

6. *Тимаков С.Н.* Исследование динамики управляемого углового движения космического пленочного рефлектора: с двойным вращением // Международная конференция по крупногабаритным космическим конструкциям НПО «Энергия»: сборник материалов. Н. Новгород, 1993. С. 37–38.
7. *Ширяев В.П.* Саморазворачивающиеся и сворачивающиеся пленочные конструкции // Международная конференция по крупногабаритным космическим конструкциям НПО «Энергия»: сборник материалов. Н. Новгород, 1993. С. 12–13.

Literatura

1. *Gvamichava A.S., Koshelev B.A.* Stroitel'stvo v kosmose. M.: Znaniye, 1984. 64 s.
2. *Lopatin A.V., Rutkovskaya M.A.* Obzor konstruktсий sovremennykh transformiruemyykh kosmicheskikh antenn // Vestnik SGAU im. M.F. Reshetneva. 2015. Ch. 1, vyp. 2. S. 58.
3. *Mel'nikov V.M., Matyushenko I.N., Chernova N.A., Kharlov B.N.* Problemy sozdaniya v kosmose krupnogabaritnykh konstruktсий // Trudy MAI. 2014. Vyp. 78. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy> (data obrashcheniya: 20.04.2017).
4. *Meshkovskiy V.E.* Teplovoyy rezhim fermennogo reflektora transformiruemoy krupnogabaritnoy kosmicheskoy antennoy // Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii. 2013. Vyp. 7. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machinrocket/852.html> (data obrashcheniya: 20.04.2017).
5. *Raykunov G.G., Komkov V.A., Mel'nikov V.M., Kharlov B.N.* Tsentrobeznyye beskarkasnyye krupnogabaritnyye kosmicheskie konstruktсии. M.: Fizmatlit, 2009. 447 s.
6. *Тимаков С.Н.* Исследование динамики управляемого углового движения космического пленочного рефлектора: с двойным вращением // Международная конференция по крупногабаритным космическим конструкциям НПО «Энергия»: сборник материалов. Н. Новгород, 1993. С. 37–38.
7. *Ширяев В.П.* Саморазворачивающиеся и сворачивающиеся пленочные конструкции // Международная конференция по крупногабаритным космическим конструкциям НПО «Энергия»: сборник материалов. Н. Новгород, 1993. С. 12–13.

DOI: 10.25586/RNUV9187.19.01.P.061

УДК 519.8

Э.А. Меликов

КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

В качестве объекта моделирования рассматривается установка каталитического риформинга. Сложность функционирования этой установки определяется многоступенчатыми реакционными процессами, происходящими в реакторном блоке. Невозможность учета некоторых важных качественных и режимных параметров реакторного блока затрудняет моделирование и управление данным процессом. Степень неопределенности, которая возникает при принятии решения в процессе управления риформингом, приводит к необходимости разработки его логико-лингвистической модели и алгоритма управления. Применение разработанной размытой модели и алгоритма оптимизации рассматриваемого технологического процесса обеспечивает оптимальные технологические режимы установки риформинга.

Ключевые слова: каталитический риформинг, логико-лингвистическая модель, реакторный блок, алгоритм оптимизации, функция принадлежности, технологический процесс.

E.A. Melikov

A CONCEPTUAL APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF LOGICAL-LINGUISTIC MODELS FOR CATALYTIC REFORMING INSTALLATION

The article considers a catalytic reforming installation as a object of modeling. The complexity of the functioning this installation is determined by the multistage reaction processes occurring in the reactor block. The inability to take into account some important qualitative and regimes parameters of the reactor block makes it difficult modelling and control this process. The degree of uncertainty that arises when making a decision in the process of control reforming leads to the need to develop its logical-linguistic model and control algorithm. The application of the developed fuzzy model and optimization algorithm of the considered technological process provides the optimal technological regimes of the reforming installation.

Keywords: catalytic reforming, logical-linguistic model, reactor block, optimization algorithm, membership function, technological process.

Известно, что установка каталитического риформинга служит основой для получения из низкооктановых бензиновых фракций высококачественного компонента для производства неэтилированных высокооктановых автомобильных и авиационных бензинов, ароматических углеводородов и водородосодержащего газа для процессов гидроочистки, гидрокрекинга, изомеризации и т.д. Сырьем для данной установки являются бензиновая и лигроиновая фракции, получаемые на установках первичной переработки нефти нефтеперерабатывающих заводов. При этом технологический комплекс рассматриваемой установки состоит из блока платформинга, включающего в себя четыре последовательно и вертикально соединенных реактора, две ректификационные колонны, шесть печей, ряд теплообменников и промежуточных емкостей.

Данная технологическая установка как объект управления представляет собой многоступенчатый реакционный процесс. Установлено, что получение и соблюдение требуемых, в соответствии с регламентом, качественных показателей промежуточного продукта – высокооктанового платформата, получаемого в этом технологическом комплексе, в основном зависит от набора взаимосвязанных технологических параметров многосекционного реакторного блока [1; 3].

Многостороннее исследование функционирования рассматриваемой технологической установки показывает, что из-за сложности, а иногда даже невозможности учета ряда важных трудноформализуемых и неформализуемых факторов, таких как, например, химический состав поступающего на установку сырья, активность используемого катализатора в технологической системе, степень превращения низкооктановых компонентов в высокооктановые в каждом из рассматриваемых реакторов и октановое число промежуточного товарного продукта, результаты математического моделирования и оптимизации нередко получаются неадекватными текущей ситуации в данной технологической системе.

Причина невозможности учета перечисленных качественных и режимных параметров реакторного блока в процессе управления связана с отсутствием в настоящее время не-

прерывных промышленных способов их контроля. Все это серьезно затрудняет проведение экспериментальных работ по сбору необходимого объема статистического материала для моделирования и управления данным процессом.

Из всего этого становится ясно, что степень неопределенности, которая возникает при принятии решения в процессе управления риформингом, относится к классу размытых множеств, поэтому была поставлена задача разработать его логико-лингвистическую модель и алгоритм управления [2; 4]. Исследования, проведенные на установке каталитического риформинга, показали, что с течением времени активность катализатора падает вследствие отложения на нем кокса и нарушения хлоридного баланса, так как хлор играет важную роль в создании активной поверхности катализатора, поверхностных комплексов, обеспечивающих стабильную работу катализаторов в жестких условиях процесса.

Для того чтобы в некоторой степени восстановить активность катализатора, проводят его регенерацию. Падение активности катализатора сильно влияет на технологический процесс, снижая октановое число целевого продукта (риформата) и повышая температуру в реакторах. В процессе анализа поведения катализатора в межрегенерационный период была изучена динамика изменения температурного режима работы реакторов каждой секции. Установлено, что со временем происходит рост температуры, обусловленный необходимостью сохранения реакционной способности катализатора, несмотря на падение его общей активности.

Проведенный анализ динамики изменения температурного режима в реакторах платформинга показал, что период между регенерациями делится на три стабильных как по продолжительности, так и по изменению температур (в пределах 7°C) подпериода; можно сделать вывод о том, что, ввиду незначительного изменения температуры в реакторах, активность катализатора для каждого из рассматриваемых подпериодов можно считать неизменной.

Следовательно, каждый подпериод характеризуется определенными температурными режимами, зависящими от количества и качества используемого сырья, причем данные режимы позволяют добиться желаемого качества целевого продукта. Кроме того, по окончании одного подпериода осуществляется переход на другой режим работы реакторного блока, соответствующий новому условному значению активности катализатора.

В результате исследования установки риформинга были выбраны следующие технологические параметры, необходимые для управления рассматриваемым технологическим процессом: температура в первом реакторе T_1 , температура во втором реакторе T_2 , температура в третьем реакторе T_3 , температура в четвертом реакторе T_4 , удельный вес сырья γ , расход сырья (фракции $85 \div 120^\circ\text{C}$) и октановое число промежуточного товарного продукта (платформата) O_n .

Для построения логико-лингвистического описания рассматриваемого технологического процесса были приняты следующие лингвистические переменные (ЛП): $T_1, T_2, T_3, T_4, \gamma, F_c$ и O_n . Для каждой ЛП были определены терм-множества и соответствующие им функции принадлежности.

Следует отметить, что при построении функции принадлежности для каждого значения терма вышеперечисленных ЛП мы придерживались алгоритма, состоящего из четырех основных шагов.

Шаг 1. Определение минимально необходимого множества термов на основе формального опыта лица, принимающего решение, и дальнейшее их уточнение в процессе управления рассматриваемым технологическим объектом.

Шаг 2. Согласование носителей этих термов на основе технологических (регламентных) требований, а также знаний и опыта лица, принимающего решение.

Шаг 3. Тщательный экспертный опрос лица, принимающего решение, с целью сбора и накопления необходимых экспериментальных данных для эмпирического построения кривой функции принадлежности принятых термов для каждой из выделенных ЛП.

Шаг 4. Построение эмпирической кривой функции термов для выяснения вида функции принадлежности и расчет на компьютере параметров функции принадлежности полученного типа (а в рассматриваемом случае таким типом функции принадлежности оказался экспоненциальный вид).

Построенные функции принадлежности ЛП технологической установки каталитического риформинга представлены в таблице.

Функции принадлежности ЛП технологической установки каталитического риформинга

Имя ЛП	Область изменения параметра	Терм-множества ЛП	Функции принадлежности термов
Температура в первом реакторе $T_1, ^\circ\text{C}$	480÷500	Малое (480÷486,5); среднее (486,5÷493); большое (493÷500)	$\beta_m(y_1) = \exp\left(-\frac{1}{3,25} \ln(1/2)\right) y_1 - 483,25 $; $\beta_c(y_1) = \exp\left(-\frac{1}{3,25} \ln(1/2)\right) y_1 - 489,75 $; $\beta_b(y_1) = \exp\left(-\frac{1}{3,5} \ln(1/2)\right) y_1 - 483,25 $
Температура во втором реакторе $T_2, ^\circ\text{C}$	480÷505	Малое (480÷488); среднее (488÷496); большое (496÷505)	$\beta_m(y_2) = \exp(-0,025 \ln(1/2)) y_2 - 484 $; $\beta_c(y_2) = \exp(-0,25 \ln(1/2)) y_2 - 492 $; $\beta_b(y_2) = \exp\left(-\frac{1}{4,5} \ln(1/2)\right) y_2 - 500,5 $
Температура в третьем реакторе $T_3, ^\circ\text{C}$	480÷510	Малое (480÷490); среднее (490÷500); большое (500÷510)	$\beta_m(y_3) = \exp(-0,2 \ln(1/2)) y_3 - 485 $; $\beta_c(y_3) = \exp(-0,2 \ln(1/2)) y_3 - 495 $; $\beta_b(y_3) = \exp(-0,2 \ln(1/2)) y_3 - 505 $
Температура в четвертом реакторе $T_4, ^\circ\text{C}$	485÷515	Малое (485÷495); среднее (495÷505); большое (505÷515)	$\beta_m(y_4) = \exp(-0,2 \ln(1/2)) y_4 - 490 $; $\beta_c(y_4) = \exp(-0,2 \ln(1/2)) y_4 - 510 $; $\beta_b(y_4) = \exp(-0,2 \ln(1/2)) y_4 - 510 $

Имя ЛП	Область изменения параметра	Терм-множества ЛП	Функции принадлежности термов
Удельный вес сырья γ	0,78÷0,80	Малое (0,78÷0,785); среднее (0,785÷0,79); большое (0,79÷0,80)	$\mu(x_1) = \exp(-25 \ln(1/2) x_1 - 0,7825)$; $\mu(x_1) = \exp(-25 \ln(1/2) x_1 - 0,787)$; $\mu(x_1) = \exp(-25 \ln(1/2) x_1 - 0,795)$
Расход сырья (фракции) 85÷120 °С F_c	70÷110	Малое 70÷80; среднее 80÷90; большое 90÷110	$\mu(x_2) = \exp(-0,2 \ln(1/2) x_2 - 75)$; $\mu(x_2) = \exp(-0,2 \ln(1/2) x_2 - 85)$; $\mu(x_2) = \exp(-0,1 \ln(1/2) x_2 - 100)$
Октановое число платформата O_n	94÷100	Очень малое (94÷95); малое (95÷96); ниже среднего (96÷97); среднее (97÷98); большое (98÷100)	$\mu(x_3) = \exp(-0,5 \ln(1/2) x_3 - X_{3i}^{cp})$

Приведенные логико-лингвистическая модель и алгоритм применимы к решению задачи оптимизации процесса каталитического риформинга. Применение полученной размытой модели и алгоритма оптимизации рассматриваемого технологического процесса показало, что предлагаемый подход обеспечивает надежные и оптимальные технологические режимы установки риформинга, практичные для реализации их на компьютере.

Литература

1. Алиев Р.А., Эфендиев И.Р., Абилов Ю.А. Нечеткие модели и алгоритмы управления многостадийными ХТС в условиях неполной информации // Теоретические основы химической технологии. 1986. № 1. С. 45–55.
2. Dubois D., Prade H. Fuzzy Sets and Systems. [S. l.], 2009. Vol. 2. P. 77–88.
3. Ibrahimov I.A., Efendiev I.R., Kopyitsky V.T., Melikov E.A. The Methods of Simulation and Optimal Control in Fuzzy Environment for Technological Processes // ICAFS-94: Proceedings of the International Conference on Application of Fuzzy Systems. [S. l.], 1994. P. 15–23.
4. Nizimoto M., Tanaka K. Algebraic Properties of Fuzzy Numbers Process // Fuzzy Sets and Systems: Theory and Application. [S. l.], 2007. P. 56–69.

Literatura

1. Aliiev R.A., Efendiev I.R., Abilov Yu.A. Nечеткие модели i algoritmy upravleniya mnogostadiynymi KHTS v usloviyakh nepolnoy informatsii // Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii. 1986. № 1. S. 45–55.
2. Dubois D., Prade H. Fuzzy Sets and Systems. [S. l.], 2009. Vol. 2. P. 77–88.
3. Ibrahimov I.A., Efendiev I.R., Kopyitsky V.T., Melikov E.A. The Methods of Simulation and Optimal Control in Fuzzy Environment for Technological Processes // ICAFS-94: Proceedings of the International Conference on Application of Fuzzy Systems. [S. l.], 1994. P. 15–23.
4. Nizimoto M., Tanaka K. Algebraic Properties of Fuzzy Numbers Process // Fuzzy Sets and Systems: Theory and Application. [S. l.], 2007. P. 56–69.