

УДК 681.5.08

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ФРАКЦИЙ ЭТАНОЛАМИНА НА ОСНОВЕ ПРИБОРНОГО КОМПЛЕКСА

**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 производстве этаноламинов оказывается возможным получение максимального значения, например, фракции моноэтаноламина. В статье рассмотрен приборно-программный аналитический комплекс, позволяющий осуществить указанную выше задачу. Для обеспечения работы приборного комплекса разработана детерминированная математическая модель в виде системы нелинейных алгебраических уравнений. Приборно-программный аналитический комплекс является распределенным и включает два контура технической диагностики и автоматического регулирования. В качестве средства технической диагностики использованы промышленные хроматографы GC 1000, обеспечивающие контроль моноэтаноламина на выходе двух реакторов смесителя и вытеснения. Выходная информация хроматографов поступает на соответствующие микропроцессорные контроллеры. В комплексе обеспечивается автоматическое регулирование расхода этилена в первом контуре и расхода пара во втором контуре. В результате с учетом критерия оптимизации и разработанного алгоритма решена важная задача по оптимизации состава этаноламинов.

**Ключевые слова:** этаноламин, моноэтаноламин, математические методы, управление

## OPTIMIZATION OF COMPOSITION OF FACTIONS ETHANOLAMINE ON THE BASIS OF INSTRUMENT COMPLEX

**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 production of ethanolamines is possible to obtain the maximum value, for example, the fraction of monoethanolamine. The article describes the instrumentation and software analytical platform that allows to carry out the above task. For the operation of the instrument developed complex deterministic mathematical model as a system of nonlinear algebraic equations. Analytical instrumentation and software complex is distributed and includes two loops of technical diagnostics and automatic control. As a means of technical diagnostics used industrial chromatograph GC 1000, providing the control monoethanolamine two reactors at the output of the mixer and repression. Output from chromatographs to respective microprocessor controllers. The complex provides automatic flow control of ethylene in the first circuit and the steam flow in the secondary circuit. As a result, taking into account the optimization criterion and the developed algorithm solved the important task of optimizing the composition of ethanolamines.

**Keywords:** ethanolamine, monoethanolamine, mathematical methods, management

При производстве этаноламина возникает необходимость максимизировать одну или две фракции на стадии синтеза. Это позволит снизить энергозатраты на разделение фракций на стадии ректификации [1].

Это достигается благодаря разработанному приборно-программному аналитическому комплексу. Принципиальная схема комплекса представлена на рис. 1.

Приборно-программный аналитический комплекс включает два аналитических

контура технической диагностики и автоматического регулирования

В первом контуре комплекса на основе хроматографической информации о составе фракций этаноламина микропроцессорный контроллер с эксклюзивной программой на основе детерминированной математической модели обеспечивает регулирование расхода окиси этилена с целью формирования на выходе реактора-смесителя в соответствии с целевой функцией максимального значения концентрации моноэтаноламина.

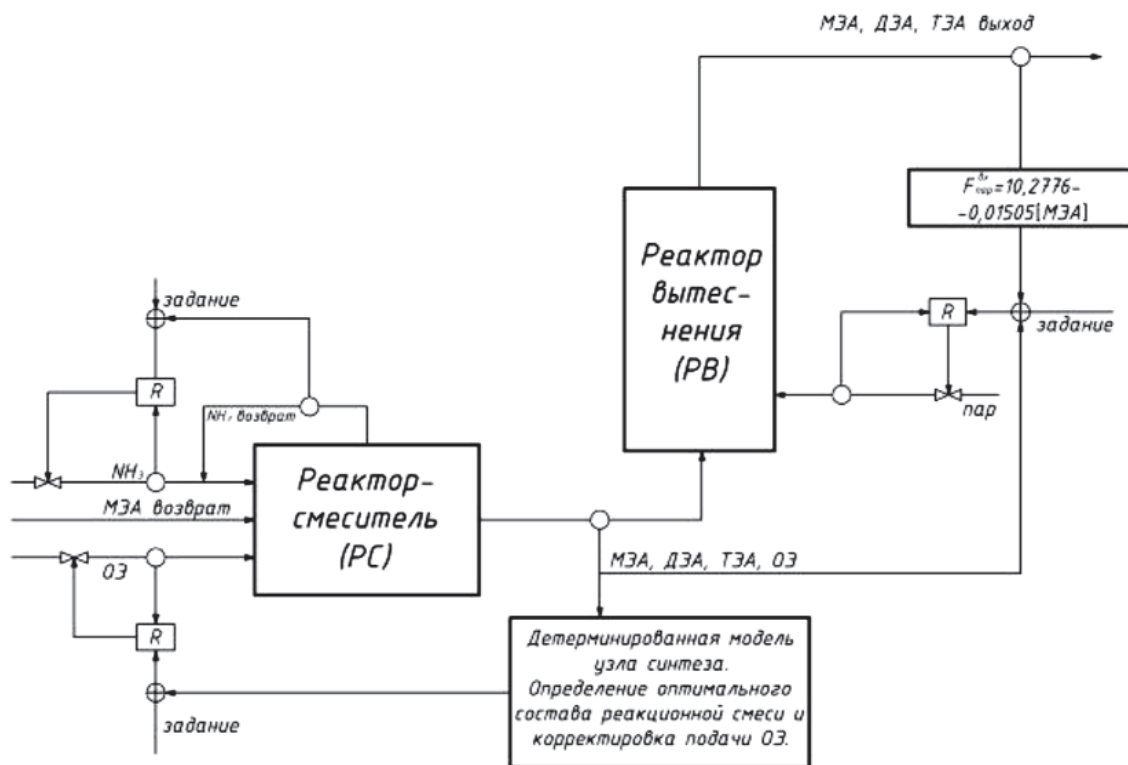


Рис. 1. Принципиальная схема приборно-программного аналитического комплекса стадии синтеза в производстве этаноламинов

Детерминированная математическая модель имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} V \frac{d[OЭ]}{dt} = F_{OЭ}^{BX} - F_{OЭ}^{BЫX} - V(K_1[OЭ] + K_2[OЭ][MЭА] + K_3[OЭ][ДЭА]), \\ V \frac{d[NH_3]}{dt} = F_{NH_3}^{BX} + F_{NH_3}^{BOЗ} - F_{NH_3}^{BЫX} - VK_1[OЭ], \\ V \frac{d[MЭА]}{dt} = F_{MЭА}^{BOЗ} - F_{MЭА}^{BЫX} + V(K_1[OЭ] - K_2[OЭ][MЭА]), \\ V \frac{d[ДЭА]}{dt} = V(K_2[OЭ][MЭА] - K_3[OЭ][ДЭА]) - F_{ДЭА}^{BЫX}, \\ V \frac{d[ТЭА]}{dt} = VK_3[OЭ][ДЭА] - F_{ТЭА}^{BЫX}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Начальные условия  
 $[OЭ(t=0)] = [OЭ]_0, [NH_3(t=0)] = [NH_3]_0, [MЭА(t=0)] = [MЭА]_0,$   
 $[ДЭА(t=0)] = 0, [ТЭА(t=0)] = 0,$

где ОЭ – концентрация окиси этилена;  
 МЭА – концентрация моноэтаноламина;  
 ДЭА – концентрация диэтанолами-

на; ТЭА – концентрация триэтаноламина;  
 $NH_3$  – концентрация аммиака;  $F_{OЭ}$  – расход окиси этилена.

В установленном режиме работы реактора математическая модель представляет систему нелинейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} F_{O_2}^{BX} - F_{O_2}^{ВЫХ} - V(K_1[O_2] + K_2[O_2][MЭА] + K_3[O_2][ДЭА]) = 0, \\ F_{NH_3}^{BX} + F_{NH_3}^{BO_3} - F_{NH_3}^{ВЫХ} - VK_1[O_2] = 0, \\ F_{MЭА}^{BO_3} - F_{MЭА}^{ВЫХ} + V(K_1[O_2] - K_2[O_2][MЭА]) = 0, \\ V(K_2[O_2][MЭА] - K_3[O_2][ДЭА]) - F_{ДЭА}^{ВЫХ} = 0, \\ VK_3[O_2][ДЭА] - F_{ТЭА}^{ВЫХ} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

На основе уравнений (2) проводится программирование микропроцессорного контроллера, на вход которого поступает информационный аналитический сигнал от промышленного хроматографа.

Второй контур комплекса обеспечивает регулирование расхода пара на основе регрессионной математической модели с целью уточнения концентрации моноэтаноламина на выходе стадии синтеза.

Оптимальный состав реакционной смеси на выходе из узла синтеза (после аппарата вытеснения) достигается регулированием температуры в реакторе вытеснения за счет подачи пара, определяемой с помощью регрессионной математической модели:

$$F_{пар} = 10,2776 - 0,015(MЭА). \quad (3)$$

Эта модель также используется для программирования микропроцессорного контроллера на стадии реактора вытеснения.

Разработан алгоритм технической диагностики и оптимизации фракции МЭА (рис. 2).

Важным звеном приборно-программного аналитического комплекса служит промышленный хроматограф GC 1000 MARK II, обеспечивающий первичную функцию технической диагностики. Благодаря наличию клапана ввода жидкой пробы реакционной смеси этаноламинов и уникального испарителя становится возможным анализ фракций этаноламинов. Выходной сигнал GC 1000 MARK II в виде аналогового сигнала поступает в управляющую станцию хроматографа и далее после преобразования в цифровую форму поступает в контур регулирования расхода O<sub>2</sub>.

Хроматографический комплекс GC 1000 MARK II как основное средство технической диагностики имеет специализированное программное обеспечение, позволяющее получить на выходе информацию о процентном составе фракций этаноламинов. Это программное

обеспечение согласовано с программным обеспечением микропроцессорных контроллеров. Эксплуатация, обслуживание и техническая настройка значительно упрощены благодаря реализации эффективного интерфейса и программного обеспечения Maintenance Terminal.

При каждом анализе фракций этаноламинов проводится предварительная внутренняя диагностика хроматографического комплекса, результаты которой отображаются на экране.

В хроматографе используется анализаторная шина, которая позволяет строить единую систему обслуживания. Выходная информация анализаторной шины с помощью сетевого сервера и специализированных плат используется для формирования выходных команд и выполнения других функций. Анализаторная шина при организации промышленного аналитического мониторинга, например, в производстве этаноламинов позволяет создать эффективную техническую диагностику процесса.

Хроматограф GC 1000 MARK II обеспечивает контроль концентрации фракций этаноламинов в диапазоне от 10 ppm до 100%. Воспроизводимость показаний ±1%.

Таким образом, хроматографический комплекс GC 1000 MARK II, обеспечивая первичную техническую диагностику фракций этаноламина, в соответствии с алгоритмом обработки математической модели микропроцессорным контроллером, способствует эффективной работе приборно-программного аналитического комплекса по технической диагностике процесса и коррекции фракций этаноламинов [2].

Обеспечение задач технической диагностики и управления процессом синтеза этаноламинов в настоящей работе производится посредством микропроцессорного контроллера типа SIMATIC S7-400 (Siemens). Данный контроллер – SIMATIC S7-400 имеет широкий спектр функций программно-логического управления и аналогового регулирования.

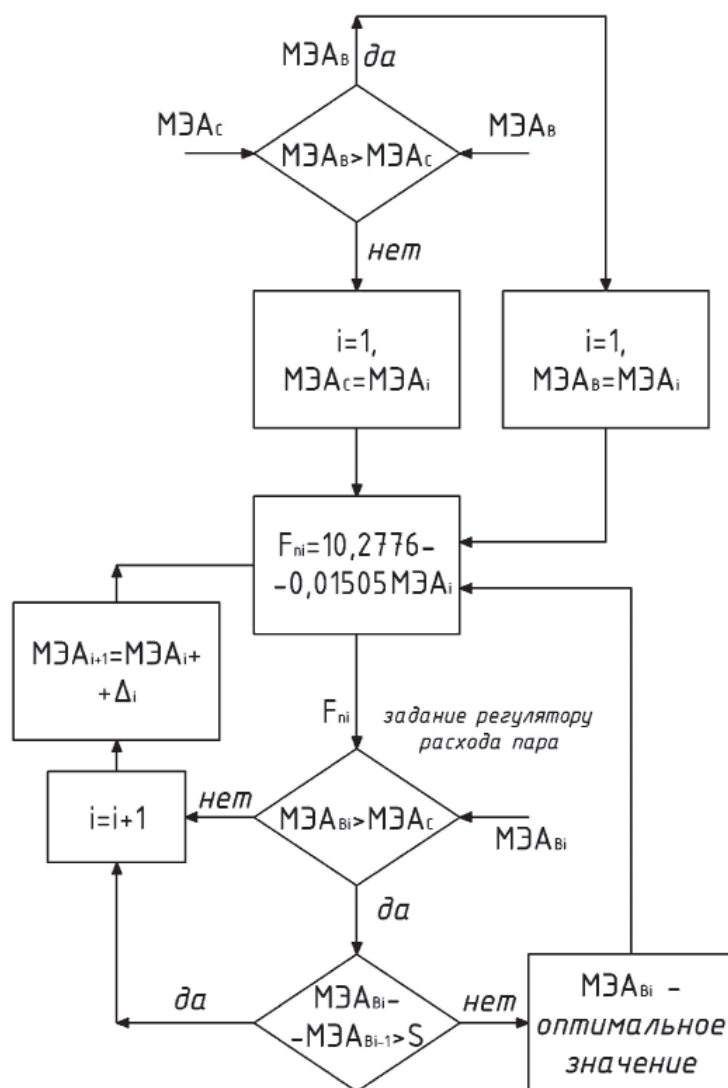


Рис. 2. Алгоритм технической диагностики и оптимизации фракции МЭА

Контроллер удовлетворяет следующим требованиям:

- способность без предварительного преобразования принимать аналоговые сигналы 4–20 мА;

- способность коммутации на дискретных выходах до ~ 220 В (для того чтобы напрямую управлять электропневмоклапанами);

- возможность с минимальными затратами организовать независимый прием и выдачу сигналов технологического процесса.

Монтаж модулей контроллера SIMATIC S7-400 производится на так называемом «монтажном рельсе» с 11-ю слотами расширения, обозначаемом в дальнейшем «каркас».

Процессорный модуль CPU 414-2 контроллера SIMATIC S7-400 располагается в слоте № 2 основного каркаса (каркас 0)

и поддерживает до 3 каркасов расширения. Слоты № 4–11 всех каркасов служат для размещения модулей ввода-вывода, причем контроллеры SIMATIC могут принимать все виды унифицированных входных сигналов по току и напряжению, сигналы термопар и термометров сопротивления с различными видами номинальных статических характеристик: вид входного сигнала выбирает пользователь при монтаже контроллера, а не при заказе (кроме взрывозащищенных модулей). Питание модулей ввода-вывода и процессорного модуля осуществляется напряжением = 24 В от блока питания PS407, подключаемого к слоту № 1 каждого каркаса. При помощи модуля IM360, устанавливаемого в каркасе 0, и модуля IM361, устанавливаемого в каркасах расширения, осуществляется связь между каркасами.

Все процессорные модули контроллеров S7-400 имеют встроенный интерфейс MPI. Подключение контроллера SIMATIC к станции оператора на основе IBM-совместимого компьютера производится с помощью платы CP443-1, которая устанавливается в слот системной шипы PCI. Плата CP443-1 – это адаптер для связи станции оператора с контроллером, он позволяет использовать станцию оператора в качестве программатора. CP441 – коммуникационный процессор с интерфейсом RS 232. Станция оператора и микроконтроллер полностью совместимы и аппаратно, и программно. Станция оператора размещается в помещении ЦПУ. В АСУТП станция оператора выполняет следующие функции:

- предоставление оператору информации о текущей стадии процесса и о текущих значениях технологических параметров;
- архивирование технологической информации;
- регистрация хода технологического процесса в форме периодически выдаваемых операционных листов;
- сообщение об аварийных и предаварийных ситуациях;
- регистрация действий обслуживающего персонала.

Для решения этих задач фирмой Siemens предлагается открытая система визуализации (SCADA) WinCC, полностью совместимая с контроллерами серии S7. SCADA WinCC состоит из среды разработки и среды исполнения проекта, работающей в режиме реального времени. Ядро среды разработки WinCC образует нейтральная по

отношению к отраслям промышленности и технологиям базовая система, которая оснащена всеми важнейшими функциями визуализации и обслуживания. WinCC включает в себя следующие программные компоненты:

- Control Center – для быстрого обзора всех данных проекта и глобальных установок;
- Graphics Designer – для создания мнемосхем и динамических графических объектов изображений процесса;
- Alarm Login – для сбора и архивации событий в системе;
- TagLogging – для архивирования измеряемых величин. Данные из архива могут визуализироваться в виде трендов и таблиц;
- Report Designer – для генерации отчетов по времени в свободно программируемом формате;
- Global Scripts – для программирования действий, производимых с объектами;
- User Administration – для управления правами доступа пользователей.

Программное обеспечение контроллера SIMATIC S7-400 разрабатывается в среде программирования Step 7. Step 7 позволяет последовательно пройти все стадии: от проектирования аппаратной конфигурации контроллера и написания пользовательского программного обеспечения до программного теста и архивации проекта.

Программная часть системы управления включает два уровня (рис. 3):

- нижний уровень – программа микропроцессорного контроллера;
- верхний уровень – исполняемый модуль среды визуализации.



Рис. 3. Структура программного обеспечения

Каждый уровень программного обеспечения включает среду разработки и исполняемую часть. Исполняемые части уровней контроллера и станции оператора обменива-

ются между собой данными. С учетом структуры на рис. 3 предложена укрупненная структура взаимодействия программного обеспечения системы управления (рис. 4).



Рис. 4. Структурная информационная система определения состава фракций этаноламина

В соответствии с рис. 4 выходной сигнал GC 1000 MARK II в виде аналогового поступает в управляющий программный модуль и далее после преобразования в цифровую форму в блоке контроллера передается в АСУТП. В этом случае выходная информация хроматографического комплекса становится доступной как для станции оператора, так и для микропроцессорного контроллера, который формирует управляющие воздействия. Как видно, эта структура включает три основных блока: блок формирования файлов для передачи информации о параметрах процентного состава сырьевых потоков по целевым компонентам, блок формирования файлов контроллера для передачи информации о параметрах технологического процесса и блок формирования визуализации, архивирования станции оператора и команд для контроллера.

#### Список литературы

1. Пенкин К.В. Технологический процесс производства этаноламина и его особенности как объекта управления / К.В. Пенкин, С.Г. Сажин // Современная наука о технологии. – 2013. – № 2. – С. 29–32.
2. Пенкин К.В. Алгоритмы управления процессом коррекции составом // Будущее технической науки: сборник докладов XIII Международной молодежной научно-технической конференции. – Н. Новгород, 2014. – С. 45.
3. Калинин А.В. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам / А.В. Калинин, Н.В. Уваров, В.В. Дойников. – М.: Инфра Инженерия, 2008. – 572 с.
4. Раннев Г.Г. Методы и средства измерений / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – М.: Академия, 2010. – 325 с.

5. Герасимов Б.И. Микропроцессорные аналитические приборы / Б.И. Герасимов, Е.И. Глинкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 246 с.

#### References

1. Penkin K.V. Technological process of production ethanolamines and its features as object of management / K.V. Penkin, S.G. Sazhin // Fundamental research, 2013. no. 2. pp. 29–32.
2. Penkin K.V. Correction process control algorithm composition ethanolamine / Sbornik dokladov XIII Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Budushhee tehnichekoj nauki» (Collection of reports XIII International Youth Scientific Conference «The Future of Technical Sciences»). Nizhni Novgorod, 2014, pp. 45.
3. Kalinichesk A.V. Spravochnik inzhenera po kontrol'no-izmeritel'nym priboram [Directory engineer instrumentation] / A.V. Kalinichesk, N.V. Uvarov, V.V. Dojnikov. Moscow, Infra Inzhenerija, 2008. 572 p.
4. Rannev G.G. Metody i sredstva izmerenij [Methods and means of measurement] / G.G. Rannev, A.P. Tarasenko. Moscow, Academy, 2010. 325 p.
5. Gerasimov B.I. Mikroprocessornye analiticheskie pribory [Microprocessor analytical instruments] / B.I. Gerasimov, E.I. Glinkin. Moscow, Mechanical engineering, 1989. 246 p.

#### Рецензенты:

Луконин В.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и информационные системы» Дзержинского политехнического института (филиал) НГТУ, г. Дзержинск;  
 Никандров И.С., д.т.н., профессор кафедры «Автомобильный транспорт и механика» Дзержинского политехнического института (филиал), ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Дзержинск.  
 Работа поступила в редакцию 06.10.2014.