

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МАССООБМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И.С. Можаровский^{1,2}

¹Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Россия, Владивосток,

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

Аннотация. Рассматриваются вопросы создания математических моделей на основе экспериментальных данных для оценки качества выходного продукта массообменных технологических процессов. В работе представлен подход для построения математических моделей в условиях неизвестной структуры. Структура математической модели для оценки показателей качества массообменного технологического объекта определяется с помощью подхода оценки индекса структурной идентифицируемости, и определяются информативные входы в модель. На основе результатов исследования строится математическая модель на основе данных различными методами моделирования и выбирается наиболее точная для текущего состояния процесса.

Ключевые слова: математическая модель, массообменный технологический процесс, моделирование, оценка показателей качества, индекс структурной идентифицируемости.

APPROACH TO DESIGN MATHEMATICAL MODELS OF QUALITY INDICATORS FOR MASS TRANSFER TECHNOLOGICAL PROCESSES

I.S. Mozharovskii^{1,2}

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

Abstract. The article discusses the issues of creating mathematical models based on experimental data for assessing the quality of the output product of mass transfer technological processes. The paper presents an approach of design mathematical models in conditions of an unknown structure. The structure of the mathematical model for assessing the quality indicators of a mass-exchange technological object is determined by using the approach of assessing the index of structural identifiability, and informative inputs to the model are determined too. Based on the results of the study, a mathematical model is design based on the data by various modeling methods and the most accurate one is selected for the current state of the process.

Keywords: mathematical model, mass transfer technological process, modeling, evaluation of quality indicators, index of structural identifiability.

Для цитирования: Можаровский И.С. Подход к построению математических моделей для оценки показателей качества массообменных технологических процессов // Математические методы в технологиях и технике. 2022. №4. С. 42-46. DOI 10.52348/2712-8873_ММТТ_2022_4_42.

Качество выходного продукта может оцениваться с помощью лабораторных исследований, поточных анализаторов или математических моделях оценки показателя качества выходного продукта, которые входят в состав виртуального анализатора (ВА). Лабораторные исследования проводятся два раза в сутки в промежутках между заборами проб может быть произведено достаточно большое количество бракованной продукции. Поточные анализаторы дорогостоящие, требуют постоянной калибровки и не всегда есть физическая возможность установки их на промышленный объект. В свою очередь математические модели оценки показателей качества выходного продукта способны работать в режиме реального времени, что дает возможность настройки работы колонны оптимальным образом с точки зрения эффективности энергозатрат на производство и предотвращение брака.

Переработка нефти является сложным процессом, требующим постоянного контроля качества выходного продукта на каждом этапе производства. Разработка математических моделей для управления качеством выпускаемой продукции является актуальной задачей, которая усложняется тем, что неизвестна структура модели, а также количество входов в нее, так как промышленная ректификационная колонна (РК) имеет большое множество параметров, влияющих на выходное значение, это существенно затрудняет процесс построения таких моделей.

На рисунке 1 представлена схема взаимодействия подсистемы математических моделей оценки показателя качества (ММОПК) выпускаемой продукции с автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУТП) и системой усовершенствованного управления технологическим процессом (СУУТП). Взаимодействие осуществляется по средствам передачи данных работы колонны из АСУТП к ММОПК, после чего рассчитанные данные передаются в СУУТП на model predictive control (MPC) [1], которая передает соответствующие команды на управляемые переменные технологического процесса. По средствам такого взаимодействия осуществляется управление технологическим процессом с помощью ММОПК, являющимися основой ВА.

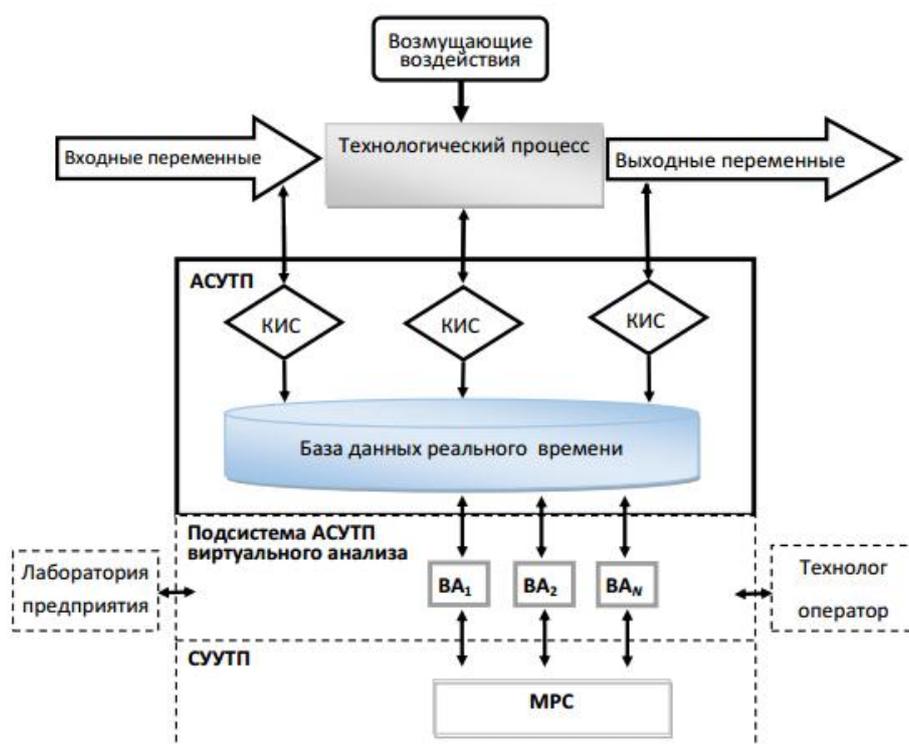


Рис. 1. Схема взаимодействия подсистемы ММОПК с АСУТП и СУУТП

В предлагаемом подходе использован алгоритм условных чередующихся математических ожиданий (ACE – alternating conditional expectations) [2] для построения математических моделей для оценки показателей качества выходных продуктов промышленных ректификационных колонн.

Работа алгоритма ACE заключается в том, что он итеративно подбирает оптимальные преобразования входной переменной и выходной переменной таким образом, что разность математического ожидания между ними стремиться к нулю.

Эти оптимальные преобразования входа и выхода являются зависимостью одной переменной к другой, которая может быть представлена в графическом виде и может быть интерпретирована исследователем для определения структуры полученной связи [3]. Благодаря этому свойству алгоритма АСЕ, предлагается алгоритм оценки индекса структурной идентифицируемости нелинейного процесса, который позволяет оценить выборку данных на возможность построения адекватной математической модели и оценить вес каждого входа в модель. Это существенно сокращает время на процесс разработки математической модели на основе экспериментальных данных для сложного массообменного объекта, а также предоставляет вид структуры модели исследователю для понимания процессов, протекающих в объекте [4].

В качестве объекта исследования рассматривается процесс вторичной перегонки бензина на РК С-6 рисунок 2, качество выпускаемой продукции вверху колонны (дистилляте) оценивается по концентрации изо-пентана, его содержание не должно превышать концентрацию более 0.4%.

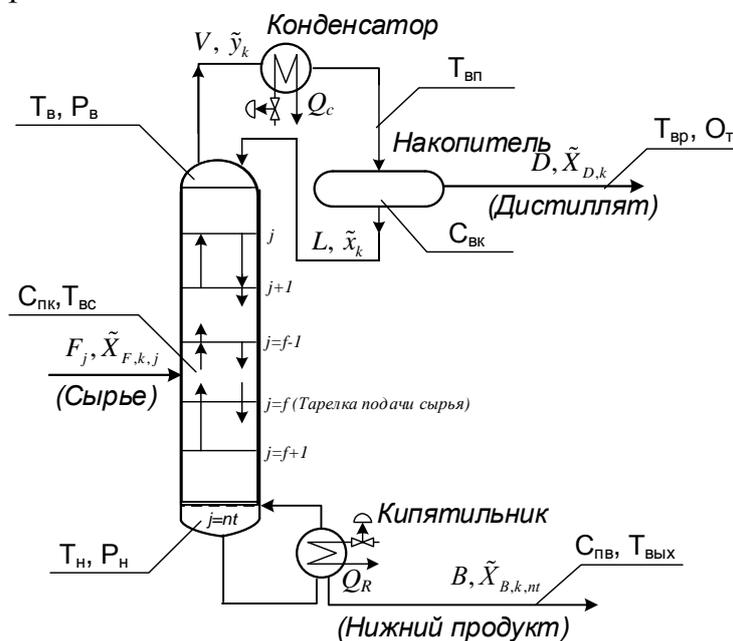


Рис. 2. Технологическая схема РК С-6

Для разработки математической модели для оценки качества выходного продукта РК С-6 по концентрации изо-пентана, необходимо определить входы в модель, а также ее структуру. Для этого воспользуемся методом оценки индекса структурной идентифицируемости и сформируем выборку данных объекта исследования [5]. Включим в модель наиболее значимые входы с точки зрения физического смысла процесса вторичной перегонки бензинов (табл. 1).

Таблица 1. Основные технологические переменные РК С-6 вторичной перегонки бензинов

№	Наименование переменных	Обозначение	Ед. измерения	Номинальные значения
1	Расход острого орошения РК	$C_{вк}$	$м^3/ч$	46
2	Температура вверху РК	$T_{в}$	$^{\circ}C$	88
3	Давление вверху РК	$P_{в}$	$кг/см^2$	2
4	Расход сырья в РК	$C_{пк}$	$м^3/ч$	72
5	Температура сырья в РК	$T_{вс}$	$^{\circ}C$	85
6	Температура внизу РК	$T_{н}$	$^{\circ}C$	120
7	Давление внизу РК	$P_{н}$	$кг/см^2$	3
8	Расход верхнего продукта	$O_{т}$	$т/ч$	30
9	Температура верхнего продукта	$T_{вр}$	$^{\circ}C$	73
10	Расход нижнего продукта	$C_{пв}$	$м^3/ч$	22
11	Температура нижнего продукта	$T_{вых}$	$^{\circ}C$	194

12	Температура потока перед накопителем	$T_{\text{вп}}$	°C	77
----	--------------------------------------	-----------------	----	----

После применения метода оценки индекса структурной идентифицируемости наиболее значимые входы в модель остались: X_1 – температура вверху РК (°C), X_2 – температура верха выходного продукта (°C), X_3 – температура входа продукта (°C), X_4 – поток сырья на входе в РК (м³/ч), X_5 – температура выхода продукта (°C), X_6 – количество производимого продукта (т/ч). Так как оценка идентифицируемости входов в модель показала, что наиболее подходящие являются именно они для модели (табл. 2). X_7 является дополнительным некоррелируемым с выходом входом, необходимым для работы подхода определения индекса структурной идентифицируемости [1].

Таблица 2. Параметры идентифицируемости для ММОПК РК С-6

Параметр (i)	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Y
$\Delta E_{m,i \text{ изоп}}$	0,465	0,139	0,805	0,388	0,176	0,102	0,839	0,0792
$i_{\text{изоп}}$	1,805	6,035	1,043	2,162	4,773	8,229	1,000	10,594

После применения подхода определения индекса структурной идентифицируемости можно визуально определить структуру модели исследуемого объекта (рис. 3).

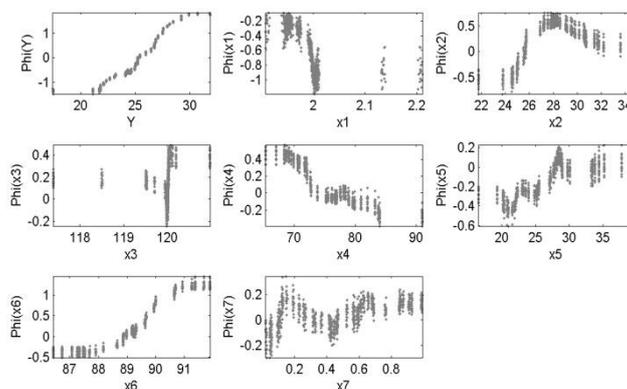


Рис. 3. Результат применения алгоритма ACE к сформированным матрицам по доле изо-пентана

Графическая структура модели позволяет оценить характер зависимостей процессов, протекающие в объекте исследования и лучше его понять – выбрать подходящий метод моделирования, так же дает возможность с помощью аппроксимации восстановить зависимости выходных значений и входных, если это необходимо.

Полученные результаты иллюстрируют целесообразность применения метода оценки индекса структурной идентифицируемости при построении математических моделей на основе экспериментальных данных для массообменных технологических объектов в условиях неизвестной структуры модели и входных переменных.

Библиографический список

- Holkar K.S., Waghmare L.M. An Overview of Model Predictive Control // International Journal of control and automation. – Vol. 3. – No. 4. – 2010. – P.47-63.
- Breiman, L. Estimating optional transformations for multiple regression and correlation / L. Breiman, J. Friedman // Journal of the American Statistical Association. – 1985. – Vol. 80. – P. 580-598.
- Wang, D. Estimating optimal transformations for multiple regression using the ACE algorithm / D. Wang, M. Murphy // Journal of Data Science. – 2004. – Vol. 2. – P. 329-346.
- Mozharovsky, I. S. Predictive modeling of mass-transfer of plant using an algorithm of alternating conditional expectations / I. S. Mozharovsky, S. A. Samotylova, A. Yu. Torgashov // Mathematical Models and Computer Simulations. – 2020. – Vol. 12, No. 6. – P. 915-925.
- Анализ идентифицируемости нелинейных объектов управления слабо формализованной структуры / Г. Б. Диго, Н. Б. Диго, А. Ю. Торгашов, И. С. Можаровский // Информатика и системы управления. – 2012. – № 3 (33). – С. 34-46.