

РАЗРАБОТКА ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ РЕАКТОРА ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУЧЕНИЯ ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЯ

Э.А. Меликов¹⁾, И.П. Аббасов²⁾

1) к.т.н., доцент Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджан, elchin03@mail.ru

2) студент Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджан.

Аннотация: в данной статье на основе всестороннего анализа и исследования особенностей сложных процессов, протекающих в производстве получения товарного пропиленгликоля рассматриваются принципы разработки детерминированной модели одного из основных и важных аппаратов исследуемого производства, а именно реактора.

Ключевые слова: статические режимы, аппроксимирующая функция, математическая модель, технологический процесс, черный ящик.

DEVELOPMENT OF A DETERMINATED MODEL FOR THE PROPYLENE GLYCOL PRODUCTION REACTOR

Elchin A. Melikov¹⁾, Ilkin P. Abbasov²⁾

1) Ph. D., associate Professor, Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU), city of Baku, Azerbaijan, elchin03@mail.ru

2) the student Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU), city of Baku, Azerbaijan.

Abstract: In this article, on the basis of a comprehensive analysis and study of the features for the complex processes occurring in the production of commercial propylene glycol, the principles of developing a deterministic model for the one of the main and important devices of the investigated production, namely the reactor, are considered.

Key words: static modes, approximating function, mathematical model, technological process, black box.

В результате исследования сложной производственной системы, решая задачи ее анализа, связанные с изучением свойств и поведения, и задачи синтеза, сводящиеся к выбору рациональной структуры и значений технологических параметров, а также задачи по определению оптимальных режимов ее функционирования, одним из важных этапов создания автоматизированной системы управления сложными химико-технологическими системами, является разработка эффективных математических моделей этих систем [1,2,3].

Как показывает анализ состояния проблемы моделирования сложных химико-технологических систем, одна из основных причин неэффективного функционирования большинства подобных химико-технологических комплексов связана с неадекватностью, высокой размерностью, негибкостью и неуниверсальностью существующих математических моделей этих систем.

В связи с этим, разработка типовых универсальных математических моделей сложных систем и методов их решения является важной актуальной задачей [4].

В общем виде математическая модель i -го технологического аппарата сложной ХТС представляет собой совокупность зависимостей вида:

$$x_j(t) = f(x_q, u_r, F_p) \quad (1)$$

Здесь x_j , $j=(1,2)$ - выходы аппарата, u_r , $r=(1, 3)$ - управления, f_p , $p=(1,2)$ - контролируемые возмущения.

При построении математических моделей статических режимов технологического процесса необходимо добавить и уравнения связи, отражающие технологическую структуру рассматриваемого комплекса:

$$x_{ij} = y_{lq} \quad (2)$$

где i, l – номера технологических аппаратов, j, q – номера входов и выходов этих аппаратов.

В состав математической модели рассматриваемого технологического комплекса входит также ряд равенств вида:

$$Q(x, y, u) = 0 \quad (3)$$

и неравенств

$$P(x, y, u) \leq 0, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in X, \quad (5)$$

$$u_r \in U. \quad (6)$$

Это ограничения, накладываемые на технологические, внешние потоки, условия реализуемости, безопасность и т. п.

Совокупность математических моделей аппаратов сложной химико-технологической системы, технологических связей и ограничений всех видов составляет полную математическую модель рассматриваемого технологического комплекса.

Для получения модели (1) – (6) могут использоваться методы “черного ящика”, основанные на информации только о входах и выходах технологического объекта и методы, базирующиеся на физико-химических

закономерностях моделируемых процессов, методы “серого ящика” и используемые в сочетании физико-химические закономерности и экспериментально-статистические данные.

В дальнейшем при моделировании рассматриваемого реактора производства получения товарного пропиленгликоля используется модель типа “черный ящик”. Дело в том, что аналитические модели по сравнению с моделями, полученными с помощью метода “черный ящик” (метод исследования объекта, когда вместо свойств и взаимосвязей составных частей объекта, изучается реакция объекта, как целого, на изменяющиеся условия), оказываются иногда настолько громоздкими и сложными, что их невозможно использовать для целей исследования и решения задачи управления рассматриваемым технологическим объектом. В связи с этим, зачастую на практике приходится работать с экспериментальными моделями, полученными на базе статистических данных, собранных либо в режиме нормальной эксплуатации, либо в ходе специально поставленного активного эксперимента.

При моделировании сложных химико-технологических систем знания физико-химических закономерностей исследуемого процесса позволяет правильно выбрать структуру описываемой математической модели, а это чрезвычайно важно с точки зрения возможности использования ее для решения задачи управления [4].

В связи с этим, с целью построения адекватной математической модели реактора производства получения пропиленгликоля был использован достаточный объем экспериментально-статистической информации, накопленный в результате эксплуатации рассматриваемой технологической установки в нормальных условиях.

В качестве выходных координат реактора процесса получения товарного пропиленгликоля были выбраны: y_1 – выход пропиленгликоля, y_2 - удельный вес (плотность) пропиленгликоля. В качестве входных переменных рассматриваемого реактора были выбраны: F_1 - количество сырья в реактор (оксипропилена), F_2 - расход воды, P – давление в реакторе, T – температура в реакторе.

Как и отмечалось выше, в связи со сложностью процесса получения товарного пропиленгликоля детерминированную математическую модель для рассматриваемого реактора будем искать в форме уравнения нелинейной регрессии, где зависимая переменная нелинейно связана с независимыми переменными модели:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 \quad (7)$$

При оценке параметров регрессии, нелинейных по объясняющим переменным, используется метод замены переменных. Суть данного метода состоит в замене нелинейных объясняющих переменных новыми

линейными переменными, в результате чего нелинейная регрессия сводится к линейной.

Осуществим соответствующую замену переменных, то есть примем, что аргументами аппроксимирующей функции являются:

$$\begin{aligned} z_1 &= x_1, z_2 = x_2, z_3 = x_3, z_4 = x_4, \\ z_5 &= x_1^2, z_6 = x_2^2, z_7 = x_3^2, z_8 = x_4^2, \\ z_9 &= x_1x_2, z_{10} = x_1x_3, z_{11} = x_2x_3, \\ z_{12} &= x_1x_4, z_{13} = x_2x_4, z_{14} = x_3x_4. \end{aligned}$$

Тогда аппроксимирующая функция имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1z_1 + b_2z_2 + b_3z_3 + b_4z_4 + b_{11}z_5 + b_{22}z_6 + b_{33}z_7 + b_{44}z_8 + b_{12}z_9 + b_{13}z_{10} + b_{23}z_{11} + b_{14}z_{12} + b_{24}z_{13} + b_{34}z_{14} \quad (8)$$

В построенной аппроксимирующей функции неизвестными являются коэффициенты, поиск которых осуществлялся с помощью программы Excel. При разработке математических моделей реактора производства получения товарного пропиленгликоля использованы данные о функционировании рассматриваемого реакционного аппарата за определенный период.

Исходя из результатов программы EXCEL, подставляя полученные значения коэффициентов в аппроксимирующую функцию (8), получаем:

- для выхода пропиленгликоля из реактора:

$$\begin{aligned} y &= 213,8275 - 0,2541z_1 + 0,0365z_2 - 0,6524z_3 - 7,1024z_4 + 0,0396z_5 + \\ &+ 0,0412z_6 + 0,0015z_7 - 0,0475z_8 - 0,0168z_9 + 0,0015z_{10} - 0,0030z_{11} \\ &+ \\ &+ 0,0064z_{12} - 0,0141z_{13} + 0,0118z_{14} \end{aligned}$$

Осуществив обратную замену переменных, получаем нелинейную модель нижеследующего вида:

$$\begin{aligned} y &= 213,8275 - 0,2541x_1 + 0,0365x_2 - 0,6524x_3 - 7,1024x_4 + 0,0396x_1^2 + \\ &+ 0,0412x_2^2 + 0,0015x_3^2 - 0,0475x_4^2 - 0,0168x_1x_2 + 0,0015x_1x_3 - \\ &+ 0,0030x_2x_3 + 0,0064x_1x_4 - 0,0141x_2x_4 + 0,0118x_3x_4 \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} y &= 213,8275 - 0,2541F_1 + 0,0365F_2 - 0,6524T - 7,1024P + 0,0396F_1^2 + \\ &+ 0,0412F_2^2 + 0,0015T^2 - 0,0475P^2 - 0,0168F_1F_2 + 0,0015F_1T - \\ &+ 0,0030F_2T + 0,0064F_1P - 0,0141F_2P + 0,0118TP \end{aligned}$$

Соответствующие коэффициенты регрессии, остаточные среднеквадратичные ошибки и значения критерия Стьюдента приведены в

соответствующих листингах результатов выполнения программы на EXCEL.

Следует отметить, что множественный коэффициент корреляции для данной математической модели $R = 0.946$, а стандартная ошибка оценки $S = \sqrt{MS_R} = 0.911$. Значит, полученные результаты по жесткости и тесноте оценок являются удовлетворительными и данная математическая модель обладает достаточной малой степенью разброса.

Полученные адекватные детерминированные модели реактора производства получения товарного пропиленгликоля эффективно используются в задаче оптимизации и управления аналогичным сложным технологическим комплексом.

Список использованных источников:

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. Учебник для вузов. 3-е издание, Москва: Высшая школа, 2001. – С. 256-261.
2. Елизаров И.А. Моделирование систем. Учебное пособие, Тамбов, Государственный Технический Университет: Издательство ТГТУ, 2011. – С. 57-63.
3. 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.
4. Меликов Э.А. Оптимальное управление производством пропиленгликоля. Журнал “Нефтехимия и нефтепереработка. Научно-технические достижения и передовой опыт”, ЦНИИТЭнефтехим, Москва, №4, 2018, - С. 18-20.