

УДК 678.742.23:519.711.3: 504.5

# ПРОГНОЗНЫЕ МОДЕЛИ РЕАКЦИИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

© 2013 Д.В. Калашник

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Поступила в редакцию 26.05.2013

Применяемая на данный момент схема управления процессом полимеризации этилена имеет следующие недостатки: снижается выход продукта, повышаются затраты электроэнергии, повышается риск аварийных ситуаций. Цель работы: разработка системы мониторинга возможных аварийных ситуаций с использованием прогнозных моделей. Получено, что горизонт прогноза равен трем минутам, что при оперативной реакции персонала достаточно для внесения корректировок в управление процессом для предотвращения аварийных ситуаций и снижения затрат на производство.

Ключевые слова: *этилен, прогнозные модели, аварийная ситуация*

В настоящее время вопросам безопасности и экологии на производстве уделяется все большее внимание. Для производства полиэтилена объем выбросов в атмосферу или на факел относительно невелик, однако в связи с особенностями технологического режима периодически и достаточно часто необходим сброс давления в реакторе при достижении критической температуры. При этом не прореагировавшая газовая смесь, если не возникает аварийной ситуации, смешивается со свежим сырьем и повторно направляется в реактор. Подобная схема с рециклом имеет следующие недостатки: снижается выход продукта, повышаются затраты электроэнергии, повышается риск аварийных ситуаций [1].

**Цель работы:** разработка технических решений для системы мониторинга возможных аварийных ситуаций с использованием прогнозных моделей.

Задача разработки прогнозных моделей должна решаться для каждого из параметров работы трубчатого реактора полимеризации этилена (давление в реакторе, глубина сброса давления, период сброса давления, разность температур между 25 и 18 коленами реактора, разность температур между 29 и 14 коленами реактора). Выбор для исследования 14, 18, 25, 29 колен реактора обусловлен наличием трех зон в реакторе (нагрева, реакции и охлаждения), при этом указанные колена реактора находятся на границах

зоны реакции.

**Результаты и обсуждение.** Разностная модель для определения прогнозного ( $i+1 - o$ ) значения на примере давления в реакторе имеет следующий вид [2]:

$$P_{\text{прог}} = C_0 + \sum_{i=1}^n C_i \cdot P_i, \quad (1)$$

где  $P_{\text{прог}}$  – прогноз давления в реакторе,  $n$  – число данных архива,  $C_i$  – коэффициенты модели,  $P_i$  – давления в реакторе на  $i$  предыдущих шагов.

Коэффициенты модели рассчитывались с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Расчет коэффициентов моделей проводился с помощью пакета программ SPSS Statistics 17.0 [3]. Оценка значимости уравнения регрессии для полученных моделей производилась на основе F-критерия Фишера, которому предшествовал дисперсионный анализ. В табл. 1 приведены значения, рассчитанные в ходе дисперсионного анализа для прогнозных моделей давления в реакторе, аналогичные расчеты проводились и для остальных параметров (глубина сброса давления, период сброса давления, разность температур между 25 и 18 коленами реактора, разность температур между 29 и 14 коленами реактора). По результатам анализа можно сделать вывод о том, что для всех рассматриваемых моделей значение F-критерия Фишера превосходит табличное, что свидетельствует об адекватности моделей.

*Калашник Дмитрий Владимирович, аспирант. E-mail: kalash.ufa@mail.ru*

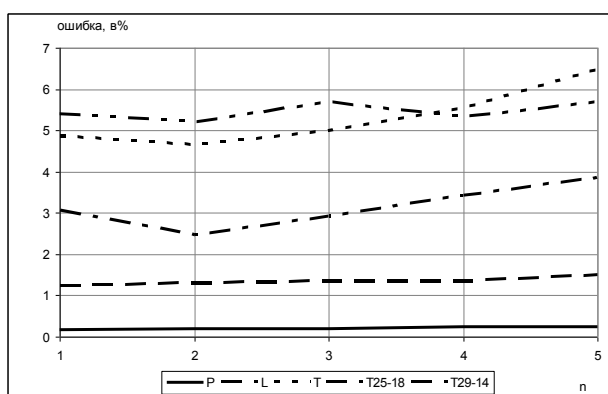
**Таблица 1.** Дисперсионный анализ прогнозных моделей давления в реакторе для  $n$  от 1 до 5.

Модель		Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F-критерий
1	регрессия	2332,172	1	2332,172	402,447
	остаток	596,882	103	5,795	
	всего	2929,054	104		
2	регрессия	2349,218	2	1174,609	206,628
	остаток	579,836	102	5,685	
	всего	2929,054	104		
3	регрессия	2349,218	3	783,073	136,401
	остаток	579,836	101	5,741	
	всего	2929,054	104		
4	регрессия	2439,033	4	609,758	124,435
	остаток	490,021	100	4,900	
	всего	2929,054	104		
5	регрессия	2444,423	5	488,885	99,869
	остаток	484,631	99	4,895	
	всего	2929,054	104		

Для определения оптимального значения  $n$  был произведен расчет пяти прогнозных моделей для каждого из параметров реакции с числом ретроспективных шагов от 1 до 5. Для каждой из моделей определяли среднеквадратичную ошибку аппроксимации [4]:

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{y_i - \tilde{y}_{\text{мод}}}{q - m} \cdot \frac{100}{y_i}} \%, \quad (2)$$

где  $q$  – число опытов,  $m$  – число параметров в уравнении регрессии,  $y_i$  – реальное значение прогноза параметра,  $\tilde{y}_{\text{мод}}$  – значение прогноза параметра, рассчитанное по модели. По результатам расчета (рис. 1) видно, что оптимальным значением  $n$  является 2.



**Рис. 1.** Изменение среднеквадратичной ошибки аппроксимации прогнозных моделей для параметров реакции в зависимости от  $n$

Оценку адекватности прогнозных моделей, кроме F-критерия Фишера, можно осуществлять с помощью t-критерия Стьюдента. Учитывая, что для моделей с  $n=2$  степень свободы равна 102, то ближайшее значение  $t_{\text{табл}}$  равно 1,982.

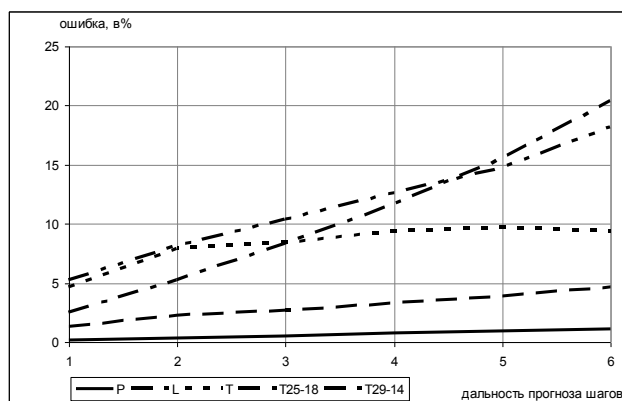
В табл. 2 приведены значения коэффициентов моделей и расчетные значения t-критерия Стьюдента. Полученные результаты позволяют сделать вывод о значимости всех коэффициентов для каждой из моделей, что в свою очередь означает о возможности их использования в качестве прогнозных. Для оценки точности прогноза по полученным моделям был произведен расчет прогнозных значений. Точность расчета по модели определяется с помощью (2), при этом критическим значением ошибки были выбраны 10%.

**Таблица 2.** Коэффициенты прогнозных моделей ( $n=2$ )

Модель ( $n=2$ )	Нестандартизованные коэффициенты		t-критерий Стьюдента	
	C	Станд. ошибка		
P	$C_0$	167,362	68,164	2,455
	$C_1$	1,057	0,097	10,952
	$C_2$	-0,172	0,099	-2,032
dP	$C_0$	67,796	19,395	3,496
	$C_1$	0,895	0,098	9,095
	$C_2$	-0,117	0,099	-2,079
T	$C_0$	5,032	1,661	3,029
	$C_1$	1,271	0,091	13,917
	$C_2$	-0,383	0,091	-4,213
T <sub>25-18</sub>	$C_0$	3,199	0,813	3,935
	$C_1$	1,151	0,093	12,417
	$C_2$	-0,357	0,094	-3,798
T <sub>29-14</sub>	$C_0$	1,748	0,797	2,193
	$C_1$	1,541	0,081	19,141
	$C_2$	-0,579	0,080	-7,218

Примечание:  $C_0, C_1, C_2$  – коэффициенты модели вида (1) для каждого из параметров реакции полимеризации

На рис. 2 приведены графики изменения среднеквадратичной ошибки аппроксимации. По полученным результатам видно, что при критическом значении средней ошибки аппроксимации (10%) горизонт прогноза равен трем шагам. Учитывая, что каждый шаг равен циклу работы реактора и в среднем составляет около минуты (период сброса давления, полученный по экспериментальным данным), то полученные модели позволяют прогнозировать работу реактора на три минуты. При оперативной реакции системы противоаварийной защиты (ПАЗ) или персонала вполне достаточно для внесения корректировок в управление процессом с целью предотвращения аварийных ситуаций и снижения затрат на производство.



**Рис. 2.** Изменение среднеквадратичной ошибки аппроксимации прогнозных значений в зависимости от дальности (горизонта) прогноза

Для управления процессом с целью предотвращения аварийных ситуаций может быть разработана автоматизированная система, в основе которой используются полученные прогнозные модели и регулятор на основе нечеткой логики. Таким образом, в зависимости от

приближения прогноза к критическим значениям выбирается интенсивность воздействия на процесс (при незначительных и долгосрочных приближениях используется возможности системы управления, при критических приближениях – системы ПАЗ).

#### Выводы:

1. Разработанные модели с достаточной точностью (погрешность не более 10%) позволяют прогнозировать параметры реакции полимеризации этилена на три цикла реакции, что в среднем равно трем минутам.

2. Предложенная система прогнозирования может быть интегрирована в существующую систему АСУ ТП для обеспечения безопасности и уменьшения вредных выбросов в процессе производства.

3. Предложенные прогнозные модели параметров реакции полимеризации этилена могут быть использованы для разработки автоматической системы предотвращения аварийных ситуаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Поляков, А.В. Полиэтилен высокого давления. Научно-технические основы промышленного синтеза / А.В. Поляков, Ф.И. Дунтов, А.Э. Софиев и др. – Л.: Химия, 1988. 200 с.
2. Калашник, Д.В. Прогнозирование параметров реакции полимеризации в трубчатом реакторе // Сборник трудов Международного форума по проблемам науки, техники и образования / Под ред. В.А. Малинникова, В.В. Вишневецкого. – М.: Академия наук о земле, 2012. С. 103-104.
3. Тюрин, Ю.Н. Анализ данных на компьютере. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров. – М.: ИНФРА-М, 2002. 528 с.
4. Вольф, В.Г. Статистическая обработка опытных данных. – М.: Колос, 1966. 255 с.

## FORECASTING MODELS OF ETHYLENE POLYMERIZATION REACTION IN SYSTEMS, PROVIDING ANTIEMERGENCY PROTECTION AND ECOLOGICAL SAFETY

© 2013 D.V. Kalashnik  
Ufa State Oil Technical University

In present the scheme of management, applied at process of ethylene polymerization has the following lacks: the product yield decreases, electric power consumptions raise, the risk of emergencies increases. Work purpose: development the system of monitoring of possible emergencies with the use of forecasting models. It is received that the horizon of the forecast is equal to three minutes that at a quick reaction of the personnel it is enough for entering of adjustments into management of process for prevention of emergencies and decrease in production costs.

Key words: *ethylene, forecasting models, emergency*

Dmitriy Kalashnik, Post-graduate Student.  
E-mail: kalash.ufa@mail.ru