

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВЫХОДНОГО ПРОДУКТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ⁵

И.С. Можаровский^{1,2}, С.А. Самотылова^{1,3}

¹Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Россия, Владивосток, samotylova@dvo.ru

²Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Россия, Владивосток, studvvsu@gmail.com

³Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток

Аннотация. Предложено использование алгоритма условных чередующихся математических ожиданий при построении математических моделей для оценки показателей качества выходного продукта на основе экспериментальных данных. Представлена структура математической модели для оценки изо-пентана в верхнем выходном продукте (дистилляте) ректификационной колонны вторичной перегонки бензинов в виде преобразованных входных переменных. Показаны результаты функционирования математических моделей, построенных с использованием обобщённо-регрессионной нейронной сети и алгоритма условных чередующихся математических ожиданий на примере промышленного массообменного технологического процесса.

Ключевые слова: массообменный технологический процесс, ректификационная колонна, непараметрические методы, нейронная сеть, алгоритм ACE.

MATHEMATICAL MODELS DESIGN FOR ESTIMATING THE QUALITY INDICATORS OF THE OUTPUT PRODUCT UNDER UNCERTAINTY

I.S. Mozharovskii^{1,2}, S.A. Samotylova^{1,3}

¹Institute of Automation and Control Process FEB RAS, Russia, Vladivostok, samotylova@dvo.ru

²Vladivostok State University of Economics and Service, Russia, Vladivostok, studvvsu@gmail.com

³Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok

Abstract. To use an algorithm of conditional alternating expectations when constructing mathematical models to estimate the quality indicators of the output product based on experimental data is proposed. The structure of a mathematical model for evaluating isopentane in the upper output product (distillate) of a distillation column for the secondary distillation of gasoline is presented in the form of transformed input variables. The results of the functioning of mathematical models design using a generalized regression neural network and an algorithm of conditional alternating expectations are shown on the example of an industrial mass transfer technological process.

Keywords: mass transfer technological process, distillation column, nonparametric methods, neural network, ACE algorithm.

В большинстве случаев массообменные технологические процессы (МТП) протекают в ректификационных колоннах и широко распространены в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Нестационарность массообменных технологических процессов приводит к сложности при построении моделей для оценки качества выходного продукта МТП. Широкое распространение получили методы построения регрессионных моделей, основанные на математической статистике и машинном обучении. Такой подход основан на предположении о возможности получения аналитически заданной функциональной зависимости (известной или заданной структуры) с последовательным уточнением значений ее коэффициентов. В реальных условиях большинство массообменных технологических объектов, являются слабо формализуемыми из-за недостаточности имеющихся знаний о них и о среде, в которой они функционируют, поэтому универсальные подходы обычно не вносят ясности в выбор структуры модели. В случае нелинейности

⁵ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-57-53005 ГФЕН_а).

технологического процесса наиболее перспективными являются непараметрические методы [1, 2], в частности, алгоритм чередующихся условных математических ожиданий (alternating conditional expectations – ACE) [3, 4]. Главная концепция такого подхода при построении моделей заключается в нахождении взаимосвязей между переменными состояния системы (входными и выходными). Причем для оценки взаимосвязей отсутствует необходимость знать априорную информацию о системе.

Для имеющих p входных переменных x_i , $i = 1, \dots, p$ и выхода Y рассматривается модель, выраженная функциональной зависимостью:

$$Y = F(X, B) + \varepsilon, \quad (1)$$

где $X = (x_1, \dots, x_p)$ – вектор входных контролируемых технологических переменных; $B = (b_0, b_1, \dots, b_p)$ – вектор коэффициентов; ε – погрешность измерения выходной переменной.

При использовании алгоритма ACE переходим от модели вида (1) к выражению:

$$\Theta(Y) = \sum_{i=1}^p \Phi_i(x_i) + \varepsilon, \quad (2)$$

где Θ – функция выходной переменной Y ; Φ_i – функции входов x_i , $i = 1, \dots, p$; ε – ошибка.

Ставится задача построения математических моделей для оценки показателей качества (ММОПК) выходного продукта сложных нелинейных объектов на основе экспериментальных данных при неизвестной структуре.

Рассматривается массообменный технологический процесс вторичной перегонки бензинов С-6 (рис. 1). Для процесса необходима оценка показателя качества по доле изо-пентана в выходном верхнем продукте (дистилляте).

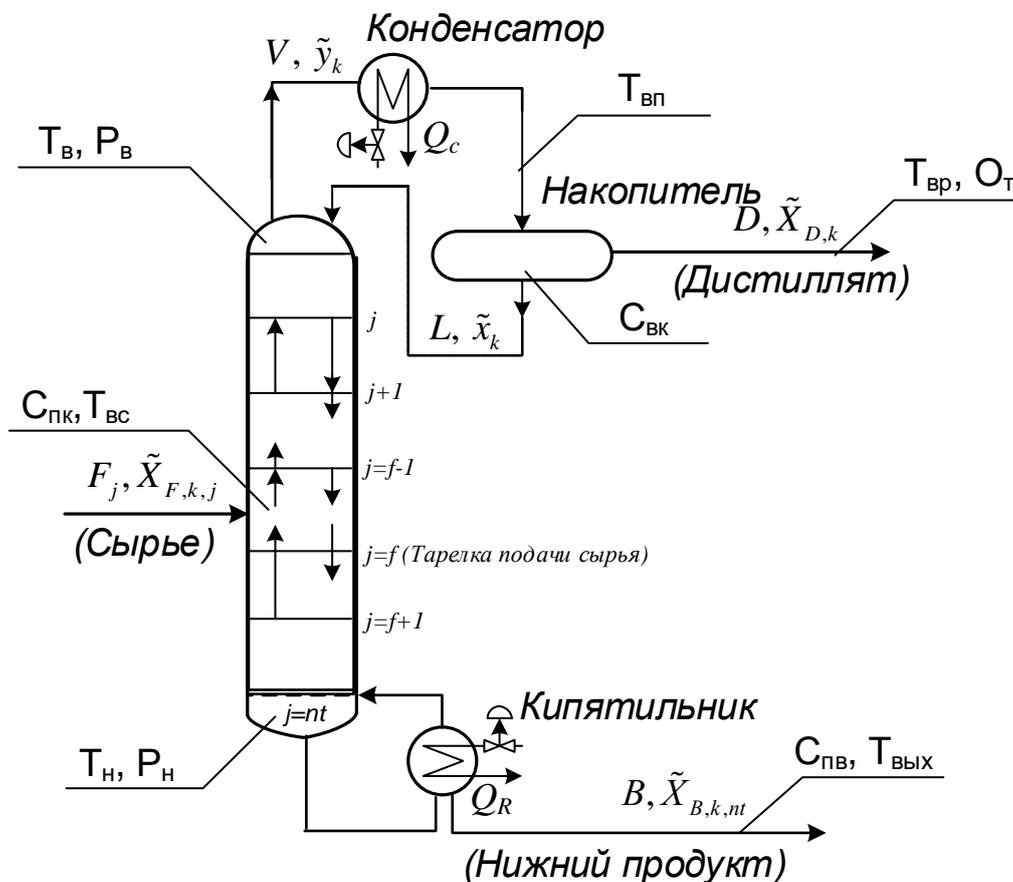


Рис. 1. Схематическое изображение ректификационной колонны вторичной перегонки бензинов С-6

При построении математической модели оценки показателя качества выходного продукта РК по доле изо-пентана Y (моль/кг) использовались данные с реального объекта: x_1 – количество производимого продукта (дистиллята), т/ч; x_2 – расход орошения, м³/ч; x_3 – давление верха колонны, кг/см²; x_4 – температура верха колонны, °С, x_5 – температура низа колонны, °С. Из представленных входов сформированы выборки данных для построения математических моделей для оценки содержания изо-пентана в выходном продукте (дистилляте).

При построении моделей для оценки показателя качества выходного продукта использовали обобщённо-регрессионную нейронную сеть (generalized regression neural network – GRNN) и алгоритм ACE. Основной задачей при построении ММОПК с использованием нейронных сетей нелинейных объектов является определение структуры нейронной сети и ее обучение [5]. Использование алгоритма ACE позволяет получить структуру математической модели из преобразованных параметров модели (рис. 2).

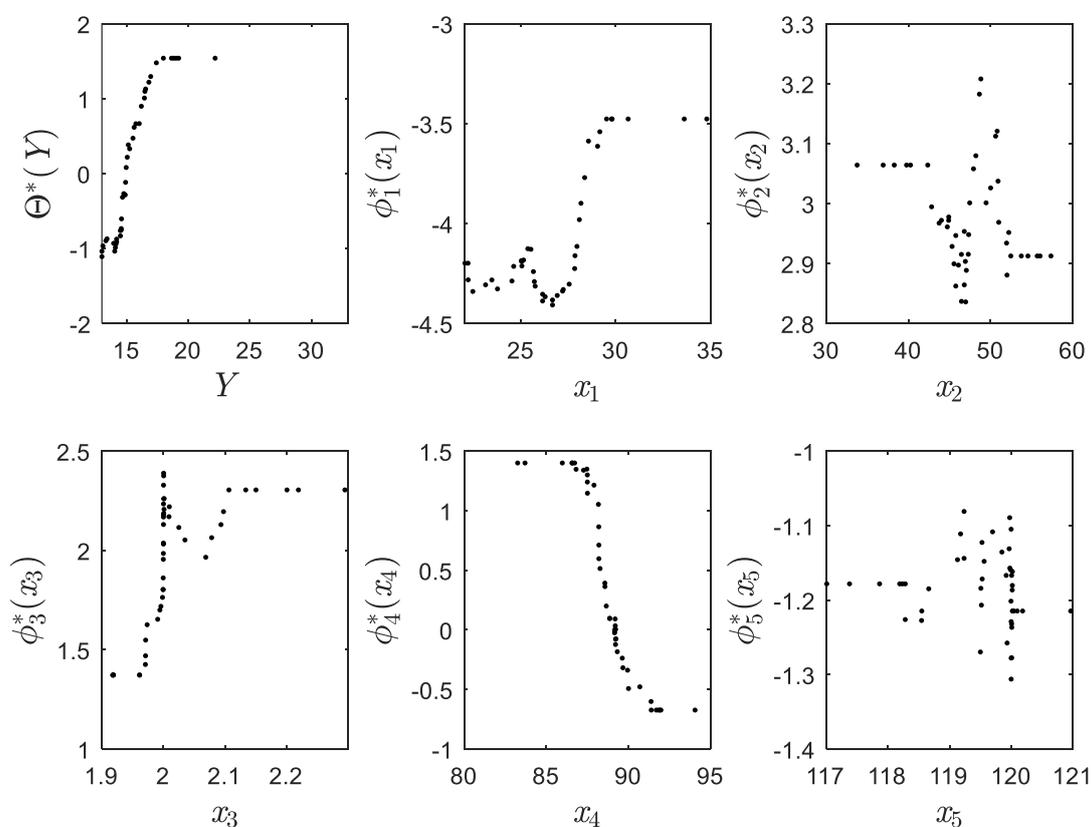


Рис. 2. Результат применения алгоритма ACE для определения структуры математической модели для оценки изо-пентана в дистилляте РК С-6

Из визуального представления преобразованных входных переменных (рис. 2) следует, что x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 нелинейно влияют на выход.

Для оценки эффективности используемых подходов полученные модели проверены на тестовой выборке исторических данных технологического процесса размером N . На рис. 3 приведены результаты экспериментальных данных технологического процесса (Y), а также результаты функционирования моделей, полученных с использованием обобщённо-регрессионной нейронной сети ($\hat{Y}_{НС}$) и алгоритма ACE (\hat{Y}_{ACE}).

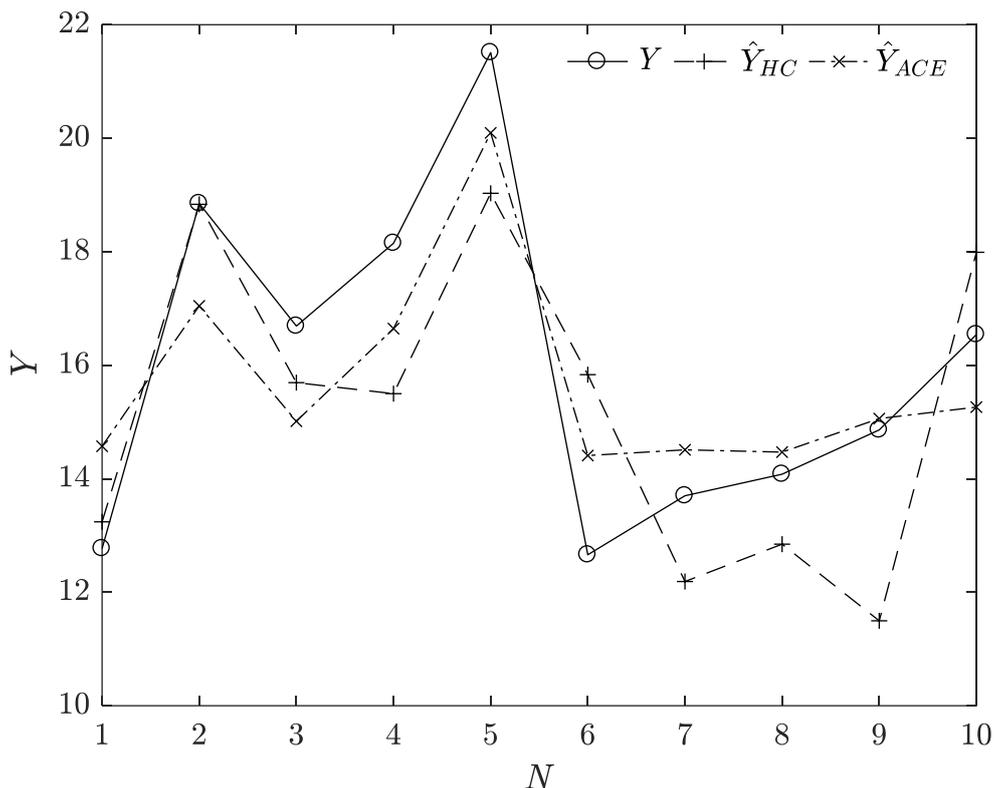


Рис. 3. Результаты функционирования математической модели для оценки изо-пентана в дистилляте РК С-6

По результатам функционирования математических моделей для оценки показателя качества выходного продукта показано явное преимущество использования алгоритма ACE. Применение алгоритма ACE позволяет повысить точность модели на $(100 \times (0,6312 - 0,3523) / 0,6312) \approx 44,2\%$ в сравнении с моделью, полученной с использованием метода нейронных сетей. Построение математических моделей для оценки показателя качества выходного продукта на основе нейронных сетей целесообразно применять в случае объектов, имеющих выраженные связи выходной переменной с входными. В случае, когда такие связи неявные (слабые), требуются дополнительные исследования, направленные на определение структуры и параметров прогнозирующего алгоритма нейронных сетей, от которых зависит успешность разрешения поставленной задачи.

Библиографический список

1. Hengl S., Kreutz C., Timmer J., Maiwald T. Data-based identifiability analysis of non-linear dynamical models // *Bioinformatics*. 2007. V. 23. No. 19. P. 2612–2618.
2. Di Ciaccio A., Montanari G.E. Non-parametric methods for data-mining applications // *Atti della XLI Riunione scientifica della Societa italiana di Statistica. Sessioni plenarie e Sessioni specializzate*. CLEUP. Padova. 2002. P. 339-348.
3. Breiman L., Friedman J. Estimating optional transformations for multiple regression and correlation // *Journal of the American Statistical Association*. 1985. V. 80. P. 580-598.
4. Wang D., Murphy M. Estimating optimal transformations for multiple regression using the ACE algorithm // *Journal of Data Science*. 2004. V. 2. P. 329-346.
5. Angelov P., Filev D. An approach to on-line identification of evolving Takagi-Sugeno models // *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*. 2004. V. 34. No 1. P. 484–498.