

УДК 62-527.7

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АППАРАТА

Джамбеков Азамат Матифулаевич

студент

Астраханский государственный технический университет, Астрахань
azamat-121@mail.ru

Аннотация. Одним из перспективных способов решения задачи синтеза систем управления является метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), базирующийся на синергетических принципах целевой самоорганизации нелинейных динамических систем. В настоящей работе ставится задача синтеза эффективных алгоритмов управления химическим реактором при реализации сложной последовательно-параллельной реакции. Синтезируемая система управления должна обеспечивать стабилизацию концентрации целевого компонента на выходе реактора в условиях действия на объект возмущений, а также перевод аппарата с одной производительности на другую (заданную) с сохранением требуемого качества целевого компонента.

Ключевые слова: синергетический синтез; целевой компонент; инвариантные многообразия; асимптотическая устойчивость.

SYNERGETIC SYNTHESIS OF ALGORITHM OF MANAGEMENT BY THE CHEMICAL REACTOR AT CHANGE OF PRODUCTIVITY OF THE DEVICE

Dzhambekov Azamat Matifulayevich

student

Astrakhan state technical university, Astrakhan

Summary. One of perspective ways of the solution of a problem of synthesis of control systems is the method of the analytical designing of the aggregated regulators (ADAR) which is based on the synergetic principles of target self-organization of nonlinear dynamic systems. In the real work the task of synthesis of effective algorithms of management is set by the chemical reactor at realization of difficult series-parallel reaction. The synthesizable control system has to provide stabilization of concentration of a target component at the reactor exit in the conditions of action on object of indignations, and also transfer of the device from one productivity on another (set) with preservation of demanded quality of a target component.

Key words: synergetic synthesis; target component; invariant varieties; asymptotic stability.

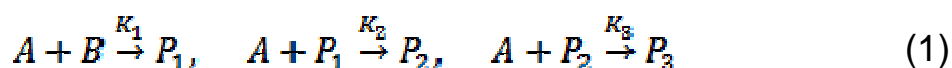
Одним из основных аппаратов в технологической схеме получения практически любого химического продукта является реактор. Целью его функционирования является обеспечение на его выходе заданного оптимального значения концентрации целевого компонента. От устройства химического реактора и показателей его работы в значительной степени зависит экономическая эффективность всего производства.

Основной особенностью химических реакторов как объектов управления является их многомерность, нелинейность и многосвязность. Несмотря на значительное количество работ, связанных с автоматизацией

и управлением химическими реакторами [1-3], проблема синтеза систем управления, обеспечивающих поддержание оптимальных режимов их работы, остается до конца не решенной, что связано со сложностью процессов, протекающих в реакторах. С точки зрения теории автоматического управления, основным препятствием при синтезе систем автоматического регулирования такими объектами химической технологии является их нелинейность и многосвязность.

Одним из перспективных способов решения задачи синтеза систем управления является метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), базирующийся на синергетических принципах целевой самоорганизации нелинейных динамических систем [4]. Методы синергетической теории управления, разработанной проф. А.А. Колесниковым, позволяют в аналитическом виде получать законы управления для нелинейных, многомерных и многосвязных динамических систем различной природы.

Химический реактор представляет собой аппарат емкостного типа, снабженный механической мешалкой (рис. 1). Аппарат функционирует в изотермическом режиме. В реакторе реализуется многостадийная последовательно-параллельная реакция:



где А и В – исходные реагенты, P₁, P₂, P₃ – продукты реакции, k₁, k₂, k₃ – константы скоростей стадий. Целевым компонентом является вещество P₂. Исходные реагенты А и В подаются в аппарат отдельными потоками.

На рис. 1 введены следующие обозначения: x_1^{BX}, x_2^{BX} – концентрации исходных реагентов; v_1, v_2 – расход исходных реагентов; v – расход реакционной смеси на выходе из аппарата; x_1, x_2, x_3, x_4 – концентрации компонентов А, В, P₁, P₂ в реакторе; $V=x_5$ – объем реакционной смеси в аппарате.

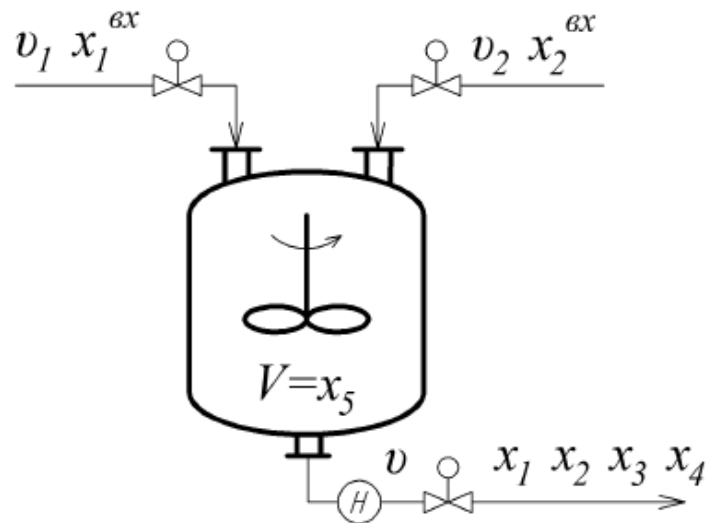


Рисунок 1. Принципиальная схема химического реактора

Математическая модель химического реактора при постоянной температуре реакционной смеси и переменном уровне (объеме) имеет вид:

$$\frac{dx_1}{dt} = R_1 + \frac{v_1 x_1^{\text{ex}}}{x_5} - \frac{v x_1}{x_5}; \quad \frac{dx_2}{dt} = R_2 + \frac{v_2 x_2^{\text{ex}}}{x_5} - \frac{v x_2}{x_5}; \quad \frac{dx_3}{dt} = R_3 - \frac{v x_3}{x_5};$$

$$\frac{dx_4}{dt} = R_4 - \frac{v x_4}{x_5}; \quad \frac{dx_5}{dt} = u - v, \quad (2)$$

где

$$R_1 = -k_1 x_1 x_2 - k_2 x_1 x_3 - k_3 x_1 x_4, \quad R_2 = -k_1 x_1 x_2, \quad R_3 = k_1 x_1 x_2 - k_2 x_1 x_3, \quad R_4 = k_2 x_1 x_3 - k_3 x_1 x_4$$

– скорость реакции по компонентам; $u = v_1 + v_2$ – суммарный расход реагентов на входе в реактор.

Сформулируем задачу управления химическим реактором. Необходимо синтезировать закон управления, обеспечивающий перевод аппарата с одной производительности $G = x_4 \cdot v$ на новую производительность $\bar{G} = \bar{x}_4 \cdot \bar{v}$ и стабилизацию концентрации целевого компонента на заданном уровне $x_4 = \bar{x}_4$ в условиях действия возмущений. Изменение выходного потока во времени со значения v на \bar{v} может происходить по какому-либо закону, в т.ч. и ступенчато.

Переход на новую производительность \bar{G} с сохранением заданной концентрации \bar{x}_4 возможен путем подбора определенного значения

среднего времени пребывания реакционной смеси в аппарате – \bar{t} . При заданных $\bar{G}, \bar{x}_4, \bar{v}$ влиять на среднее время пребывания можно с помощью изменения объема смеси в аппарате. Поскольку объем смеси в аппарате (x_5) входит в правые части первых четырех уравнений системы (2), то его можно рассматривать как «внутреннее» управление для x_4 . В свою очередь, значение объема при заданной нагрузке \bar{v} определяется величиной $u = (v_1 + v_2)$, которая выступает в роли внешнего управляющего воздействия. При этом предполагается, что соотношение расходов поддерживается на постоянном уровне, т.е. $\beta = v_1/v_2 = const$. Таким образом, канал управления концентрацией целевого компонента можно представить следующим образом: $u \rightarrow x_5 \rightarrow x_4$.

Используя метод АКАР на основе последовательной совокупности инвариантных многообразий [4], аналитически получен нелинейный закон управления химическим реактором при изменении производительности по целевому продукту:

$$u = -\frac{x_5 + v_1}{T_1} + \bar{v} - \frac{\partial v_1}{\partial x_4} \cdot \frac{R_4 x_5 - \bar{v} x_4}{x_5}, \quad (3)$$

где $v_1 = -T_2 \bar{v} x_4 / [(x_4 - \bar{x}_4) + T_2 R_4]$; \bar{v} – новое заданное значение расхода на выходе реактора; $T_1 > 0$, $T_2 > 0$ – параметры настройки алгоритма, определяющие качество управления.

Для проверки работоспособности синтезированного алгоритма управления было проведено компьютерное моделирование замкнутой системы «химический реактор – нелинейный закон управления». Исследовались такие свойства системы, как способность перехода реактора с одной производительности по целевому продукту на другую, инвариантность к возмущениям, ковариантность с задающим воздействием и асимптотическая устойчивость замкнутой системы.

Примеры переходных процессов в замкнутой системе «реактор – подсистема управления» при использовании алгоритма (3) представлены на рис. 2. На рис. 2, демонстрирующем процесс перевода аппарата на новую производительность, также представлен вариант, когда этот процесс осуществляется в ручном режиме.

Алгоритм ручного перевода аппарата с одной производительности на другую следующий. Используя математическую модель химического реактора, определяем такое значение объема реакционной смеси в аппарате, который обеспечивал бы заданное значение концентрации целевого компонента $x_4 = \bar{x}_4$ при новом значении нагрузки \bar{v} . При этом соотношение расходов v_1 и v_2 задано. После этого моделируем объект при $v_1 = v_2 = 0$ (или $v_1 = v_2 = \max$). Как только объем смеси достигнет заданного уровня, моделирование осуществляется при $v_1 + v_2 = \bar{v}$.

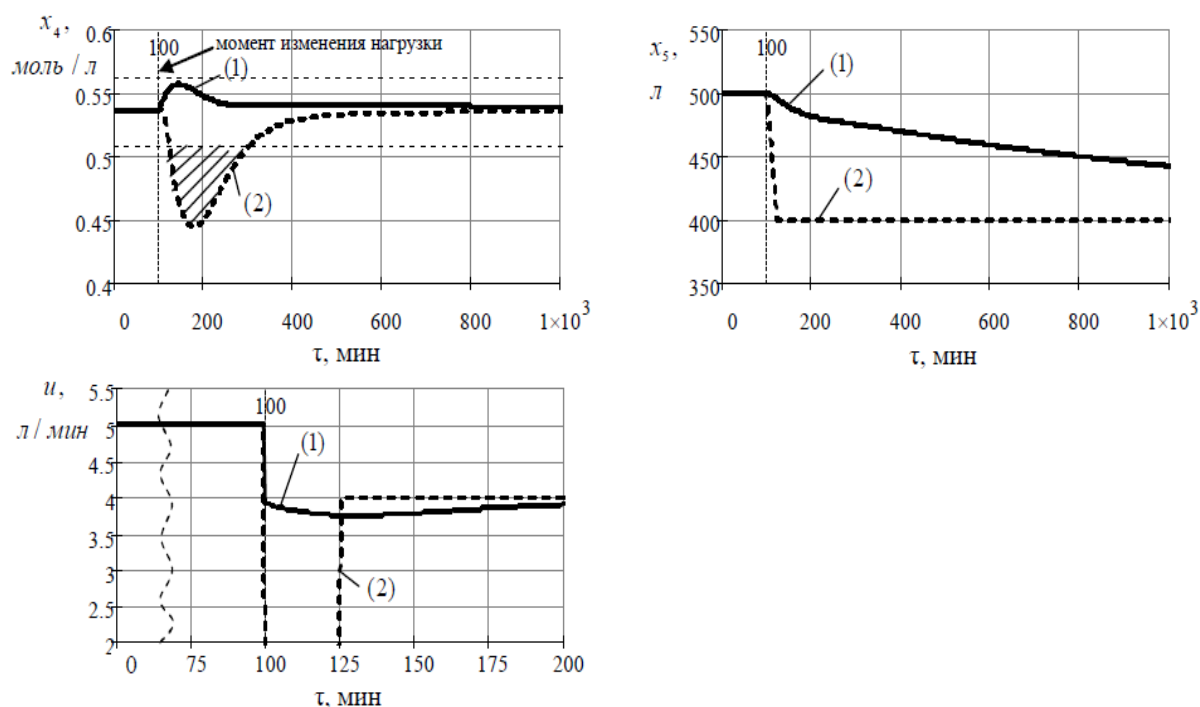


Рисунок 2. Изменение регулируемой переменной (x_4), объема смеси (x_5) и управляющего воздействия (u) при уменьшении нагрузки v на -20% (1 – алгоритм управления, 2 – переход на новую производительность в ручном режиме)

В данном случае величины расходов исходных реагентов, поступающих на вход в реактор, однозначно определяются по формулам: $v_1 = \beta \cdot \frac{u}{\beta+1}, v_2 = \frac{u}{\beta+1}$, где $u = (v_1 + v_2)$ – текущее значение управляющего воздействия. Как видно из рис. 2, большим преимуществом автоматического способа перевода аппарата на новую производительность (с использованием синтезированного алгоритма) является отсутствие перерегулирования по концентрации целевого компонента, что позволяет экономить ресурсы.

Таким образом, методами синергетической теории управления решена задача аналитического синтеза нелинейного закона управления химическим реактором при переходе с одной производительности на другую. Компьютерное моделирование показало работоспособность и эффективность системы «реактор – подсистема управления» при использовании синтезированного алгоритма.

Список использованных источников

1. Дудников Е.Г. Автоматическое управление в химической промышленности. М.: Химия, 1987. 368 с.
2. Кван Н.В., Семичевская Н.П. Нелинейное робастное управление двух-этапным химическим реактором // Информатика и системы управления. 2011. № 4(30). С. 133-141.
3. Алексеенков С.Г., Ткачёв С.Б. Управление химическим реактором с использованием нелинейного наблюдателя // Нелинейная динамика и управление: Сб. стат. Вып. 3. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. С. 179-190.
4. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994. 344 с.