

С. С. ЗАХАРЬЯН, Г. Л. АРЕШЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРОФАЗНОГО СИНТЕЗА
ВИНИЛАЦЕТАТА

Важной задачей управления промышленными каталитическими процессами является максимизация прибыли от производства данных продуктов при желательных их выходах и выбор наиболее рациональных циклов смены или регенерации катализатора.

Парофазный синтез винилацетата характеризуется необходимостью повышать температуру слоя по мере падения активности катализатора. Вследствие дезактивации катализатора режимы работы, обеспечивающие наилучшие технологические показатели, изменяются изо дня в день. Технолог, учитывая присущий процессу переменный характер, должен компенсировать изменение условий соответствующей регулировкой, путем изменения температуры рабочей зоны, расхода уксусной кислоты и пр. Управляющее воздействие, осуществляемое в данный момент, будет влиять на поведение системы в остальное время цикла работы. Каждый день технолог должен решать вопрос, каким образом продолжать ведение процесса, когда прекратить работу и заменить катализатор.

Математическая модель реактора синтеза винилацетата в неподвижном слое катализатора, полученная в [1], позволяет, применяя современные методы оптимизации, определить зависимость температуры рабочей зоны от времени и стратегию замены катализатора, при которых, с точки зрения некоторого критерия, процесс протекает оптимальным образом.

Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} V \frac{dx}{dl} &= k(T)(1-x)\beta(T, t), \\ Vc_{\Sigma} \frac{dT}{dl} &= c_0 \Delta T k(T)(1-x)\beta(T, t) - \alpha S_{\Sigma} (T - T_{\text{ж}}), \\ V_{\text{ж}} c_{\text{ж}} \frac{dT_{\text{ж}}}{dl} &= -\alpha S_{\Sigma} (T - T_{\text{ж}}), \end{aligned} \quad (1)$$

с граничными условиями:

$$\begin{aligned} l=0: & \quad x=0 \quad T=T_{\text{вх}} \\ l=L: & \quad T_{\text{ж}}=T_{\text{жвх}}, \end{aligned}$$

где x — степень превращения уксусной кислоты;

$T, T_{\text{ж}}$ — абсолютные температуры слоя катализатора хладагента (масла);

$T_{\text{вх}}, T_{\text{жвх}}$ — начальные температуры газов и масла;

t — текущее время;

- V, V_m — линейные скорости потока газов и масла;
 c_0 — начальная концентрация уксусной кислоты;
 ΔH — удельная теплота реакции;
 E — энергия активации;
 $k(T)$ — константа скорости реакции;
 $\beta(T, t)$ — параметр старения;
 c_g, c_m — удельные теплоемкости газов и масла;
 α — коэффициент теплопередачи через стенку трубки;
 $S_{уд}$ — удельная поверхность теплоотвода в слое;
 l, L — текущая и полная длина трубки.

Критерием оптимальности является величина прибыли за время эксплуатации реактора с учетом остановок. Независимо от температурного режима, все экономические показатели, кроме стоимости выходного продукта и расходов на выгрузку катализатора, остаются фиксированными. Поэтому оптимальное значение прибыли совпадает с экстремумом функционала:

$$P = \int_0^{t_c} \alpha Q_{гв}(t) x(T, t) dt, \quad (2)$$

где t_c — время цикла работы реактора;

$Q_{гв}$ — расход уксусной кислоты;

α — коэффициент.

При оптимизации учитывается ограничение

$$x > x_{доп}, \quad (3)$$

влагаемое на качество выходного продукта.

Для определения оптимальной длительности цикла t_c , являющейся верхним пределом интеграла (2), производится выбор — продолжать синтез или остановить реактор и через время t_p возобновить процесс на новом катализаторе. Оптимальным является решение, при котором функционал (2) получает наибольшее значение.

Оптимизация производится методом динамического программирования [2]. Процесс синтеза разбивается по времени на N -стадий длительностью $\Delta t = 8$ часов. При переходе от стадии к стадии катализатор стареет. Если в начале стадии состояние катализатора характеризуется параметром $\beta(T_i, t_i)$, то по истечении стадии катализатор будет в состоянии $\beta(T_i, t_i + \Delta t)$. Параметр старения может изменяться от $\beta = 1$, что соответствует моменту загрузки свежего катализатора, до некоторой величины к концу цикла работы.

На каждой стадии подбираются значения температуры T , при которых обеспечивается максимум выражения:

$$f_N(\beta) = \sum_{i=1}^N \alpha Q_{гв} x_i, \quad (4)$$

где N — число оставшихся стадий процесса.

Таблица 1

Расчетный оптимальный температурный режим

Состояние катализатора, $\beta \times 10$	Оптимальная температура T , °C	Состояние катализатора, $\beta \times 10$	Оптимальная температура T , °C	Состояние катализатора, $\beta \times 10$	Оптимальная температура T , °C
10,00	163	3,26	207	1,76	223
9,29	183	3,21	207	1,75	223
9,0	183	3,15	209	1,73	223
8,75	184	3,09	209	1,72	223
8,55	184	3,04	209	1,71	223
8,3	184	2,98	210	1,69	224
8,05	184	2,94	210	1,67	224
7,8	187	2,90	210	1,66	224
7,6	187	2,86	211	1,64	224
7,45	188	2,82	212	1,63	224
7,25	188	2,78	212	1,61	225
7,09	188	2,75	213	1,59	225
6,93	189	2,72	213	1,57	225
6,75	190	2,68	213	1,56	226
6,59	191	2,64	213	1,55	226
6,45	191	2,61	213	1,53	227
6,3	191	2,56	214	1,52	227
6,15	191	2,54	214	1,51	227
6,05	192	2,51	214	1,49	227
5,90	193	2,47	214	1,48	228
5,75	193	2,44	215	1,47	228
5,69	193	2,41	215	1,46	228
5,55	194	2,38	215	1,45	228
5,45	194	2,35	215	1,43	229
5,35	195	2,32	216	1,42	230
5,25	196	2,29	216	1,41	230
5,15	197	2,27	217	1,405	230
5,05	197	2,24	217	1,39	230
4,95	198	2,28	217	1,38	231
4,85	198	2,18	217	1,37	231
4,75	198	2,15	217	1,36	231
4,66	198	2,12	218	1,35	231
4,58	199	2,09	218	1,33	231
4,40	199	2,07	218	1,32	231
4,40	200	2,04	219	1,31	231
4,31	200	2,02	219	1,30	231
4,23	200	1,99	219	1,29	231
4,15	201	1,98	220	1,28	231
4,07	202	1,96	220	1,27	231
4,00	203	1,93	221	1,26	231
3,92	203	1,91	221	1,25	232
3,84	203	1,89	222	1,24	232
3,76	203	1,87	222	1,23	233
3,68	203	1,86	222	1,22	233
3,62	204	1,84	222	1,21	233
3,51	205	1,83	222	1,19	233
3,46	206	1,80	223	1,185	233
3,40	207	1,78	223	1,17	233
3,34	207	1,77	223	1,16	233

Для построения основной таблицы динамического программирования составляется рекуррентное соотношение:

$$f_N(\beta) = \max_T \left\{ \begin{array}{l} \max_T [\beta(\beta, T) + f_{N-1}(\beta(\beta, T))], \\ J_{N-1}(1) \end{array} \right. \quad (5)$$

где $g(\beta, T)$ — выход продукта на стадии N от системы, первоначально находящейся в состоянии β ;

$h(\beta, T)$ — преобразованное состояние системы, полученное в результате выбора величины T для стадии N .

Для одностадийного процесса:

$$f_N(\beta) = \max_T g(\beta, T). \quad (6)$$

Верхняя строка соотношения (5) выражает количество продукта, когда реактор продолжает работать. Вторая строка соответствует решению об остановке процесса и новому запуску реактора на свежем катализаторе ($\beta = 1$). Предполагается, что остановка реактора и смена катализатора происходят в течение 5 суток, т. е. 15 стадий.

В таблице 1 приведены рассчитанные на ЭЦВМ оптимальные значения температур для реактора с параметрами:

$$k_0 = 2,79 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{час}}; \quad c_0 = 0,344 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}; \quad \alpha = 0,815 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}.$$

В ы в о д ы

1. С помощью разработанной ранее математической модели синтеза винилацетата в неподвижном слое катализатора получена оптимальная программа подъема температуры рабочей зоны, которая позволяет формализовать процесс управления реактором и использовать ЭЦВМ для целей управления.

2. Изменение параметров модели будет отражаться на рассчитанной программе. Это обстоятельство необходимо учитывать при управлении реактором и периодически уточнять параметры модели.

3. На каждой стадии работы реактора имеется набор состояний катализатора, для которых определены оптимальные температуры рабочей зоны. Следовательно, отсчет оптимальной программы можно вести от любого состояния катализатора.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 10.VI.1969.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Sacharjan S. Chemische Technik, № 10, 1968.
2. Робертс С. Динамическое программирование в процессах химической технологии, 1965.