DOI: 10.15593/2224-9923/2014.10.14

УДК 62-5 © Шариков Ю.В., Романова Н.А., Белоглазов И.И., Маркус А.А., 2014

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ GENESIS32

Ю.В. Шариков, Н.А. Романова, И.И. Белоглазов, А.А. Маркус

**Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
Санкт-Петербург, Россия**

Продукция нефтегазового комплекса должна быть конкурентоспособной на внутреннем и внешнем товарных рынках. В этой связи как за рубежом, так и в России понимают необходимость использования современных технологий на различных уровнях управления и особенно на самом нижнем – уровне технологических процессов. Эффективное управление позволит повысить качество продукции и уменьшить общие затраты.

Многообразие современных технологий и средств автоматизации, сложность задач автоматизации ведут к неоднозначности в подходах к их решению.

Рассмотрена технологическая схема АСУ ТП ректификации тарельчатых колонн на базе SCADA-системы GENESIS32.

В качестве экспериментальной базы была использована лабораторная установка тарельчатых ректификационных колонн, объединенная с автоматизированной системой управления, также включающей в себя систему пробоотбора, и аналитическим оборудованием, позволяющим производить полный анализ рабочих смесей.

Цель исследования – создание системы оптимального управления ректификацией с использованием математической модели процесса, которая полностью компенсирует возмущающие воздействия и дальнейшее последующее моделирование процесса с использованием SCADA-системы на лабораторной установке.

Предложенный в статье метод управления процессом ректификации в колонне тарельчатого типа позволит своевременно обнаруживать нестандартные ситуации при работе системы и принимать необходимые меры по их нейтрализации, что в конечном итоге позволит улучшить качество продукта, увеличить производительность установки, сэкономить энергоресурсы.

Ключевые слова: ректификация, SCADA-система, системы автоматического управления, оптимальное управление, тарельчатая колонна.

IMPROVEMENT OF RECTIFICATION PROCESS AUTOMATION USING THE SYSTEM GENESIS32

Iu.V. Sharikov, N.A. Romanova, I.I. Beloglazov, A.A. Markus

**National Mineral and Resources University (University of Mines),
Saint-Petersburg, Russian Federation**

Oil and gas industry production must be competitive in domestic and foreign trade markets. In this regard, both abroad and in Russia there is an understanding of the need to use modern technology at different management levels and especially at the lowest – the level of processes. Effective management will improve product quality and reduce overall costs.

Diversity of modern technologies and means of automation, the complexity of automation tasks lead to ambiguity in the approaches to their solution.

Technological scheme of ASU TP distillation tray columns based on the SCADA-system GENESIS32 is considered.

As an experimental base was used laboratory unit of distillation tray columns, combined with an automated control system which includes a system of sampling and analytical equipment to produce a complete analysis of the working mixtures.

The purpose of research – the creation of optimal control rectification using a mathematical model of the process, which is fully compensates disturbances and further subsequent modeling process using SCADA-system in a laboratory unit.

The distillation control method in the tray column, proposed in an article, will allow early detection of abnormal situations in the system and taking the necessary measures to neutralize them, which ultimately will improve product quality, increase plant productivity, save energy.

Keywords: rectification, SCADA-systems, automatic control, optimal control, plate column.

Введение

Автоматизация процесса ректификации представляет собой сложную практическую задачу вследствие большого числа различных взаимосвязанных параметров, со сложной и недостаточно изученной динамикой процесса. К тому же ректификационная колонна – объект управления со значительной инерционностью и временем запаздывания по каналам управления [1].

Сегодня значительно расширились возможности автоматизации, контроля и регулирования процесса ректификации. Использование контроллеров и SCADA-системы в качестве центрального управляющего органа позволяет учесть более широкий спектр технологических требований и повысить надежность поддержания оптимального технологического режима.

Целью исследования была задача создания системы оптимального управления ректификацией с учетом использования математической модели процесса, полностью компенсирующей возмущающие воздействия [2] и дальнейшее моделирование процесса с использованием SCADA-системы на лабораторной установке. Целью управления является поддержание заданного состава целевого продукта.

Анализ технологического процесса как объекта управления

Основными регулируемыми технологическими величинами являются составы дистиллята, кубового остатка. На чистоту этих целевых продуктов оказывает влияние ряд возмущающих воздействий процесса: состав сырья, давление в колонне, а также другие величины [3].

Основные управляющие воздействия – расходы флегмы в колонну и температура термостата. Причем изменение расхода флегмы относительно быстро приводит к изменению состава дистиллята и одновременно с большим запаздыванием и в значительно меньшей степени – к из-

менению состава кубового остатка. Изменение же температуры термостата приводит в основном к изменению состава кубового остатка, состав флегмы при этом изменяется намного слабее.

Применительно к непрерывному процессу ректификации поддержание заданного по технологическому регламенту состава целевого потока является целью управления процессом. Состав потока, не содержащего целевого продукта, может меняться в определенных пределах вследствие изменения состава и скорости подачи исходного питающего потока. Возмущения по составу и расходу питающей смеси приводят к изменению давления, температуры, состава жидкости и паров в колонне. Но эти возмущения являются контролируемыми и могут быть учтены при реализации задач оптимального управления.

Наиболее сложным случаем управления ректификационной установкой является случай, когда целевыми потоками являются поток дистиллята и поток кубовой жидкости. В таком случае требуется поддерживать заданный состав обоих потоков, а воздействие на состав кубовой жидкости или косвенно на ее температуру приводит к возмущению состава дистиллята через изменение температуры термостата; наоборот, воздействие на расход флегмы с целью стабилизации состава дистиллята влияет на состав кубовой жидкости. Взаимное влияние управляющих воздействий по обоим каналам на управляемые параметры вызывает дестабилизацию режима работы ректификационной колонны [4].

Трудности в одновременной стабилизации состава кубовой жидкости и дистиллята могут быть преодолены двумя способами. Первый способ состоит в автономном регулировании обоих параметров путем воздействия не только по основному каналу регулирования, например изменением температуры термостата, но и путем компенсации возмущения по перекрестному каналу, например

изменением расхода флегмы. Настроить такие контуры регулирования при соблюдении полной автономности довольно трудно. Второй способ состоит в управлении по возмущению с использованием математической модели тарельчатой ректификационной колонны. Технологическая схема лабораторной установки разработана в SCADA-системе GENESIS32 (рис. 1).

Управление предполагается вести следующим образом. Датчики расхода (FL139 на насосе H201) и значение состава QT (полученное в данной работе на аналитическом оборудовании) питающего потока (эти величины являются основными возмущающими воздействиями) измеряют текущие значения технологических параметров. Унифицированный выходной сигнал с датчика поступает на аналоговый вход контроллера. Значение аналогового сигнала преобразуется в цифровой код, а затем в значение технологического параметра. Для измеренных текущих значений расхода и

состава питающего потока с помощью математической модели рассчитываются температура на термостате и расход флегмы (управляющие воздействия), при которых обеспечиваются требуемые составы кубовой жидкости в емкость E103 и дистиллята в E105. Требуемый расход флегмы выдается в качестве задания насосу N102 расхода флегмы, а требуемое значение температуры на термостат TT102.

Показателями качества управления могут быть такие свойства системы управления, как, например, точность поддержания заданного режима работы объекта управления, время достижения цели управления, значение максимальной ошибки в определенном режиме функционирования, надежность безотказной работы, производительность и качество выпускаемой продукции, затраты сырья или электроэнергии, себестоимость продукции, мощность используемого оборудования и т.д. Конкретизация обобщенного показателя качества в общей теории оптимальных систем не осуществляется

Рис. 1. Технологическая схема тарельчатых ректификационных колонн: K101–K102 – ректификационные колонны; TT101–TT102 – термостаты; T101–T107 – дефлегматоры; H101–H102 насосы; FI140, FI139, FL133 – датчики расхода флегмы, исходной смеси, дистиллята соответственно; E101–E105 – емкости для сбора технологических жидкостей; LI121 – уровень кубовой жидкости

и проводится в каждой частной задаче индивидуально. Наиболее часто обобщенный показатель качества представляет собой функционал, который можно описать в форме интегрального соотношения [5]

$$J = \int_{t_0}^t G(U(t), Y(t), F(t), X(t), t) dt,$$

где $U(t)$ – управление; $Y(t)$ – управляемый процесс; $F(t)$ – возмущения; $X(t)$ – задающее воздействие; t – время.

Функция G определяет конкретный физический смысл показателя качества. Введение показателя J позволяет сформулировать задачу оптимального управления.

Задача оптимального управления заключается в следующем: в области допустимых управлений $\Omega(U)$ следует найти такое допустимое управление $U(t)$, при котором показатель качества J при заданных $F(t)$, $X(t)$ достигает экстремального значения:

$$J = \text{extremum}, U(t) \in \Omega(U), \quad (1)$$

а объект управления переводится из начального состояния $Y(t_0)$ в конечное $Y(T) \in Q_1$, оставаясь в области допустимых состояний $Y(t) \in Q(Y)$ при всех $t \in [t_0, t]$. Условие (1) называют критерием оптимальности.

Критерий оптимальности в нашем случае – состав выходных целевых потоков (кубовой жидкости X_w и дистиллята X_d), заданный технологическим регламентом.

Для контроля двух составов необходимо использовать комплексный показатель. Его определяют обычно с помощью функции желательности [6].

Рассмотрим построение функций желательности для ограничений:

$$X_d \geq 0,96; \quad (2)$$

$$X_w \leq 0,04. \quad (3)$$

Функция желательности d_1 относится к ограничению (2), $d_1 = 1$ (желательная функция), если ограничение (2) выпол-

няется, и $d_1 = 0$, если ограничение (3) не выполняется. С точностью до 0,01 функция желательности d_1 определяется по следующей логической схеме:

Если $X_d < 0,94$, то $d_1 = 0$;

если $X_d > 0,96$, то $d_1 = 1$;

если $X_d > 0,94$ и $X_d < 0,96$, то $d_1 = (X_d - 0,94)/0,02$.

Аналогично d_1 вводим функцию желательности d_2 , контролирующую выполнение ограничения (3). Величина d_2 определяется по следующей логической схеме:

Если $X_w < 0,04$, то $d_2 = 1$;

если $X_w > 0,06$, то $d_2 = 0$;

если $X_w > 0,04$ и $X_w < 0,06$, то $d_2 = (0,06 - X_w)/0,02$.

Графические функции желательности d_1 и d_2 представлены ниже (рис. 2).

Рис. 2. Функции желательности, контролирующие выполнение ограничений

Комплексный показатель, контролирующий выполнение обоих ограничений (2) и (3), может быть представлен как геометрическое среднее частных функций желательности:

$$D = \sqrt{d_1 d_2}.$$

Если удастся добиться того, чтобы $D = 1$, то выполняются оба ограничения по составу выходных потоков процесса

ректификации. Оптимизационная задача управления процессом состоит в определении значений расхода флегмы и производительности кипятильника, при которых $D = D_{\max}$.

Для решения поставленной задачи используется математическая модель процесса ректификации в колонне тарельчатого типа, которая состоит из системы уравнений, определяющей распределение концентрации в потоках пара и жидкости по высоте колонны [7]. Для построения модели вся колонна высотой H разбивается на бесконечно малые элементы величиной dh , и для каждого такого элемента записываются: основное уравнение массопередачи [8] (для жидкой и паровой фаз, для укрепляющей и исчерпывающей частей колонны), рассчитываются мольные доли легколетучего компонента в жидкой и паровой фазах на каждом элементарно малом участке насадки. В результате итерационного метода решения данной системы уравнений находим реальные значения концентраций кубовой жидкости и дистиллята при определенных условиях работы колонны. И в математическом обеспечении системы управления закладывается эта модель

с применением метода сканирования к определению оптимального режима работы колонны.

Разработанная математическая модель может быть использована для управления процессом ректификации по возмущению. Для измеренных значений расхода питающего потока и его состава (возмущающие воздействия) рассчитываются оптимальные значения расхода флегмы и температуры термостата (управляющие воздействия), при которых обеспечиваются заданные составы кубовой жидкости и дистиллята. Найденное значение расхода флегмы выдается в качестве задания насосу подачи флегмы, а найденная температура посылает задание на термостат.

Таким образом, предложенный алгоритм оптимального управления процессом ректификации в колонне тарельчатого типа даст возможность своевременно обнаруживать нестандартные ситуации во время работы системы и принимать необходимые меры по их устранению, что в итоге позволит улучшить качество продукта, увеличить производительность установки, сэкономить энергоресурсы.

Список литературы

1. Анисимов И.В. Автоматическое регулирование процесса ректификации. – 2-е изд. – М.: Гостехиздат, 1961. – 178 с.
2. Песков Н.П. Система оптимального управления ректификацией этаноламинов с использованием математической модели процесса // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. – С. 18–20.
3. Дудников Е.Г. Автоматическое управление в химической промышленности. – М.: Химия, 1987. – 312 с.
4. Мончарж Э.М. Постановка задач автоматизации технологических процессов. – Н. Новгород, 2003. – 87 с.
5. Чураков Е.П. Оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.
6. Холоднов В.А., Дьяконов В.П. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов: практ. рук-во. – СПб.: Профessional, 2003. – 312 с.
7. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1991. – 277 с.
8. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Химия, 1975. – 285 с.

References

1. Anisimov I.V. Avtomaticheskoe regulirovanie protsessa rektifikatsii [Automatic control of the rectification process]. Moscow: Gostoptekhizdat, 1961, no. 2. 178 p.

2. Peskov N.P. Sistema optimal'nogo upravleniia rektifikatsiei etanolaminov s ispol'zovaniem matematicheskoi modeli protsessa [Optimal control system rectification ethanolamines using a mathematical model of the process]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2011, no. 6, pp. 18–20.
3. Dudnikov E.G. Avtomaticheskoe upravlenie v khimicheskoi promyshlennosti [Automatic control in the chemical industry]. Moscow: Khimiia, 1987. 312 p.
4. Moncharzh E.M. Postanovka zadach avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov [Formulation of the problems of automation of technological processes]. Nizhny Novgorod, 2003. 87 p.
5. Churakov E.P. Optimal'nye i adaptivnye sistemy [Optimal and adaptive systems]. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 256 p.
6. Kholodnov V.A., D'iakonov V.P. Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiia khimiko-tekhnologicheskikh protsessov [Mathematical modeling and optimization of chemical processes]. St.-Petersburg: Professional, 2003. 312 p.
7. Kafarov V.V., Glebov M.B. Matematicheskoe modelirovanie osnovnykh protsessov khimicheskikh proizvodstv [Mathematical modeling of the basic processes of chemical production]. Moscow: Vysshiaia shkola, 1991. 277 p.
8. Kafarov V.V. Osnovy massoperedachi [Fundamentals of mass transfer]. Moscow: Khimiia, 1975. 285 p.

Об авторах

Шариков Юрий Васильевич (Санкт-Петербург, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов и производств Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, В. О., 21-я линия, д. 2; e-mail: atpp@spmi.ru).

Романова Наталья Александровна (Санкт-Петербург, Россия) – кандидат технических наук, ассистент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, В. О., 21-я линия, д. 2; e-mail: atpp@spmi.ru).

Белоглазов Илья Ильич (Санкт-Петербург, Россия) – ассистент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, В. О., 21-я линия, д. 2; e-mail: beloglazov@spmi.ru).

Маркус Антон Александрович (Санкт-Петербург, Россия) – аспирант кафедры автоматизации технологических процессов и производств Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, В. О., 21-я линия, д. 2; e-mail: atpp@spmi.ru).

About the authors

Iurii V. Sharikov (Saint-Petersburg, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor of technological process automation and production department, National Mineral and Resources University (University of Mines) (199106, Saint-Petersburg, 21st line, 2; e-mail: atpp@spmi.ru).

Natal'ia A. Romanova (Saint-Petersburg, Russian Federation) – Ph.D. in technical sciences, assistant lecturer of technological process automation and production department, National Mineral and Resources University (University of Mines) (199106, Saint-Petersburg, 21st line, 2; e-mail: atpp@spmi.ru).

Ili'a I. Beloglazov (Saint-Petersburg, Russian Federation) – assistant lecturer of technological process automation and production department, National Mineral and Resources University (University of Mines) (199106, Saint-Petersburg, 21st line, 2; e-mail: beloglazov@spmi.ru).

Anton A. Markus (Saint-Petersburg, Russian Federation) – doctoral student of technological process automation and production department, National Mineral and Resources University (University of Mines) (199106, Saint-Petersburg, 21st line, 2; e-mail: atpp@spmi.ru).

Получено 05.02.2014