При этом подмножества Res и R могут быть пустыми, то есть роль r может делегироваться на основании типа субъекта. Фактически, множество $\{Res, Ts, R\}$ задает разного рода оценочные характеристики, на основании которых делегируется роль. В соответствии с записью (4) в каждом субъекте задаются свои правила делегирования ролей. При этом, эти правила у разных субъектов могут совпадать.

Предложенная модель является универсальной и позволяет описывать информационные структуры практически любой сложности и для различных предметных областей. Для совместимости различных дисциплин, предметных областей, и электронных хранилищ данных, а именно, совместимости понятий, терминов и правил вывода информации в разрабатываемой системе используется онтологии на базе языка OWL.

Применительно к информационным системам, онтология — это документ или файл, формально задающий отношения между терминами. Наиболее типичными видами онтологий в Сети являются таксономия и набор правил вывода. Необходимость использования OWL вызвана тем, что в различных распределенных системах для обозначения одного и того же понятия могут быть использованы различные идентификаторы. В такой ситуации программа, которой требуется сравнить или скомбинировать информацию, должна знать, что несколько конкретных терминов в различных системах имеют одно значение.

В рамках системы, OWL используется для построения базы знаний. При этом, механизмы OWL позволяют строить ее индуктивно, постепенно расширяя.

Совокупность предложенных моделей и методов обеспечивает базис для построения распределенных образовательных информационных систем. Предложенная структура позволяет создавать интеллектуальные распределенные обучающие программные системы, способные обучаться и самоорганизовываться.

Развитие распределенных систем поддержки и контроля качества образования является важным направлением научных исследований, что подтверждается ее включением в программу поддержки Фондом содействия отечественной науке.

Анализ устойчивости автоматической системы регулирования основанной на принципе инвариантности к ограничению управляющей переменной

А. С. Тивиков

ГОУ ВПО Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева, Новомосковск

Введение

При решении задачи автоматизации объекта управления классическим подходом к выбору канала управления является подход, при котором выбирается тот канал управления, который обладает лучшими динамическими свойствами. Но такой подход часто не дает правильного выбора, так как не учитывает физические и технологические ограничения, наложенные на управляющие переменные [1]. Таким образом, выбор канала управления необходимо проводить, как с учетом динамических свойств каналов управления, так и с учетом технологических ограничений на управляющие переменные. На работу линейных систем регулирования оказывают влияние технологические ограничения, связанные с определенным диапазоном изменения управляющих переменных, насыщение регуляторов и т. д. По этим причинам возможна ситуация, когда из-за недостаточности по величине управляющих переменных традиционная система регулирования не сможет компенсировать пришедшее возмущение [2, 3].

В ряде работ [4–6] предлагается использовать несколько управляющих переменных одновременно для регулирования одной выходной. Приводятся различные структуры линейных АСР с несколькими управляющими переменными, которые обеспечивают необходимое качество регулирования при значительных возмущениях. Однако в этих работах не учитываются физические и технологические ограничения, наложенные на управляющие переменные.

Таким образом, возникает задача создания систем регулирования с ограниченными управляющими переменными. При такой постановке задачи необходимо разработать структуру АСР с ограниченными управляющими переменными, обосновать принципы ее функционирования и провести анализ ее устойчивости.

1. Постановка задачи

Рассмотрим ограниченный канал управления технологического объекта (рис. 1.). Ограничения на расход $G \in [G_{\min}; G_{\max}]$ можно, с точки зрения управления, рассматривать как пересчитанное ограничение на управление. Таким образом, рассматривая объект управления с ограниченными каналами управления $u_1 \in [u_{1\min}; u_{1\max}]$, имеем эквивалентное преобразование (рис. 1).

Чтобы внести ограничения на управление в контур управления предлагается использовать дублирующий стандартный блок ограничения сигнала (БОС) — нелинейный элемент с характерной статической характеристикой (рис. 1). Причем формально функционирование блока ограничения сигнала описывается уравнением:

$$u^* = \begin{cases} u_{\max}, & \text{если } u \geqslant u_{\max} \\ u, & \text{если } u_{\min} < u < u_{\max} \\ u_{\min}, & \text{если } u \leqslant u_{\min}. \end{cases} \tag{1}$$

Отметим, что мы не делаем из линейной системы нелинейную систему — она уже нелинейная. Просто ограничения на управление существуют в неявной форме для автоматизации, а предлагаемое дублирование ограничений и установка БОС приводит к явному выделению этих ограничений для последующего использования в контуре управления.

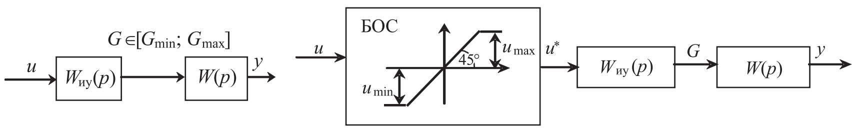

Рис. 1. Ограниченный канал управления по расходу

2. Разработка системы регулирования

АСР разработана в работах [5, 6] с использованием дополнительной управляющей переменной u_2 в предположении, что условие статической компенсации возмущения в виде:

$$\begin{gathered} f_{\min} < u_{1\,\min} < u_{1\,\max} < f_{\max}, \\ (u_{1\,\min} + u_{2\,\min}) < f_{\min} < f_{\max} < (u_{1\,\max} + u_{2\,\max}). \end{gathered} \tag{2}$$

Структурная схема, разработанной системы регулирования [5] имеет вид рис. 2.

Принцип инвариантности [7, 8] к ограничениям управляющей переменной предполагает выделение альтернативного дополнительного канала управления $W_2(p)$, через который проходит сигнал не прошедший через ограниченный основной канал управления $W_1(p)$. Причем на входе дополнительного канала устанавливается технически реализуемый корректор [6] с передаточной функцией $W_k^*(p)$ в рабочем диапазоне частот $[0; \omega_p]$:

$$\left|W_k^*(j\omega)\right| \approx \left|\frac{W_1(j\omega)}{W_2(j\omega)}\right|; \quad 0 \leqslant \omega \leqslant \omega_{\text{p}}. \tag{3}$$

Системы с ограниченными управляющими переменными, по сути, являются нелинейными системами. Такое утверждение уместно, если структурно представить эквивалент того, что ограничение, наложенное

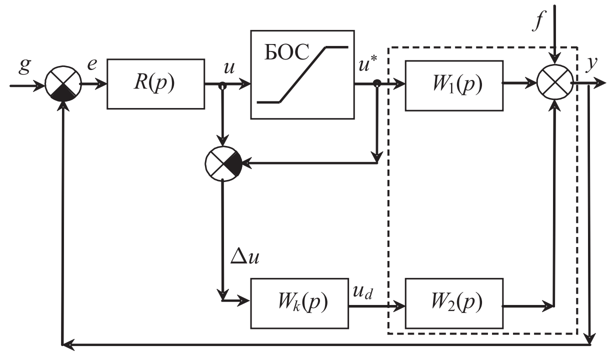

Рис. 2. Структурная схема разработанной АСР с использованием дополнительного канала регулирования.
(g — задание, e — ошибка, u — управление, u^* — ограниченное управления, $\triangle u = u - u^*$ — сигнал рассогласования основного управления, u_d — дополнительное управление, f — возмущение, y регулируемая переменная, R — регулятор, БОС — блок ограничения сигнала, $W_к$ — корректирующий элемент):

на канал управления заменяется нелинейным элементом типа насыщение. Анализ устойчивости такой системы регулирования необходимо проводить по критериям устойчивости нелинейных систем [3, 4].

3. Анализ устойчивости разработанной АСР по критерию устойчивости Попова

Анализ абсолютной устойчивости нелинейных систем выполняется с помощью структурной схемы с разделенной линейной частью и нелинейной частью [3, 4]. Свойство абсолютной устойчивости связано с асимптотической устойчивостью свободного движения динамической системы при произвольных начальных условиях относительно положения равновесия вне зависимости от конкретной формы нелинейности. Для анализа абсолютной устойчивости румынским ученым В. М. Поповым предложен частотный критерий, определяющий *достаточные* условия устойчивости.

Рассмотрим формулировку определения асимптотической устойчивости:

Для нелинейной системы n-го порядка с нелинейной частью

$$u = F(e(t), t)$$

имеем

$$\dot{x} = Ax + bu, \quad e = -y = -\mathrm{C}^T x, \quad u = F[e(t), t], \tag{4}$$

все собственные значения матрицы А имеют отрицательные действительные части (4) и нелинейная характеристика удовлетворяет условию (5):

$$0 \leqslant \frac{u(t)}{e(t)} \leqslant k, \quad \text{где} \quad 0 < k < \infty \tag{5}$$

и если существует такое действительное число $0 \leqslant q < \infty$, что для всех действительных $\omega \geqslant 0$:

$$\mathrm{Re}\,[(1 + j\omega q)W_{\text{лч}}(j\omega)] + \frac{1}{k} > 0, \tag{6}$$

то начало координат асимптотически устойчиво при произвольных начальных условиях для каждого класса нелинейностей, удовлетворяющих (6), а рассматриваемая нелинейная система абсолютно устойчива (условие устойчивости Попова).

Рассмотрим разработанную нелинейную систему регулирования с целью выявления условий устойчивости с использованием условия устойчивости Попова (5)–(7). Выделим линейную часть и нелинейную часть (рис. 3).

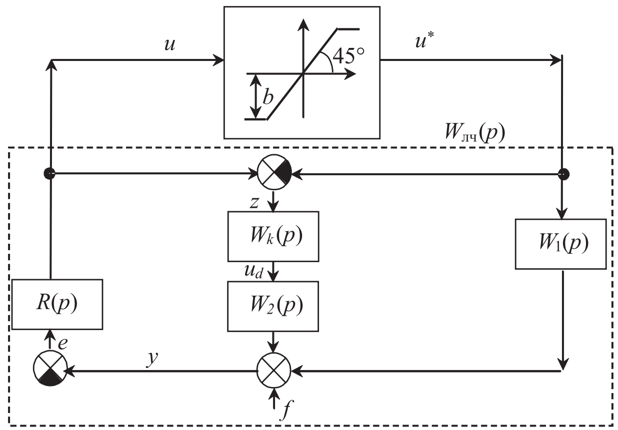

Рис. 3. Выделение линейной и нелинейной части

Передаточная функция линейной части:

$$W_{\text{лч}}(p) = \frac{u(p)}{u^*(p)} = \frac{R(p)\cdot[W_1(p) - W_k(p)W_2(p)]}{1 + R(p)W_k(p)W_2(p)}. \tag{7}$$

Для передаточной функции линейной части $W_{\text{лч}}(p)$ разработанной системы регулирования характерно построение из составляющих передаточных функций одноконтурных замкнутых систем регулирования:

$$W(p) = \frac{R(p)\cdot W_1(p)}{1 + R(p)W_k(p)W_2(p)} - \frac{R(p)W_k(p)W_2(p)}{1 + R(p)W_k(p)W_2(p)}. \tag{8}$$

Исходя из такой особенности (7), предложим следующее утверждение для нелинейности типа ограничение, используя критерий устойчивости Попова:

Если одноконтурная АСР с характеристическим уравнением

$$1 + R(p)W_1(p) = 0$$

устойчива (режим 1 — ограничения не достигнуты) и, разработанная АСР, в режиме с характеристическим уравнением

$$1 + R(p)W_k^*(p)W_2(p) = 0$$

устойчива (режим 2), то разработанная АСР устойчива, каковы бы ни были ограничения на управление $u_1 \in [u_{1\,\min}; u_{1\,\max}]$.

Утверждение доказывается в работе [6] на основе критерия Попова. Доказательство учитывает, что все собственные значения матрицы А (4) имеют отрицательные действительные части и, так как максимальный наклон статической характеристики блока ограничения сигнала $k = 1$, нелинейная характеристика удовлетворяет условию (5):

$$0 \leqslant \frac{u(t)}{e(t)} \leqslant 1. \tag{9}$$

Тогда уравнение (5) приводит к тому, что существует такое действительное число $0 \leqslant q < \infty$, что для всех действительных $\omega \geqslant 0$:

$$\mathrm{Re}\,[(1 + j\omega q)W_{\text{лч}}(j\omega)] > -1. \tag{10}$$

Если можно найти такое q, то начало координат асимптотически устойчиво при произвольных начальных условиях для каждого класса нелинейностей, удовлетворяющих (5), а рассматриваемая нелинейная система абсолютно устойчива. При доказательстве утверждения автор полагает $q = 0$. Тогда (9) примет вид:

$$\mathrm{Re}\,[W_{\text{лч}}(j\omega)] > -1. \tag{11}$$

Или, в нашем случае (6):

$$\mathrm{Re}\left[\frac{R(j\omega)\cdot[W_1(j\omega) - W_k(j\omega)W_2(j\omega)]}{1 + R(j\omega)W_k(j\omega)W_2(j\omega)}\right] > -1. \tag{12}$$

Введем обозначения для передаточных функций замкнутых систем:

$$\begin{aligned} \varPhi_1(j\omega) &= \frac{R(j\omega)\cdot W_1(j\omega)}{1 + R(j\omega)W_k(j\omega)W_2(j\omega)},\\ \varPhi_2(j\omega) &= \frac{R(j\omega)\cdot W_k(j\omega)W_2(j\omega)}{1 + R(j\omega)W_k(j\omega)W_2(j\omega)}. \end{aligned} \tag{13}$$

Тогда рассматриваемая система абсолютно устойчива, если (11) примет вид:

$$\mathrm{Re}\,[\varPhi_1(j\omega) - \varPhi_2(j\omega)] > -1. \tag{14}$$

Или

$$\mathrm{Re}\,[\varPhi_1(j\omega)] - \mathrm{Re}\,[\varPhi_2(j\omega)] > -1. \tag{15}$$

Утверждение с точки зрения условия (15) доказывается на всем диапазоне частот в отдельных интервалах частот:

1) В рабочем диапазоне частот $[0; \omega_p]$ — исходя из того, что технически реализуемый корректор с передаточной функцией $W_k^*(p)$ в рабочем диапазоне частот $[0; \omega_p]$ имеет передаточную функцию

$$\left|W_k^*(j\omega)\right| \approx \left|\frac{W_1(j\omega)}{W_2(j\omega)}\right|$$

имеем

$$\mathrm{Re}\,[\varPhi_1(j\omega)] - \mathrm{Re}\,[\varPhi_2(j\omega)] = \mathrm{Re}\left[\frac{R(j\omega)\cdot W_1(j\omega)}{1 + R(j\omega)W_k(j\omega)W_2(j\omega)}\right] -$$

$$- \mathrm{Re}\left[\frac{R(j\omega)\cdot[W_1(j\omega)/W_2(j\omega)]\cdot W_2(j\omega)}{1 + R(j\omega)W_k(j\omega)W_2(j\omega)}\right] \approx 0 > -1.$$

2) В диапазоне частот $[\omega_p; \infty]$ — исходя из допущения утверждения, что в режиме с характеристическим уравнением

$$1 + R(j\omega)W_k^*(j\omega)W_2(j\omega) = 0,$$

система устойчива, показано в [6]:

$$\min[\mathrm{Re}\,[\varPhi_1(j\omega)] - \mathrm{Re}\,[\varPhi_2(j\omega)]] = -\Delta \mathrm{C} > -1,$$

где ΔC — запас устойчивости по амплитуде системы с характеристическим уравнением $1 + R(j\omega)W_k^*(j\omega)W_2(j\omega) = 0$.

3) При частоте $\omega \to \infty$ действительные части замкнутых систем стремятся к нулю:

$$\mathrm{Re}\,[\varPhi_1(j\infty)] - \mathrm{Re}\,[\varPhi_2(j\infty)] = 0 - 0 \approx 0 > -1.$$

Итак, на основании анализа устойчивости АСР основанной на принципе инвариантности к ограничению управляющей переменной на всем диапазоне частот выяснено, что если одноконтурная АСР с характеристическим уравнением $1+R(p)W_1(p) = 0$ устойчива (режим 1 — ограничения не достигнуты) и, разработанная АСР, в режиме с характеристическим уравнением $1 + R(p)W_k^*(p)W_2(p) = 0$ устойчива (режим 2), то разработанная АСР устойчива, каковы бы ни были ограничения на управление $u_1 \in [u_{1\,\min}; u_{1\,\max}]$.

Литература

1. *Кафаров В. В.* Методы кибернетики в химии и в химической технологии: 4-е изд. М.: Химия, 1985. 448 с.
2. *Мещеряков Г. В.*, *Вент Д. П.* Управление каталитическими процессами. Непрерывные системы управления. Новомосковск. НФ МХТИ, 1986. Ч. 1. С. 98–135.
3. Теория автоматического регулирования / Под ред. А. А. Воронова. М.: Высшая школа, 1986. 504 с.
4. *Дудников Е. Г.* Автоматическое управление в химической промышленности. М.: Химия, 1987. 368 с.
5. *Тивиков А. С.*, *Вент Д. П.* Разработка АСР температуры на полке катализатора, инвариантной к ограничению на управление // Материалы международной научной конференции ММТТ-2005 (ШМУ-12). Сборник трудов. Т. 8. Казань, 2005. С. 132.

6. *Тивиков А. С.* Разработка нелинейных АСР с двумя ограниченными управляющими переменными // Сборник трудов НИ РХТУ им. Д. И. Менделеева, серия Кибернетика, автоматизация, математика, информатика. Выпуск № 3 (14). М., 2004. С. 67–71.
7. *Менский Б. М.* Принцип инвариантности в автоматическом регулировании и управлении. М.: Машиностроение, 1972. 248 с.
8. *Петров Б. Н.* Принцип инвариантности и условия его применения при расчете линейных и нелинейных систем // Труды I Международного конгресса ИФАК. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 259–271.

Модель управления качеством образовательных услуг

А. С. Шемякин

Институт информатики и математического моделирования Кольского Научного Центра РАН, Апатиты

Введение

Современные требования к качеству образования, в первую очередь профессионального, заставляют образовательные учреждения искать новые пути и формы реализации образовательных услуг. Эти нововведения могут выражаться в создании и реализации новых образовательных программ, наиболее удовлетворяющих требованиям рынка труда, варьировании содержания программ для обеспечения новых, актуальных специализаций, внедрении новых форм и методов обучения [1]. В связи с этим, актуальным является создание модели, с помощью которой можно будет оценить востребованность подобного нововведения на рынке образовательных услуг и выработать навыки эффективного управления в этой сфере.

В данной работе описывается модель управления качеством образовательных услуг. Модель позволяет обыгрывать различные управленческие решения, принимаемые во время приемной кампании и решения принимаемые во время распределения бюджетных средств вуза, а также оценивать последствия принятых решений.

Логически модель можно разделить на 2 подмодели: модель приемной кампании и модель распределения бюджетных средств. Такое разделение связано с наличием двух основных задач управления вузом: определение того количества студентов, которых надо зачислить для обучения и распределение бюджетных средств, полученных на обучение студентов. Перечисленные задачи неразрывно связаны: от того, сколько студентов будет зачислено зависит финансирование вуза, а от финансирования вуза зависит качество образовательного процесса (об оценке качества