УДК 62 – 791.2

БЛОК СИНТЕЗА ЭТАНОЛАМИНОВ И ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ

Сажин С.Г., Пенкин К.В.

Дзержинский политехнический институт, филиал ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Дзержинск, e-mail: avtomat@sinn.ru

В работе рассмотрен новый подход к управлению процессом производства этаноламинов на основе математических моделей. Разработана детерминированная математическая модель, используемая в системе коррекции расхода окиси этилена на основе контроля состава фракций этаноламинов на линии, связывающей реактор-смеситель и реактор вытеснения. Дополнительно разработана регрессионная математическая модель, которая использовалась в системе коррекции расхода пара с учетом уточняющего контроля состава фракции на выходе реактора вытеснения. Предлагаемые в настоящей работе две системы коррекции на основе математических моделей позволяют обеспечить задачу максимального значения моноэтаноламина в составе реакционной смеси. Этим решается задача оптимизации фракций моноэтаноламина или диэтаноламина в составе реакционной смеси в зависимости от требований потребителей.

Ключевые слова: этаноламин, моноэтаноламин, математические методы, управление

THE BLOCK OF ETHANOLAMINE SYNTHESIS AND HIS MATHEMATICAL MODELS FOR PROCESS CONTROL

Sazhin S.G., Penkin K.V.

Dzerzhinsky Polytechnic Institute, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Dzerzhinsk, e-mail: avtomat@sinn.ru

In the work consider a new approach to managing the process of production of ethanolamines, based on mathematical models. Developed a deterministic mathematical model used in the correction system flow of ethylene oxide based composition control fractions of ethanolamines on the line connecting the reactor and mixer tubular reactor. Further developed a mathematical regression model used in the system of correction to popular couple considering clarifying control the faction at the reactor outlet repression. Proposed in work two correction system based on mathematical models allow for maximum task monoethanolamine reaction composition. This solves the problem of optimizing the fractions of monoethanolamine or diethanolamine as part of the reaction mixture depending on customer requirements.

Keywords: ethanolamine, monoethanolamine, mathematical methods, management

Работа посвящена анализу математической модели блока синтеза этаноламинов и задаче оптимального управления процессом синтеза.

Блок синтеза этаноламинов включает реактор-смеситель и реактор вытеснения, соединенные между собой материальными потоками (рис. 1).

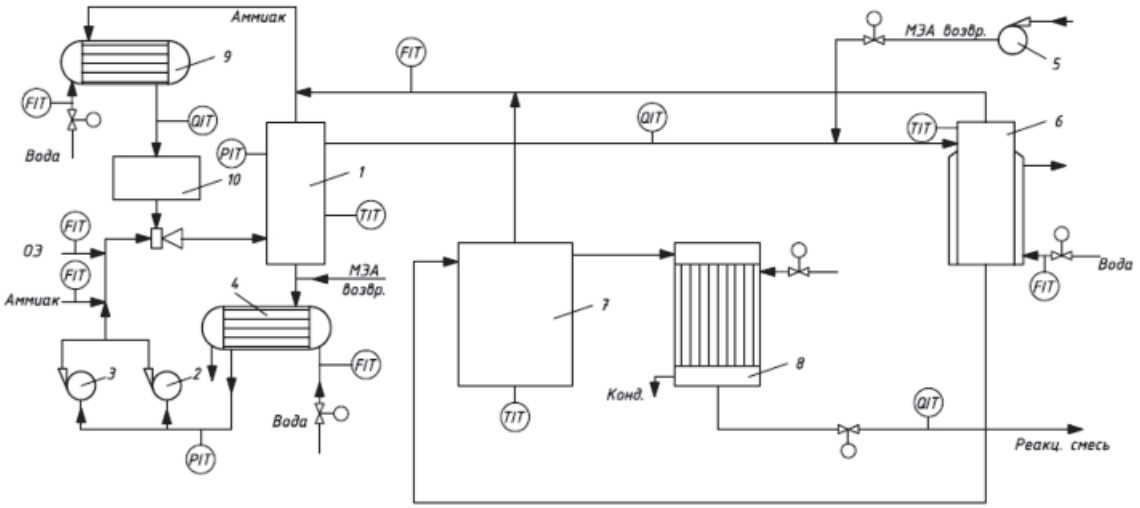

Рис. 1 Принципиальная схема процесса синтеза этаноламинов: 1 – аппарат смешения; 2,3 – насосы; 4 – теплообменник; 5 – насос; 6 – реактор вытеснения; 7 – сепаратор; 8 – испаритель; 9 – теплообменник; 10 – емкость

Математическая модель блока синтеза разработана для каскада двух реакторов: смешения и вытеснения, установленных последовательно и работающих в непрерывном режиме (рис. 2).

Входными переменными модели являются расход потока входных компонентов, а именно окиси этилена (ОЭ), моноэтаноламина (МЭА), аммиака (NH3) и возвратного аммиака.

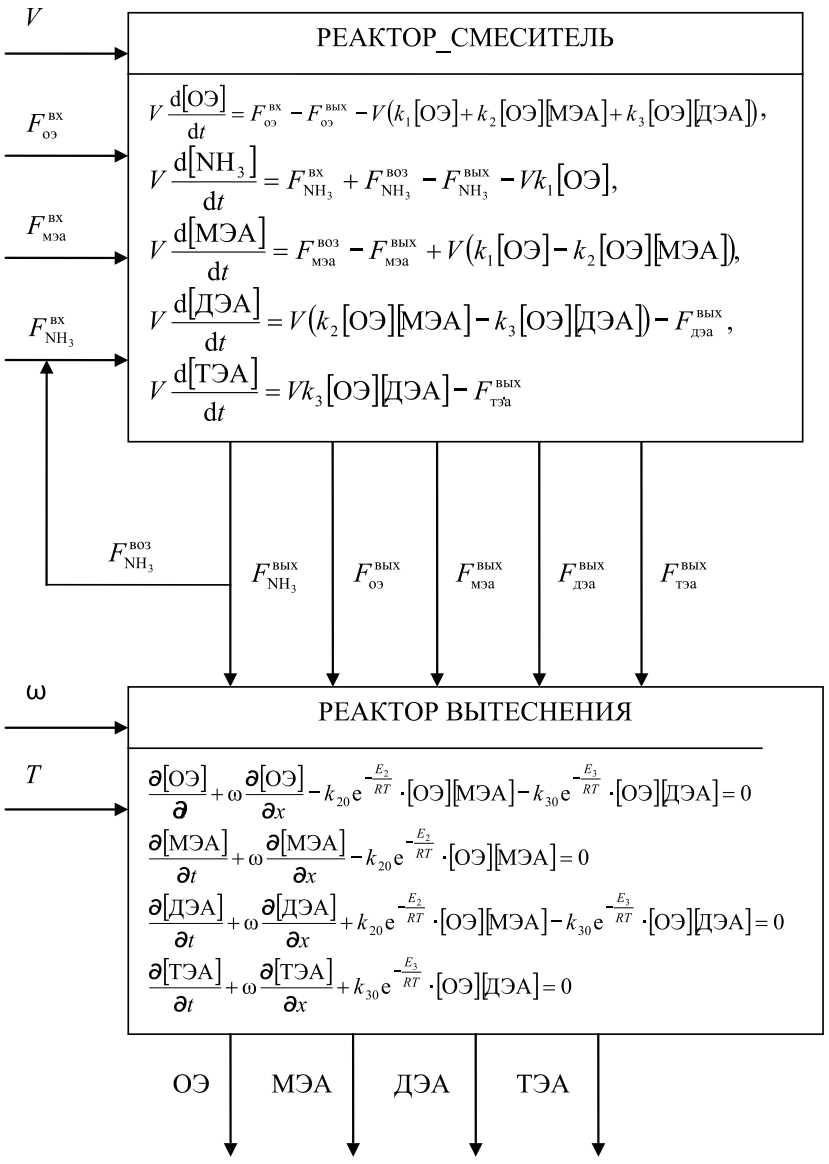

Рис. 2 Блок-схема математической модели блока синтеза этаноламинов

Выходные параметра – это состав реакционной смеси на выходе блока синтеза, к которым относятся моноэтаноламины (МЭА), диэтаноламины (ДЭА) и триэтаноламины (ТЭА).

Процесс проводится при многократном избытке аммиака, который циркулирует в узле синтеза, и контроль за расходом возвратного аммиака позволит рационально использовать поступление свежего аммиака.

На основании вышеизложенного можно предложить системы оптимального управления узлом синтеза этаноламинов.

Подача МЭА в реактор-смеситель стабилизирована, подача аммиака со склада корректируется с учетом возвратного аммиака.

Подача окиси этилена корректируется на основе результатов аналитического контроля выходного потока из смесителя с помощью математической модели реактора-смесителя для достижения оптимального состава реакционной смеси на выходе смесителя. Критерием оптимальности является один из компонентов реакционной смеси на выходе из реактора, чаще моноэтаноламин:

$$I = [\text{МЭА}] \rightarrow \max.$$

Решение поставленной задачи обеспечивается математической моделью объекта в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} V\dfrac{\mathrm{d}[\text{ОЭ}]}{\mathrm{d}t} = F_{\text{оэ}}^{\text{вх}} - F_{\text{оэ}}^{\text{вых}} - V\left(k_1[\text{ОЭ}] + k_2[\text{ОЭ}][\text{МЭА}] + k_3[\text{ОЭ}][\text{ДЭА}]\right), \\ V\dfrac{\mathrm{d}[\text{NH}_3]}{\mathrm{d}t} = F_{\text{NH}_3}^{\text{вх}} + F_{\text{NH}_3}^{\text{воз}} - F_{\text{NH}_3}^{\text{вых}} - Vk_1[\text{ОЭ}], \\ V\dfrac{\mathrm{d}[\text{МЭА}]}{\mathrm{d}t} = F_{\text{мэа}}^{\text{воз}} - F_{\text{мэа}}^{\text{вых}} + V\left(k_1[\text{ОЭ}] - k_2[\text{ОЭ}][\text{МЭА}]\right), \\ V\dfrac{\mathrm{d}[\text{ДЭА}]}{\mathrm{d}t} = V\left(k_2[\text{ОЭ}][\text{МЭА}] - k_3[\text{ОЭ}][\text{ДЭА}]\right) - F_{\text{дэа}}^{\text{вых}}, \\ V\dfrac{\mathrm{d}[\text{ТЭА}]}{\mathrm{d}t} = Vk_3[\text{ОЭ}][\text{ДЭА}] - F_{\text{тэа}}^{\text{вых}}, \end{cases}$$

взятой для стационарного состояния объекта

$$\begin{cases} 0 = F_{\text{оэ}}^{\text{вх}} - F_{\text{оэ}}^{\text{вых}} - V\left(k_1[\text{ОЭ}] + k_2[\text{ОЭ}][\text{МЭА}] + k_3[\text{ОЭ}][\text{ДЭА}]\right), \\ 0 = F_{\text{NH}_3}^{\text{вх}} + F_{\text{NH}_3}^{\text{воз}} - F_{\text{NH}_3}^{\text{вых}} - Vk_1[\text{ОЭ}], \\ 0 = F_{\text{мэа}}^{\text{воз}} - F_{\text{мэа}}^{\text{вых}} + V\left(k_1[\text{ОЭ}] - k_2[\text{ОЭ}][\text{МЭА}]\right), \\ 0 = V\left(k_2[\text{ОЭ}][\text{МЭА}] - k_3[\text{ОЭ}][\text{ДЭА}]\right) - F_{\text{дэа}}^{\text{вых}}, \\ 0 = Vk_3[\text{ОЭ}][\text{ДЭА}] - F_{\text{тэа}}^{\text{вых}}, \end{cases}$$

где $F_{\text{оэ}}^{\text{вх}}$ – расход входного потока окиси этилена; $F_{\text{оэ}}^{\text{вых}}$ – расход выходного потока окиси этилена; $F_{\text{NH}_3}^{\text{вх}}$ – расход входного потока аммиака; $F_{\text{NH}_3}^{\text{вых}}$ – расход выходного потока аммиака; $F_{\text{NH}_3}^{\text{воз}}$ – расход возвратного аммиака; $F_{\text{мэа}}^{\text{воз}}$ – расход возвратного моноэтаноламина; $F_{\text{мэа}}^{\text{вых}}$ – расход выходного потока МЭА; $F_{\text{дэа}}^{\text{вых}}$ – расход выходного потока ДЭА; $F_{\text{тэа}}^{\text{вых}}$ – расход выходного потока ТЭА; V – объем окиси этилена.

Поиск оптимума осуществляется путем численного решения системы нелинейных алгебраических уравнений с вариацией входного параметра управления $F_{\text{оэ}}^{\text{вх}}$ (подача ОЭ) одним из однопараметрических методов оптимизации, и с последующей корректировкой задания регулятору расхода ОЭ.

Оптимальный состав реакционной смеси на выходе из узла синтеза достигается регулированием температуры в реакторе вытеснения за счет подачи пара, определяемой с помощью регрессионной математической модели: $[\text{МЭА}] = 66{,}450 - 6{,}4655F_{\text{пар}}^{\text{вх}}$, полученной в ходе статистического анализа объекта управления.

Список литературы

1. Закгейм А. Ю. Введение в моделирования химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1982. – 288 с.

2. Избачков Ю.С., Петров В.Н. Информационные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 656 с.

3. Катков М.С. Непрерывные системы адаптивного управления с идентификаторами. – М.: издательство МПИ «Мир книги», 1992. – 385 с.

4. Сажин С.Г. Приборы контроля состава и качества технологических сред. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. 431 с.

5. Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами. – СПб.: Профессия, 2009. – 590 с.

References

1. Zakgejm A.Yu. Vvedenie v modelirovaniya himiko-tehnologicheskih processov (Introduction to the modeling of chemical-technological processes). Moscow: Khimiya, 1982. 288 p.

2. Izbachkov Yu.S., Petrov V.N. Informacionnye sistemy (Information systems). SPb.: Peter, 2005. 656 p.

3. Katkov M.S. Nepreryvnye sistemy adaptivnogo upravleniya s identifikatorami (Continuous adaptive control system IDs). Moscow: publishing house IPI «Mir knigi», 1992. 385 p.

4. Sazhin S. G. Pribory kontrolya sostava i kachestva tehnologicheskih sred (Devices of the control of the composition and quality of technological environments). SPb.: publishing house «LAN», 2012. 431 p.

5. Harazov V.G. Integrirovannye sistemy upravleniya tehnologicheskimi processami. (Integrated control systems of technological processes). SPb.: Profession, 2009. 590 p.

Рецензенты:

Никандров И.С., д.т.н., профессор кафедры «Автомобильный транспорт и механика» Дзержинского политехнического института (филиал) НГТУ, ФГБО ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева», г. Дзержинск;

Сидягин А.А., д.т.н., профессор кафедры «Машины и аппараты химической и пищевой производств», ФГБО ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева», Дзержинский политехнический институт (филиал), г. Дзержинск.

Работа поступила в редакцию 25.12.2013.