, поскольку нагрузки измеряются, может быть реализовано автоматическое изменение настроек при изменении нагрузки. Регламентные методы для адаптации представляют собой аналог компенсации возмущений в системах регулирования. Их использование позволяет значительно улучшить качественные характеристики адаптивных алгоритмов.

Однако их использование без ввода прямых методов невозможно из-за накапливающейся ошибки, как невозможно и регулирование по возмущению без ввода регулирования по отклонению. Предполагается, что на основе ТПЗС могут быть построены вначале приспосабливающиеся и на их основе и адаптивные системы, которые смогут эксплуатироваться в промышленных условиях. Разработка алгоритмов и программ, реализующих преобразование ТПЗС, проводящаяся совместно ЦНИИКА и Техно-конт, более подробно рассматривается ниже.

Сформулируем требования, которым, по нашему мнению, должны подчиняться методы, алгоритмы и инструментальные средства ТПЗС, предназначенные для автоматизации в промышленных условиях адаптации настроек регуляторов к изменяющимся характеристикам объекта. Эти требования, разумеется, не распространяются на испытания, организованные для исследования характеристик объекта и составления режимных карт.

- Для распознавания изменений характеристик объекта, обуславливающих перенастройку, возможно только использование записей входной и выходной переменных, получаемых в режиме нормальной эксплуатации. Ввод в систему с этой целью тестовых воздействий недопустим.

- Для идентификации параметров модели допустим ввод в замкнутый контур ступенчатых или других, выбранных при создании алгоритмов, видов тестовых воздействий. Ввод этих воздействий может осуществляться только по разрешению оператора, определяющего время, место и знак тестового возмущения. Размыкание контура, ввод контура в автоколебания, вывод контура на границы устойчивости недопустимы.

- Адаптивные и тем более приспосабливающиеся системы должны осуществлять коррекцию настроек только в случае нарушения системой регулирования заданных норм качества (выбег, число реверсов перерегулирование и т.п.). Обнаружение недопустимых для установленных настроек изменения характеристик объекта не является достаточным признаком необходимости коррекции настроек.

Инструментальные средства для приспособливания, построенные на ТПЗС

Анализ статистических данных, приведенный выше, показывает, что персонал, обслуживающий системы регулирования, не располагает временем для проведения специальных испытаний, необходимых для настройки по известным методикам. С другой стороны, регуляторы нуждаются в достаточно частых перенастройках, связанных с суточными изменениями режима работы установок. Особенно важно проведение частых перенастроек в многомерных системах. Не имея ни времени, ни годных для промышленных условий методов для перенастроек, персонал, обслуживающий системы регулирования вынужден пользоваться всережимными, т.е. так называемыми “слабыми настройками”, обеспечивающими на всех режимах запас устойчивости не меньше технологически необходимого. В результате качество регулирования, а, следовательно, и прибыль предприятия оказываются существенно сниженными по сравнению с нормальными (близкими к оптимальным) настройками.

Выходом из создавшейся ситуации в значительной степени может быть предложенная в работе [1] новая ТПЗС. Суть этой технологии состоит в том, что для расчета параметров настройки используются переходные процессы, возникающие в замкнутых системах при ступенчатом возмущении по нагрузке или по заданию при произвольных настройках и законах регулирования (тестовые переходные процессы). Процессы в замкнутых системах, которые могут быть использованы как тестовые, возникают при нормальной эксплуатации обычно значительно чаще, чем существенная смена режимов.

Кроме того, ввод в замкнутую систему ступенчатых и прямоугольных возмущений по нагрузке или заданию обычно не вызывает у операторов-технологов отторжения, поскольку такие возмущения свойственны нормальной работе промышленных установок.

Для настройки стандартных регуляторов в приспособляющихся системах ЦНИИКА и Технокант на основе ТПЗС разработали несколько модификаций программ, используемых различными промышленными предприятиями. Такие программы, построенные на ТПЗС, рассчитывают параметры настройки, используя разные компоненты входной информации. Например, записи переходных процессов регулируемой переменной и регулирующего органа или переходный процесс регулируемой переменной и параметры настройки тестового процесса. Записи возмущений не требуются.

Форма возмущения, вызвавшего тестовый процесс, принципиального значения не имеет, хотя алгоритмы программ для разных форм возмущений могут быть разными. Основная модификация программы P.I.D.-expert наряду с рекомендуемыми настройками выбранного закона регулирования сообщает пользователю параметры аппроксимационной модели. Программы P.I.D.-expert рассчитывают настройки и параметры моделей для одномерных систем, каскадных систем, систем с промежуточной точкой. Эти программы могут использоваться для объектов с самовыравниванием и без самовыравнивания (интегральных).

Наряду с приведенными выше расчетами программы P.I.D.-expert вычисляют характеристики качества настроенной системы, статистики задаваемых переменных, позволяют моделировать поведение системы регулирования при выбранных пользователем параметрах настройки, на графиках сопоставляются процессы с рассчитанными настройками и с любыми другими.

Использование специальной методики позволяет рассчитывать настройки и находить модель для многомерных систем регулирования. В многомерных замкнутых системах найденная по каждому контуру модель аппроксимирует поведение приведенного к данному каналу объекта.

Приведенный объект содержит колебательные контуры других каналов. Описание такой усложненной модели уравниванием первого порядка с запаздыванием может привести к дополнительным ошибкам в расчете настроек и показателей качества. Регулирование объектов, модели которых описываются колебательными звеньями – актуальная проблема не только для настройки многомерных систем, но и для некоторых одномерных контуров промышленных и непромышленных процессов (например, космических аппаратов). Однако реальные методики расчета таких систем стандартными регуляторами отсутствуют.

Заключение

Сформулируем основные тезисы настоящей статьи.

1. Проведенные фирмой Honeywell исследования выявили низкое качество работы систем регулирования на промышленных предприятиях. Главный недостаток в работе действующих систем – ослабленные настройки стандартных регуляторов, существенно снижающие прибыль, но позволяющие сохранить работоспособность систем регулирования при изменяющихся режимах работы промышленных установок.

2. Главные причины, вынуждающие эксплуатационный персонал использовать слабые настройки:

- частые изменения характеристик объекта;
- отсутствие методов, позволяющих в условиях промышленной эксплуатации обнаружить изменения и определить новые параметры модели объекта.

Условия промышленной эксплуатации – это:

- весьма приближенное соответствие модели объекту;
- не минимально фазовые модели;
- многочисленные ненаблюдаемые возмущения, поступающие в разные точки контуров регулирования;
- достаточно частые существенные изменения характеристик объекта;
- многомерность систем регулирования, значительно усиливающая влияние названных причин.

3. Многие методы повышения качества, предлагаемые теорией управления, практически неприменимы для промышленных условий. Так методы, связанные с повышением порядков управляющих устройств, обеспечивая повышение качества, уменьшают область устойчивости в пространстве параметров модели объекта. Поэтому эти предложения весьма критичны к неточному соответствию модели объекту и тем более к изменяющимся ненаблюдаемым параметрам модели.

Близкие явления имеют место и при стремлении перехода к оптимальным нелинейным управляющим устройствам.

4. Методы, построенные на использовании дополнительной информации о возмущениях, поступающих на регулируемый объект, успешно применяются на многих промышленных объектах и позволяют получить значительный эффект в повышении качества. Эти методы также используют модель объекта, но обычно менее критичны к изменениям параметров модели.

5. Использование робастных методов расчета настроек приводит к их ослаблению. Поэтому эти методы могут рассматриваться как алгоритмы, уточняющие степень необходимого ослабления настроек, снижающих качество по сравнению методами, располагающими более точными характеристиками объекта. Приблизительно тот же эффект достигается и при использовании модели со случайными параметрами с заданными распределениями. Заметим здесь, что задание вида и параметров распределений, как и обычно принимаемое предположение стационарности распределений – далеко не очевидные предпосылки.

6. Адаптивные устройства к САР, автоматически подстраивающие настройки регуляторов к изменяющимся характеристикам объектов, в промышленных условиях не прижились и даже дискредитировали себя в мнениях эксплуатационного персонала. По нашему мнению, причиной этой дискредитации явилось несанкционированное эксплуатационным персоналом вмешательство в работу действующих агрегатов. Причем периодичность и характер используемых возмущений в некоторых предложениях недопустимы для большинства промышленных агрегатов.

Настоящая статья предлагает вернуться на новой основе к адаптивным устройствам. Эта новая основа представляет собой предложенную технологию (ТПЗС), в которой для решения задач настройки используются переходные процессы в замкнутых системах регулирования. ТПЗС в режиме нормальной эксплуатации или со ступенчатыми тестовыми воздействиями по нагрузке или заданию позволяет обнаружить несоответствие настроек характеристикам объекта, найти параметры модели объекта, перенастроить регулятор на заданный показатель качества.

7. Использование методов адаптации, построенных на ТПЗС, как показывает опыт промышленной эксплуатации, вероятно, позволит повысить качество САР благодаря использованию более сильных настроек регуляторов, соответствующих изменяющимся характеристикам объекта.

8. На основе ТПЗС разработаны и реализуются для промышленных систем регулирования два варианта программных систем: “АБВ” и P.I.D.-expert. Они выполняют настройку систем регулирования, расчет параметров модели объекта, сбор и обработку статистической информации о качестве работы систем. Ввод в регуляторы рассчитанных настроек осуществляется по команде оператора. Поэтому, в соответствии с введенным выше определением, “АБВ” и P.I.D.-expert представляют собой приспособляющиеся программы. Бо-

лее подробные сведения об этих программах можно найти на сайте www.technocont.ru.

9. Анализируя пути повышения качества промышленных систем регулирования, нельзя не отметить еще один важный аспект этой проблемы. По существу в России отсутствуют технические руководства по синтезу и наладке САР. Разумеется, речь идет не об оптимальных решениях теории управления, для использования которых проектанты и наладчики не располагают ни необходимыми для расчета данными, ни достаточной математической подготовкой. Имеются в виду, например, инструкции по синтезу многомерных систем, т.е. принятие решения о связи регулирующих органов с регулируемыми переменными. Для объектов с существенными перекрестными связями и разными запаздываниями этот выбор прямых и перекрестных каналов – обычно сложная задача. Актуальное значение для эксплуатации имеют рекомендации по выявлению корневого контура расстроенной многомерной системы и ее настройке. Отсутствуют рекомендации по коррекции настроек при наличии типичных нелинейных особенностей ИМ (выбег, люфт, гистерезис), по выбору соотношения между параметрами фильтра высокочастотных помех, выбираемыми настройками и зоной нечувствительности. Эти и другие многочисленные решения, интуитивно принимаемые наладчиками, нуждаются в алгоритмической и программной разработке. Возможно, некоторые из названных и неназванных задач решены специалистами отдельных фирм. Но в современных условиях эти результаты обычно засекречены фирмами-разработчиками и вряд ли станут общедоступными.

*Шолом Ефимович Штейнберг – д-р техн. наук, проф.,
главный науч. сотрудник ЦНИИКА.*

Телефон (095) 240-05-47.

E-mail: sniica@sniica.ru

*Леонид Павлович Серезжин – генеральный директор, Илья
Евсеевич Залуцкий – канд. техн. наук, Илья Геннадьевич
Варламов – ведущие специалисты НПО “Техноконт”.*

(095) 962-91-60.

E-mail: info@technocont.ru

http://www.technocont.ru

Список литературы

1. Штейнберг Ш.Е., Залуцкий И.Е., Серезжин Л.П., Варламов И.Г. Настройка и адаптация автоматических регуляторов. Инструментальный комплект программ // Промышленные АСУ и контроллеры. 2003. №10.
2. Штейнберг Ш.Е., Залуцкий И.Е. Адаптация стандартных регуляторов к условиям эксплуатации в промышленных системах регулирования // Там же. 2003. №4.
3. Плетнев Г.П., Андреев С.Н. и др. Экспериментальное определение динамических характеристик энергоблока 80 МВт по каналам регулирующих и возмущающих воздействий. Теория и практика построения и функционирования АСУТП // Труды международной научной конференции CONTROL. Изд. МЭИ. 2003.
4. Справочник по теории управления / Под редакцией А. А. Красовского. Изд. Наука. Главная Редакция Физико-математической литературы. 1987.