



УДК 681.5

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ГАММЕРШТЕЙНА В УПРАВЛЕНИИ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННОЙ



APPLICATION OF THE HAMMERSTEIN MODEL IN RECTIFICATION COLUMN MANAGEMENT

Тугашова Лариса Геннадьевна

кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры автоматизации
и информационных технологий,
Альметьевский государственный нефтяной институт
tugashova@yandex.ru

Аннотация. Выполнен обзор способов управления установками переработки нефти. Отмечены особенности процесса ректификации нефтеперерабатывающей установки малой мощности. Осуществлен выбор входных и выходных параметров объекта исследования. Для улучшения качества управления установкой предложено применять модель Гаммерштейна в управлении. Выполнена идентификация параметров нелинейной и линейной частей модели Гаммерштейна для нефтеперерабатывающей установки малой мощности. Полученная модель позволяет исследовать влияние различных воздействий на управляемые параметры. Инструментом моделирования выбран программный продукт Matlab.

Ключевые слова: ректификация, управление по модели, модель Гаммерштейна, динамическая модель, параметр.

Tugashova Larisa Gennadyevna

Ph. D. in Technical Sciences,
Senior Lecturer of Department of
automation and information technology,
Almetyevsk State Oil Institute
tugashova@yandex.ru

Annotation. The review of methods for managing oil refining plants is performed. The features of the process of rectification of a low-capacity oil refining plant are noted. The choice of input and output parameters of the research object was made. To improve the quality of installation management, it is proposed to use the Hammerstein model in management. Identification of parameters of the nonlinear and linear parts of the Hammerstein model for a low-power oil refining plant is performed. The resulting model allows us to study the effect of various actions on the managed parameters. The software product Matlab was selected as the modeling tool.

Keywords: rectification, model management, Hammerstein model, dynamic model, parameter.

При управлении нефтеперерабатывающими установками важным условием является выполнение требований к качеству получаемых нефтепродуктов при поддержании технологических параметров на заданных значениях.

При управлении ректификационными установками по различным критериям с целью стабилизации качества нефтепродуктов осуществляются следующие виды управления.

1. Управление на основе типового проектного решения, когда выполняется измерение технологических параметров сырья, выпускаемой продукции и стабилизация технологических параметров в соответствии со значениями, указанными в регламенте. Недостаток такого управления состоит в том, что при использовании результатов лабораторного анализа качества нефтепродуктов возможен выпуск некондиционной продукции, так как отбор проб и лабораторный контроль выполняется с определенной частотой. В случае применения одноконтурных систем не учитывается взаимное влияние параметров. В работе [1] для стабилизации качества продукции установок первичной нефтепереработки приведены двухконтурные схемы регулирования на установках первичной переработки нефти.

2. Адаптивное и робастное управление. Например, в работе [2] выполнен анализ проблемы разработки робастной многомерной системы управления многокомпонентными нефтяными ректификационными колоннами. Предложен алгоритм синтеза системы автоматического управления (САУ) на базе линейно-квадратичного регулятора.

3. Управление с применением нечетких и нейронечетких регуляторов. Например, в статье [3] предлагается система управления показателями качества продукции атмосферной нефтеперерабатывающей установки с нечетким регулятором. В качестве объекта управления предложено применить искусственную нейронную сеть (ИНС) прямого распространения, на вход которой подаются значения изменения управляющих воздействий: расходов перегретого пара, подаваемого в атмосферную колонну; острого орошения колонны; циркуляционного орошения; перегретого пара, поступающего в отпарную колонну. На выходе определяются значения температур начала и конца кипения фракции 120–180 °С. Величины рассогласования поступают на вход регулятора на основе нечеткой логики.

4. Системы управления с компенсаторами и типовыми регуляторами. Например, в работе [4] предложена система управления процессом ректификации, содержащая датчики расходов, темпера-



туры, давления, уровня, сумматоры, блок материального баланса, анализатор состава, регуляторы, компенсаторы возмущений по расходу и составу сырья, компенсаторы перекрестных связей. Следует отметить, что при применении компенсаторов затруднительна практическая реализация.

5. Применение в алгоритмах управления математических моделей процесса. Например, в статье [5] приведено описание применения в управлении ректификационной колонной эталонной модели. В управлении крупными нефтеперерабатывающими заводами (НПЗ) применяются системы усовершенствованного управления с применением прогнозирующих моделей (*Profit Controller (Honeywell)*, *exaSMOC (Yokogawa)* и др.). Динамическая модель процесса строится по экспериментальным данным по всем регулируемым величинам от всех управляющих воздействий и наблюдаемых возмущений. В работе [6] предложен метод управления по модели малым НПЗ в условиях переменного расхода и состава сырья.

Применяются также регуляторы с внутренней *Internal model control (IMC)*-моделью [7]. В этом случае регулятор представляет собой инвертированную модель объекта управления, которую не всегда возможно получить.

В работах [8, 9] для определения показателей качества нефтепродуктов получены модели виртуальных анализаторов показателей качества. В статье [10] математические модели для определения показателей качества нефтепродуктов (температур начала и конца кипения) используются как ограничения при решении задачи оптимизации энергетических затрат на маломощной нефтеперерабатывающей установке.

С целью учета нелинейности и многосвязности параметров при управлении атмосферной колонной маломощной нефтеперерабатывающей установки предлагается применение модели Гаммерштейна в управлении. При построении модели учитывались особенности нефтеперерабатывающей установки малой мощности, а именно, организация потоков циркуляционного орошения.

Так как провести эксперимент по снятию динамических характеристик на действующей установке сложно, в качестве источника экспериментальных данных использовалась динамическая модель процесса ректификации нефти малого НПЗ, состоящая из системы уравнений материальных и тепловых балансов [11]. С целью выделения нелинейной части проведен виртуальный эксперимент. По полученным массивам значений входных и выходных параметров построена модель атмосферной колонны нефтеперерабатывающей установки в виде модели Гаммерштейна, приведенной на рисунке 1.

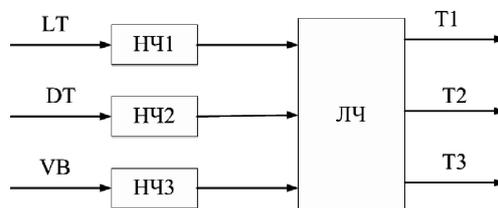


Рисунок 1 – Структура модели Гаммерштейна: T1, T2, T3 – температуры соответственно верха колонны (бензиновой фракции), дизельной фракции, низа колонны (мазута); НЧ1, НЧ2, НЧ3 – нелинейные части; ЛЧ – линейная часть; DT – расход дизельного топлива; LT – расход острого орошения; VB – расход перегретого пара

Выведены зависимости для нелинейных частей по каждому каналу управления в виде статических характеристик. Вычислены коэффициенты моделей по каждому каналу управления. На рисунке 2 для примера приведен график статической характеристики по каналу «расход дизельного топлива – температура дизельного топлива» (модель – сплошная линия, эксперимент – отдельные отсчеты).

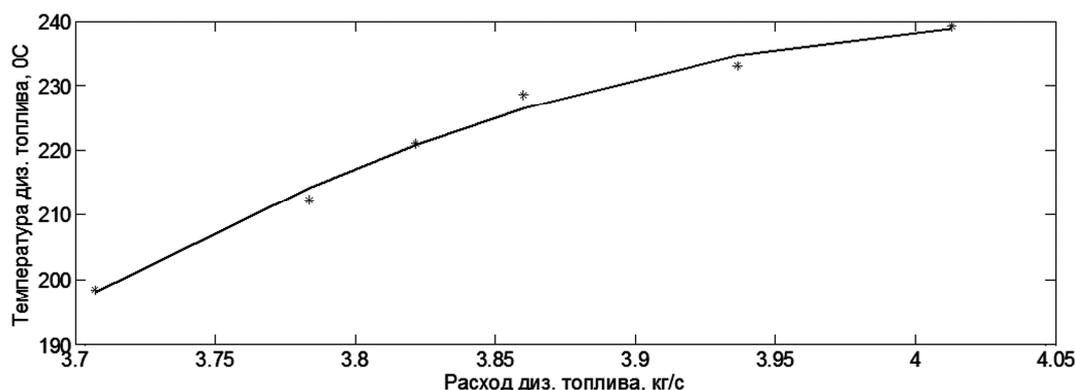


Рисунок 2 – Статическая характеристика



На рисунке 3 приведен алгоритм нахождения параметров модели Гаммерштейна.

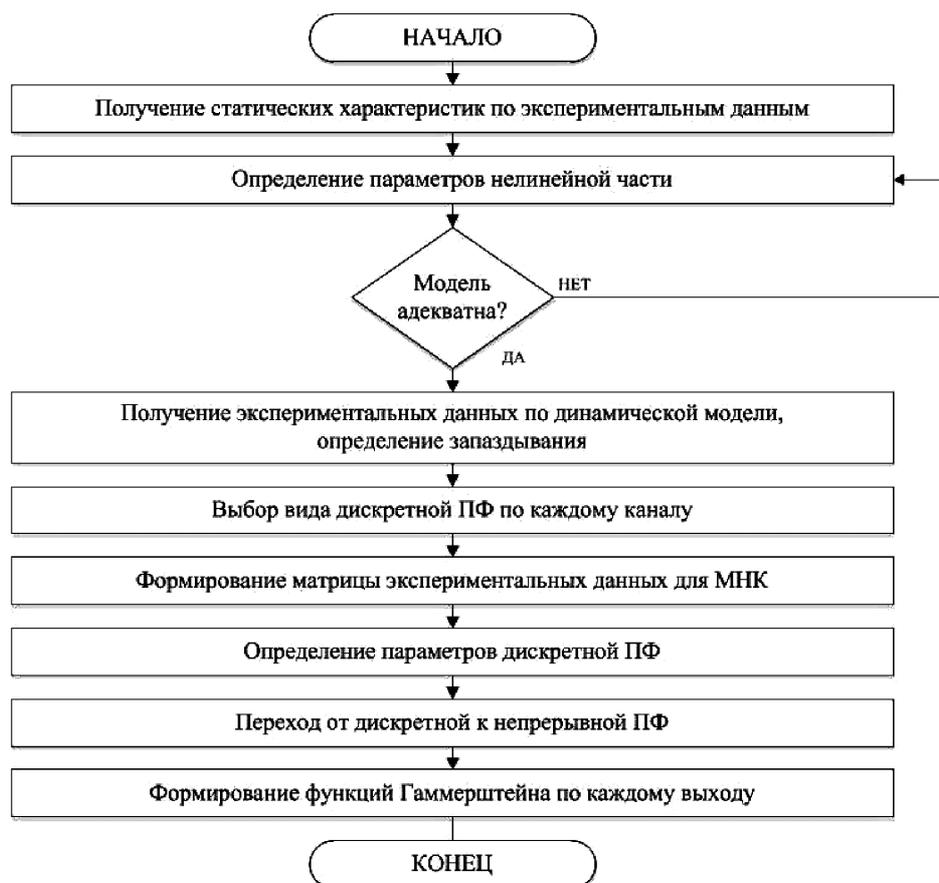


Рисунок 3 – Алгоритм определения параметров модели Гаммерштейна

При определении параметров модели применен метод наименьших квадратов (МНК). Инструментом моделирования выбрана программа *Matlab* [12]. После определения вида нелинейности по каждому каналу управления и идентификации параметров линейной части в виде матрицы передаточных функций (ПФ) определена модель Гаммерштейна в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 T1 &= W_{11}(p)F(LT) + W_{12}(p)F(DT) + W_{13}(p)F(VB); \\
 T2 &= W_{21}(p)F(LT) + W_{22}(p)F(DT) + W_{23}(p)F(VB); \\
 T3 &= W_{31}(p)F(LT) + W_{32}(p)F(DT) + W_{33}(p)F(VB);
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где $W_{ij}(p)$ – передаточная функция от j -го входа к i -му выходу; $F(LT)$, $F(DT)$, $F(VB)$ – нелинейности; Ti – выходной параметр (температуры на отборных тарелках).

Максимальная относительная погрешность полученной модели Гаммерштейна (1) не превышает 5 % относительно «экспериментальных значений».

Таким образом, по массивам значений управляемых параметров и управляющих воздействий по предложенному алгоритму определены структура и параметры модели Гаммерштейна. Полученная модель может быть применена при управлении ректификационной колонной нефтеперерабатывающей установки на большем диапазоне изменения входных параметров за счет выделения в модели нелинейной части.

Литература:

1. Технология переработки нефти. В 2-х ч. Ч. 1. Первичная переработка нефти / Под ред. О.Ф. Глаголевой и В.М. Капустина. – М. : Химия, КолосС, 2006. – 400 с.
2. Стопакевич А.А. Разработка робастной системы управления колонной атмосферной перегонки нефти // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 5. – № 2 (77). – С. 49–57.
3. Егоров А.Ф., Михайлова П.Г. Нечеткая система управления показателями качества продукции первичной переработки нефти // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19. – № 4. – С. 757–763.



4. Патент на изобретение № 2176149 / Марушак Г.М., Кудряшов В.С., Энтин Б.Г., Алексеев М.В., Кузьменко В.В. Система автоматического управления процессом ректификации. 01.12.2001. Бюл. № 33.
5. Шаровина С.О. Управление температурным профилем ректификационной колонны тарельчатого типа // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. – № 3. – С. 39.
6. Дмитриевский Б.С., Затонский А.В., Тугашова Л.Г. Задача управления процессом ректификации нефти и метод ее решения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 2. – С. 136–145.
7. Sahoo A., Radhakrishnan T.K., Sankar Rao C. Modeling and control of a real time shell and tube heat exchanger // International Conference on Separation Technologies in Chemical, Biochemical, Petroleum and Environmental Engineering. – Tomsk, 2017. – V. 3. – P. 124.
8. Тугашова Л.Г. Виртуальные анализаторы показателей качества процесса ректификации // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – Т. 9. – № 3. – С. 97–103.
9. Подготовка данных для построения виртуальных анализаторов в задачах усовершенствованного управления / А.П. Веревкин [и др.] // Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 3. – С. 12–17.
10. Тугашова Л.Г., Затонский А.В. Снижение энергетических затрат при управлении установкой ректификации нефти // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20. – № 1. – С. 120–132.
11. Controlling the Oil Rectification Process in a Primary Oil Refining Unit Using a Dynamic Model / A.V. Zatonkiy [et al.] // Petroleum Chemistry. – 2017. – Vol. 57. – № 12. – P. 1121–1131.
12. Затонский А.В., Тугашова Л.Г. Моделирование объектов управления в MatLab : Учебное пособие. – СПб. : Лань, 2019. – 144 с.

References:

1. The technology of oil refining. In 2 parts. Part 1. Primary oil processing / Edited by O.F. Glagoleva and V.M. Kapustin. – M. : Chemistry, Colossus, 2006. – 400 p.
2. Stopakevich A.A. Development of a robust control system for the atmospheric distillation column of oil // Eastern European journal of advanced technologies. – 2015. – Vol. 5. – № 2 (77). – P. 49–57.
3. Egorov A.F., Mikhailov P.G. A Fuzzy control system of quality indices of products of primary processing of oil // Bulletin of the TGTU. – 2013. – V. 19. – № 4. – P. 757–763.
4. Patent for invention № 2176149 / Marushak G.M., Kudryashov V.S., Entin B.G., Alekseev M.V., Kuzmenko V.V. Automatic control system for the rectification process. 01.12.2001. Bull. № 33.
5. Surovina S.O. Control of temperature profile of a distillation column Poppet type // Devices and systems. Management, control, diagnostics. – 2013. – № 3. – P. 39.
6. Dmitrievsky B.S., Zatonkiy A.V., Tugashova L.G. Task of controlling oil rectification and the method of its solution // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. – 2018. – Vol. 329. – № 2. – P. 136–145.
7. Sahoo A., Radhakrishnan T.K., Sankar Rao C. Modeling and control of a real time shell and tube heat exchanger // International Conference on Separation Technologies in Chemical, Biochemical, Petroleum and Environmental Engineering. – Tomsk, 2017. – Vol. 3. – P. 124.
8. Tugashova L.G. Virtual analyzers of quality indicators of process of rectification // Electrotechnical and information complexes and systems. – 2013. – Vol. 9. – № 3. – P. 97–103.
9. Data preparation for building virtual analyzers in advanced management tasks / A.P. Verevkin [et al.] // Automation in industry. – 2019. – № 3. – P. 12–17.
10. Tugashova L.G., Zatonkiy A.V. Reduction of Energy Costs by Oil Rectification Plant Control // Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. – 2020. – Vol. 20. – № 1. – P. 120–132.
11. Controlling the Oil Rectification Process in a Primary Oil Refining Unit Using a Dynamic Model / A.V. Zatonkiy [et al.] // Petroleum Chemistry. – 2017. – Vol. 57. – № 12. – P. 1121–1131.
12. Zatonkiy A.V., Tugashova L.G. Modelling of control objects in MatLab : a tutorial. – SPb. : Lan, 2019. – 144 p.