



УДК 519.7

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ

PRINCIPLES OF CATALYTIC PROCESS CONTROL IN FUZZY CONDITIONS

Меликов Эльчин Адиль оглы

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры инженерии систем управления,
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
elchin03@mail.ru

Melikov Elchin Adil

Ph. D., Associate Professor of
engineering control systems,
Azerbaijan State University of
Oil and Industry
elchin03@mail.ru

Аннотация. На основе тщательного исследования функционирования комплекса получения этилена выделен наиболее важный технологический аппарат, а именно реактор гидрирования ацетилена в этан-этиленовой фракции. От эффективного управления этим аппаратом зависит чистота, а следовательно и качество получаемого товарного продукта. В статье разработана физически обоснованная постановка задачи управления этим каталитическим аппаратом, функционирующей в нечетких условиях.

Annotation. On the basis careful study of the functioning for the ethylene production complex, the most important technological apparatus has been identified, namely the acetylene hydrogenation reactor in the ethane-ethylene fraction. From the effective management of this apparatus depends the purity, and consequently the quality of the resulting commodity product. The physically justified statement of the control problem for this catalytic apparatus operating in fuzzy conditions is developed in the article.

Ключевые слова: задача оптимального управления, каталитический аппарат, объект управления, количественные и качественные характеристики.

Keywords: optimal control problem, catalytic apparatus, control object, quantitative and qualitative characteristics.

В сестороннее исследование технологического комплекса получения товарного этилена как объекта управления и анализ состояния задачи оптимального управления этим комплексом показывают, что одной из наиболее сложных и важных задач управления является задача оптимального управления реактором селективного гидрирования ацетилена в этан-этиленовой фракции (ЭЭФ).

Рассматриваемый каталитический реактор гидрирования ацетилена представляет собой сложную физико-химическую систему, в которой многофазная, многокомпонентная, в общем случае, неоднородная сплошная среда распределена в пространстве (в пределах рабочего объема контактного аппарата) и меняется во времени, в каждой точке которой и на границе раздела фаз имеет место перенос массы, импульса и энергии. При этом в зависимости от протекающих в данном технологическом аппарате физико-химических превращений из исходного сырья получают необходимые продукты и происходит очистка фракций от микропримесей.

В связи с неоднородностью состава входных параметров реактора, нечеткостью задания области изменения управлений, большим числом и сложностью связей между возмущениями, выходными и переменными состояниями контактного аппарата, невозможностью контроля множественных стационарных состояний и распределенностью параметров в пространстве, отсюда и трудоемкостью их оценки, нечеткостью качественного характера состояний и параметров, а также с необходимостью учета характера решения задачи управления в виде задачи стабилизации качества выходного продукта построение и применение кинетических и смешанных моделей [1, 2] затруднено или не представляется возможным и требует необходимости разработки новых принципов, алгоритмов, моделей и методов управления.

Поэтому, при идентификации моделей, разработке алгоритмов и принципов управления аналогичными технологическими аппаратами, являющихся сложными объектами управления с неполностью определенными состояниями, что связано с дефицитом информации при оценке физико-химических характеристик контактного аппарата, связанной с затрудненностью определения температурного профиля реакционного процесса и доли активной поверхности катализатора без непосредственного его контроля, используется математический аппарат теории нечетких множеств [3–5].

На вход реактора подается ЭЭФ, поступающая из колонны деэтанзации и водород из отделения компремирования, полученный в процессе демеетанизации пирогаза (рис. 1).

В реакционном пространстве протекают реакция превращения ацетилена в этилен и вторичная реакция получения этана из этилена под воздействием водорода. Выходным продуктом реактора гидрирования ацетилена является очищенная ЭЭФ и смесь непрореагировавших реагентов, а именно, водород, сера, окись углерода, ацетилен и т.д.



Рисунок 1 – Структурная схема реактора гидрирования ацетилена как объекта управления:
 $F_{ЭЭФ}^{вх}$ – расход ЭЭФ на входе реактора; $Q_{C_2H_2}^{вх}$ – содержание ацетилена в ЭЭФ на входе аппарата;
 $Q_{H_2}^{вх}/Q_{C_2H_2}^{вх}$ – отношение содержания водорода к содержанию ацетилена в ЭЭФ на входе реактора;
 $T_{ЭЭФ}^{вх}$ – температура ЭЭФ на выходе аппарата; $Q_{C_2H_4}^{вых}$ – содержание этилена на выходе аппарата;
 $Q_{H_2}^{вых}$ – содержание водорода в ЭЭФ на выходе реактора

Оптимальное ведение рассматриваемого процесса селективного гидрирования позволяет с одной стороны, значительно уменьшить потери товарного этилена, с другой стороны оно дает возможность получить на следующих за реактором аппаратах товарный этилен требуемого качества. Поэтому, с учетом вышеизложенного, задача оптимального управления сводится к стабилизации качества ЭЭФ, которая заключается в поддержании содержания ацетилена на выходе аппарата $Q_{C_2H_2}^{вых}$ в заданном

диапазоне (0 ÷ 10 ppm), то есть выбору таких управляющих воздействий, чтобы качество очистки ЭЭФ от микропримеси ацетилена удовлетворяло имеющимся регламентным ограничениям:

$$u_{1,t} = \tilde{R}_1(x_1, x_2, \tilde{u}_{1,t-1})$$

$$u_{2,t} = \tilde{R}_2(x_1, x_2, \tilde{u}_{2,t-1})$$

$$\underline{u}_{1,t} \leq u_{1,t} \leq \bar{u}_{1,t}$$

$$\underline{u}_{2,t} \leq u_{2,t} \leq \bar{u}_{2,t},$$

где $u_{1,t}$ и $u_{2,t}$ – соответственно температура а реакторе гидрирования и отношение содержания водорода к содержанию ацетилена перед входом в реакционный аппарат в момент времени t , x_1 – расход ЭЭФ на входе, x_2 – содержание ацетилена в ЭЭФ на входе в реактор.

Таким образом, задачу оптимального управления процессом гидрирования ацетилена в условиях неполной информации можно сформулировать в следующем виде:

$$\tilde{y}_1 = f_1 \left(\frac{Q_{H_2}^{вх}}{Q_{C_2H_2}^{вх}}, T_{ЭЭФ}^{вых} \right) \rightarrow \overline{max}$$

$$0 \text{ ppm} \leq y_2 \leq 10 \text{ ppm},$$

при этом должны соблюдаться ограничения на режимные переменные:

$$114 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{ЭЭФ}^{вых} \leq 138 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$2,1 \leq Q_{H_2}^{вх}/Q_{C_2H_2}^{вх} \leq 4,7,$$

здесь \tilde{y}_1 – содержание этилена в ЭЭФ (нечеткая переменная), y_2 – содержание ацетилена в ЭЭФ, $T_{ЭЭФ}^{вых}$ – температура ЭЭФ на выходе реактора, $Q_{H_2}^{вх}/Q_{C_2H_2}^{вх}$ – соответственно содержание водорода и ацетилена на входе в реактор гидрирования ацетилена.

Из-за неоднородного состава фракции и неконтролируемых возмущений химический состав выходного продукта, состояние активной поверхности катализатора и температура внутри реактора гидрирования ацетилена изменяются во времени, что обуславливает функционирование рассматриваемого реакционного аппарата в нестационарном режиме. Ход протекания контактно-каталитического процесса в нестационарных условиях резко усложняется по сравнению с таковым в стационарных условиях. Так, из-за инерционных свойств процесса в нестационарном режиме имеют место большие, чем в стационарном режиме, градиенты температур и концентраций на зерне и в слое катализатора. Данное обстоятельство, в свою очередь, приводит к отсутствию пропорциональной зависимости между температурой в реакционном пространстве аппарата и степенью превращения поступающего сырья, непродолжительному, но большому перегреву у поверхности зерна катализатора с наилучшими условиями обмена; перепады температур между входом и выходом из слоя могут быть в несколько раз больше адиабатического разогрева при полной степени превращения сырья. В результате этого происходит временный дрейф выходных параметров реактора гидрирования ацетилена.

Учитывая, что существенное изменение активности катализатора, происходящее вследствие уменьшения доли его активной поверхности в результате как поверхностных превращение, приводя-



щих к коксоотделению, так и блокировки поверхности серосодержащими соединениями, осуществляется медленно (в течение нескольких суток), то рассматриваемые процессы можно отнести к классу квазистатических. Оптимизация процессов, происходящих в реакторе гидрирования ацетилена, позволяет существенно увеличить продолжительность цикла работы катализатора, о чем можно косвенно судить по приращению изменения температуры в каталитическом аппарате.

Как было отмечено выше, для идентификации процесса гидрирования ацетилена в существующих исследованиях предпочтение отдавалось математическим моделям, основанным на кинетических представлениях каталитических превращений и смешанным моделям, так как для решения задачи управления реакционным аппаратом осуществлялся поиск надежной модели, описывающей рабочую область в целом и учитывающей дезактивацию катализатора.

Следует отметить, что недостатками вышеизложенного подхода является сложность текущей идентификации уравнений, описывающих физико-химические превращения, затрудняющейся малым временем контакта и неоднородностью распределения основных характеристик состояния в реакционной зоне аппарата (в частности, температуры процесса гидрирования ацетилена и активной поверхности катализатора в реакторе), высокая стоимость, а в некоторых случаях и невозможность проведения активно экспериментального, трудоемкость построения оптимальных траекторий управления процессом.

В связи со сложностью управления процессом селективного гидрирования ацетилена в реальном масштабе времени с использованием традиционных математических моделей и методов, связанной с интегрированием системы дифференциальных уравнений в частных производных с крайними условиями, характеризующихся нелинейностями и требующих достаточно больших затрат машинного времени, с изменением количественных и качественных характеристик сырья и режимных параметров в широком диапазоне, обуславливающих невозможность использования универсальных регрессионных моделей, приводит к необходимости описания реакторного блока технологического комплекса получения товарного этилена с использованием качественной информации, обобщающей собой опыт, знания и интуицию эксперта-специалиста (технологического персонала).

Таким образом, все вышеизложенное приводит к необходимости разработки принципов системы автоматического управления каталитическим реактором селективного гидрирования ацетилена, на основе более простых и надежных в практической реализации нечетких моделей и алгоритмов управления, в которых описание функционирования рассматриваемого объекта осуществляется с использованием как качественной, так и количественной информации.

Литература:

1. Абдуллаев Ф.М. Моделирование и оптимизация реакционных процессов нефтехимического синтеза в нестационарных условиях : Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – Баку, 1987.
2. Абдуллаев Ф.М., Быков В.И., Рзаев Ю.Р. Оптимизация процессов с изменяющейся активностью катализатора. – Баку : Азернешр, 1982. – 127 с.
3. Diamond P. // Fuzzy Sets and Systems. – 36 (1990). – P. 265–275.
4. Wang Z-Y, Li S-N. // Fuzzy Sets and Systems. – 36 (1990). – P. 125–136.
5. Меликов Э.А., Гусейнов Г.А. Принципы разработки системы автоматического управления комплексом получения товарного этилена с использованием нечеткого регулятора // Материалы научно-практической конференции «Нефтепереработка и нефтехимия – 2003» (IV Конгресс нефтегазопромышленников России). – Уфа, 2003. – С. 209–210.

References:

1. Abdullaev F.M. Modeling and optimization for reactionary processes of petrochemical synthesis in non-stationary conditions : Abstract of the thesis of Technical Sciences Doctor. – Baku, 1987.
2. Abdullaev F.M., Bykov V.I., Rzaev Y.R. Process optimization with variable catalyst activity. – Baku : Azerne-shr, 1982. – 127 p.
3. Diamond P. // Fuzzy Sets and Systems. – 36 (1990). – P. 265–275.
4. Wang Z-Y, Li S-N. // Fuzzy Sets and Systems. – 36 (1990). – P. 125–136.
5. Melikov E.A., Guseinov G.A. Principles of system development automatic control system for the production of commodity ethylene using a fuzzy regulator // Materials of the scientific-practical conference «Oil refining and petrochemistry – 2003» (IV Congress of oil and gas producers of Russia). – Ufa, 2003. – P. 209–210.