

УПРАВЛЕНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

К.В. Аскеров¹⁾

1) студент Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджан, elchin03@mail.ru

Аннотация: на основе всестороннего исследования функционирования сложного химико-технологического комплекса производства получения этилена выделен один из наиболее важных технологических аппаратов, а именно реактор гидрирования ацетилен 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, функционирующим в нечетких условиях.

Ключевые слова: каталитический реактор, объект управления, математическая постановка, оптимальное управление, активность катализатора.

CONTROL OF THE CATALYTIC REACTOR UNDER UNCERTAINTY

Kamil V. Askerov¹⁾

1) the student Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU), city of Baku, Azerbaijan, elchin03@mail.ru

Abstract: On the basis of a comprehensive study of the chemical-technological complex functioning for the ethylene production, one of the most important technological apparatus, namely, a reactor for the hydrogenation of acetylene in the ethane-ethylene fraction, has been identified. The purity, and, consequently, the quality of the resulting marketable product depends on the effective management of this apparatus. The article develops a physically substantiated formulation of the control problem for this catalytic apparatus operating under fuzzy conditions.

Key words: catalytic reactor, control object, mathematical formulation, optimal control, catalyst activity.

Всестороннее 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 ацетилен в этан-этиленовой фракции (ЭЭФ) [1, 2].

Известно, что 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 состояния 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 затруднено или не представляется возможным и требует необходимости разработки новых принципов, алгоритмов, моделей и методов управления.

Поэтому, при разработке моделей, 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, 4, 5].

На вход реактора подается ЭЭФ, поступающая из колонны дезанизации и водород из отделения компремирования, полученный в процессе деметанизации пирогаза. На рис. 1 показана структурная схема реактора гидрирования ацетилена как объекта управления.



Рис. 1. Реактор гидрирования ацетилена как объекта управления

Здесь $F_{\text{ЭЭФ}}^{6x}$ - расход ЭЭФ на входе реактора; $Q_{C_2H_2}^{6x}$ - содержание ацетилен в ЭЭФ на входе аппарата; $Q_{H_2}^{6x}/Q_{C_2H_2}^{6x}$ - отношение содержания водорода к содержанию ацетилен в ЭЭФ на входе реактора; $T_{\text{ЭЭФ}}^{6bx}$ - температура ЭЭФ на выходе аппарата; $Q_{C_2H_4}^{6bx}$ - содержание этилена на выходе аппарата; $Q_{H_2}^{6bx}$ - содержание водорода в ЭЭФ на выходе реактора.

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

При этом, 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 ацетилен на выходе аппарата $Q_{C_2H_2}^{6bx}$ в заданном диапазоне ($0 \div 10$ ppm), то есть выбору таких управляющих воздействий, чтобы качество очистки ЭЭФ от микропримеси ацетилен удовлетворяло имеющимся регламентным ограничениям.

Тогда задачу оптимального управления процессом гидрирования ацетилен в условиях неполной информации можно сформулировать в следующем виде:

$$\tilde{y}_1 = f_1(Q_{H_2}^{6x}/Q_{C_2H_2}^{6x}, T_{\text{ЭЭФ}}^{6bx}) \rightarrow \max$$

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

при этом должны соблюдаться ограничения на режимные переменные:

$$114 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{ЭЭФ}}^{6bx} \leq 138 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$2,1 \leq Q_{H_2}^{6x}/Q_{C_2H_2}^{6x} \leq 4,7,$$

здесь \tilde{y}_1 - содержание этилена в ЭЭФ (нечеткая переменная), y_2 - содержание ацетилен в ЭЭФ (четкая переменная), $T_{\text{ЭЭФ}}^{6bx}$ - температура ЭЭФ на выходе реактора, $Q_{H_2}^{6x}/Q_{C_2H_2}^{6x}$ - соответственно содержание водорода и ацетилен на входе в реактор гидрирования ацетилен.

Отметим, что из-за неоднородного состава фракции и неконтролируемых возмущений химический состав выходного продукта (товарного этилена), состояние активной поверхности катализатора и температура внутри реактора гидрирования ацетилен 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 превращений, приводящих к коксообразованию, так и блокировки поверхности серосодержащими соединениями, осуществляется медленно (в течение нескольких суток), то рассматриваемые технологические 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 активного эксперимента, трудоемкость построения оптимальных траекторий управления процессом, невозможностью оценки состояния катализатора и т.д.

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 краевыми условиями, характеризующихся нелинейностями и большой размерностью, 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 формальный 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, что позволяет достаточно эффективно обеспечить достижение поставленной цели (критерия) управления.

Список использованных источников:

1. Абдуллаев Ф.М., Быков В.И., Рзаев Ю.Р. Оптимизация процессов с изменяющейся активностью катализатора. Баку: Азернешр, 1982, С. 55-68.
2. Efendiev İ.R., Kopytsky V.T., Melikov E.A. Abstracts of papers. International conference on systems science "SYSTEMS SCIENCE XI", Wroclaw, Poland, sept. 22-25, 1992, p. 36-37.
3. Wang Z-Y, Li S-N.//Fuzzy Sets and Systems 36 (1990), p. 125-136.
4. Стадник В.С., Горовенко Л.А. Многокритериальные задачи принятия решений в процессе технологической подготовки производства // Прикладные вопросы точных наук: Материалы I Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, преподавателей.- Армавир: ООО «Типография имени Г. Скорины», 2017. – С. 72-78.
5. Горовенко Л.А. Математические методы компьютерного моделирования физических процессов: учебное пособие / Л. А. Горовенко. – Армавир: РИО АГПУ, 2016. – 104 с.