

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

М.Б. Глебов, И.И. Дубровский,

В.Л. Лукьянов, В.И. Дубровский (РХТУ им. Д.И. Менделеева)

Работа посвящена созданию программно-технического комплекса (ПТК) для исследования режимов работы пилотной ректификационной установки. Целью созданного ПТК является отображение динамики изменения концентраций целевых компонентов разделяемой смеси по косвенным показателям (профилю температуры по высоте колонны), измеряемым на установке. Измеренный по высоте колонны профиль температур используется для динамической коррекции математической модели и последующего прогнозирования концентраций целевых компонентов в ректификационной колонне. Наличие в составе ПТК многоканального измерителя-регулятора, сопрягаемого с ПК, позволяет одновременно отображать на экране монитора текущий температурный профиль (задача диспетчеризации) и прогнозировать состав продуктов разделения.

Широкое распространение ректификационных процессов в химической и нефтехимической промышленности, высокие требования, предъявляемые к качеству продуктов разделения, и большая энергоемкость тепломассообменных процессов делают актуальной задачу построения высокоэффективных систем управления ректификационными установками.

Схема ПТК тарельчатой ректификационной установки со структурой материальных и тепловых потоков в технологическом оборудовании приведена на рис. 1, где L_j , V_j — потоки жидкости и пара, покидающие j -ю тарелку; F_j , $x_{i,j}^F$ — количество и состав питания; $x_{i,j}$ и $y_{i,j}$ — содержание i -го компонента в жидком и паровом потоках, покидающих j -ю тарелку; D , W — количество отбираемого дистиллята и кубового продукта; x_i^D , x_i^W — содержание i -го компонента соответственно в отбираемом дистилляте и кубовом продукте; $Q_{\text{конд}}$ и $Q_{\text{кип}}$ — тепло, отбираемое в конденсаторе и подводимое к кипятивнику.

В процессе создания программно-технического комплекса для исследования работы ректификационной колонны решались задачи математического моделирования, использовались различные методы анализа статических и динамических характеристик с последующим синтезом системы управления ректификационной колонной, как объектом с распределенными параметрами (ОРП).

Практический интерес при создании высококачественных систем управления представляет подход к решению задачи управления, при котором улучшение динамических свойств объекта системы достигается в основном за счет рациональной организации системы контроля, позволяющей отобразить текущее распределение температур по высоте аппарата. Неравноценность информации о состоянии процесса в различных точках объекта и ее большое количество обуславливают поиски оптимальных оценок состояния ОРП. С целью сокращения информации используют весовую функцию для оценки значимости каждого технологического параметра. Однако этого недостаточно для полного представления динамики процесса разделения многокомпонентных смесей в ректификационных колоннах. В этой связи работы по совершенствованию ин-

формационно-измерительной системы являются актуальными и в настоящее время.

Ректификация — массообменный процесс, который осуществляется в противоточных колонных аппаратах с контактными элементами (насадки, тарелки). В процессе ректификации происходит непрерывный обмен между жидкой и паровой фазой. В основе процесса лежит различная упругость паров компонентов, составляющих смесь. В процессе ректификации восходящий поток пара обогащается более летучими компонентами, а стекающая жидкость насыщается менее летучими.

Процесс массообмена происходит по всей высоте колонны между стекающей вниз флегмой и поднимающимся вверх паром. Чтобы интенсифицировать процесс массообмена применяют контактные элементы, что позволяет увеличить поверхность массообмена. В случае применения насадки жидкость стекает тонкой пленкой по ее поверхности, в случае применения тарелок пар проходит через слой жидкости на поверхности тарелок. Основные элементы ректификационной установки с тарелками, а также материальные и тепловые потоки приведены на рис. 1, где показана ректификационная установка, состоящая из куба 1, колонны 2, содержащей N-2 тарелок, и дефлегматора 3.

Показателем эффективности процесса ректификации может быть концентрация низкокипящего компонента в дистилляте или концентрация высококипящего в кубовом продукте, и задачей управления является поддержание значений этих параметров не ниже заданных.

С точки зрения управления ректификационная колонна является сложным многомерным объектом, и ее управление отличается рядом особенностей, среди которых:

- трудность непосредственного анализа продуктов разделения и низкая надежность автоматических приборов для измерения многокомпонентных продуктовых составов;
- наличие частых и значительных по величине возмущений процесса ректификации;
- продолжительность переходных процессов (более 2 ...3 ч) и значительные запаздывания по основным каналам управления вследствие распределения

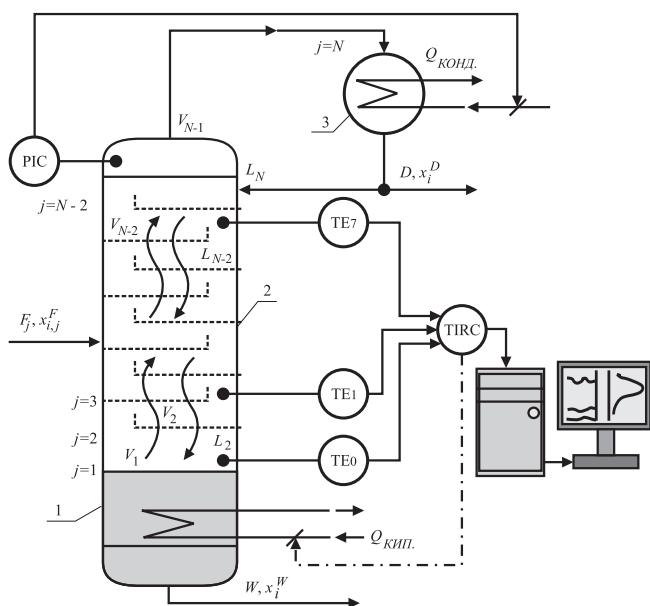


Рис. 1. Принципиальная схема программно-технического комплекса ректификационной колонны, где контур управляющего воздействия выделен штрих-пунктирной линией

объема жидкой фазы по многочисленным тарелкам или насадке;

- ректификационная колонна по основным регулируемым величинам и регулирующим воздействиям является объектом с взаимозависимыми величинами, имеет внутренние перекрестные связи, которые ухудшают и осложняют управление процессом. Например, при колебаниях расхода флегмы меняется не только концентрация дистиллята, но и концентрация кубового остатка, а колебания расхода пара, подаваемого в кипятильник и подогреватель, вызывает изменение концентрации и кубового остатка, и дистиллята. Для прямого измерения состава таких смесей, как дистиллят или кубовый продукт, используются хроматографы, рефрактометры, массоспектрометры и другие приборы. Однако автоматические приборы состава дистиллята и кубового продукта имеют невысокую надежность, для их работы требуется сложная система пробоотбора и специальные подсистемы обработки информации. Кроме того, такие приборы, как хроматографы выдают показания с большим периодом дискретизации. Все это затрудняет использование автоматических анализаторов в качестве оперативных и надежных источников информации о процессе в системах автоматического регулирования.

В то же время известно, что температура кипения растворов определяется их составом. Поэтому для получения оперативной информации о составе дистиллята или кубового продукта часто используется температура кипения этих продуктов, а приборы для контроля состава, например хроматографы, служат для периодической коррекции измерителей температуры.

В работе такой подход к оценке разделения смесей на основе измеренного профиля температур использовался для двух типов колонн – *насадочной колонны пилотного масштаба* и *промышленной тарельчатой ректификационной колонны*. В случае *насадочной колонны* эксперименты проводились на водно-спиртовых смесях: вода – этанол – изопропанол. Первоначально по данным экспериментов на насадочной ректификационной колонне проводилась коррекция высоты эквивалентной теоретической тарелки, а затем скорректированная модель прогнозировала состав продуктов разделения. Аналогичная задача решалась и в случае *промышленной тарельчатой колонны*, но здесь корректировалось уже значение коэффициента полезного действия тарелок.

Промышленная тарельчатая колонна соответствовала экстрактивной ректификационной очистке хлороформа. Исследование ректификационных колонн показало, что при изменениях состава паровой или жидкой фазы температура по высоте колонны изменяется не одинаково. Однако температура кипения не может служить точной мерой разделения, так как в свою очередь зависит от давления и количества примесей. Поэтому в задание автоматического регулятора температуры необходимо вносить периодические поправки на давление и количество примесей.

Если колонна работает при давлении, отличающемся от атмосферного, то давление в колонне необходимо стабилизировать, так как изменения давления меняют относительную летучесть компонентов и скорость движения паров по колонне, а следовательно, меняют статические характеристики процесса ректификации. Давление обычно регулируется вверху колонны или во флегмовой емкости. Наиболее простой метод стабилизации давления за счет изменения расхода хладагента в дефлегматор показан на рис. 1, данный контур регулирования (PIC) обеспечивает постоянное давление в ректификационной колонне.

Исследования процессов ректификации показали, что наиболее существенными возмущениями процесса являются колебания количества и состава исходной смеси, а также изменения давления в колонне, колебания количества жидкости на тарелках и в кипятильнике, изменения эффективности работы тарелок и т. д. Для большинства ректификационных колонн обычно наиболее значительными возмущениями является колебания расхода исходной смеси. Для некоторых установок эти колебания достигают более $\pm 50\%$. В таких случаях, прежде чем разрабатывать систему управления колонной, необходимо рассмотреть возможности уменьшения этих колебаний, исходя из анализа предшествующей технологической схемы, так как при незначительных возмущениях систему управления можно упростить с одновременным повышением качества управления.

Рассмотрим вопросы создания программно-технического комплекса для процесса ректификации за счет создания микропроцессорной информационно-изме-

рительной системы (ИИС), цель создания которой заключается в получении информации об изменении динамических свойств объекта в масштабе РВ. В качестве объекта наблюдения была выбрана ректификационная колонна, установленная в лаборатории "Моделирования типовых химико-технологических процессов" на кафедре кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д. И. Менделеева. На рис. 1 приведена схема ПТК, ИИС которой состоит из восьми датчиков (TE₀, TE₁, TE₂,..., TE₇), измерителя-регулятора (TIRC), предназначенного для целенаправленного изменения расхода греющего пара. ПК выполняет главную задачу диспетчеризации – отображение измерительной информации на экране монитора.

В процессе работы ИИС измерительная информация от восьми термометров сопротивления медных (ТСМ) передавалась на соответствующие входы измерителя-регулятора и в режиме РВ выдавалась на цифровую панель микропроцессорного прибора (ТМ 138, выпускаемый ПО "ОВЕН" или ТМ 5103, производимый НПП "ЭЛЕМЕР"). На панели цифровой индикации прибора одновременно отображаются в цифровой форме текущее значение технологического параметра и порядковый номер датчика, зафиксировавшего данное значение. Наличие, например, у ТМ 5103 встроенного интерфейса типа RS-232 позволяет передавать полученную измерительную информацию через один из СОМ-портов в системный блок ПК. В стандартном ПО данного прибора на экране монитора ПК отображаются восемь линий тренда, показывающих динамику изменения технологического параметра в каждой из восьми точек их контроля.

Для получения общей картины, отражающей динамику процесса ректификации, был разработан алгоритм, позволяющий записывать динамику изменения технологического параметра во времени в *i*-той точке и контролировать текущее распределение температуры по высоте ректификационной колонны. Для этой цели использовалась программа сбора измерительной информации и формирования управляющих воздействий – WinAR-B¹.

Для определения регулирующих воздействий рассмотрим нестационарную модель процесса. При построении модели будем основываться на равновесном подходе. В нестационарном режиме изменение удерживающей способности *n*-й ступени разделения колонны U_n во времени определяется алгебраической суммой потоков питания – F , жидкости – L и пара – V :

$$dU_n/dt = F_n + L_{n+1}(t) + V_{n-1}(t) - L_n(t) - V_n(t), \text{ где } n = \overline{2, N-1}.$$

Куб колонны: $dU_1/dt = F_1 + L_2(t) - V_1(t) - W$.

Дефлегматор: $dU_N/dt = V_{N-1} - L_N(t) - D$.

Наряду с общим балансом должен также соблюдаться материальный баланс по каждому компоненту разделяемой смеси:

$$d(U_n \cdot x_{i,n})/dt = F_n \cdot x_{i,n}^F + L_{n+1}(t) \cdot x_{i,n+1}(t) + V_{n-1}(t) \cdot y_{i,n-1}(t) - L_n(t) \cdot x_{i,n}(t) - V_n(t) \cdot y_{i,n}(t), \text{ где } i = \overline{1, M}; n = \overline{2, N-1}.$$

Куб колонны: $d(U_1 \cdot x_{i,1})/dt = F_1 \cdot x_{i,1}^F + L_2(t) \cdot x_{i,2}(t) - V_1(t) \cdot y_{i,1}(t) - W \cdot x_i^W(t)$.

Дефлегматор: $d(U_N \cdot x_{i,N})/dt = V_{N-1}(t) \cdot y_{i,N-1}(t) - L_N(t) \cdot x_{i,N}(t) - D \cdot x_i^D(t)$.

Для каждой ступени разделения запишем уравнение баланса энтальпии:

$$d(U_n \cdot h_n)/dt = F_n \cdot h_n^F + L_{n+1}(t) \cdot h_{n+1} + V_{n-1}(t) \cdot H_{n-1} - L_n(t) \cdot h_n - V_n(t) \cdot H_n, \text{ где } n = \overline{2, N-1}.$$

Куб колонны: $d(U_1 \cdot h_1)/dt = F_1 \cdot h_1^F + L_2(t) \cdot h_2 - V_1(t) \cdot H_1 - W \cdot h_i^W + Q_{\text{кип}}$.

Дефлегматор: $d(U_N \cdot h_{i,N})/dt = V_{N-1}(t) \cdot H_{N-1} - L_N(t) \cdot h_N - D \cdot h_i^D - Q_{\text{конд}}$.

Исходя из равновесного подхода, составы пара $y_{i,n}$ и жидкости $x_{i,n}$ связаны следующим соотношением:

$$y_{i,n}(t) = \frac{P_i^o(T) \cdot \gamma_{i,n}}{P} x_{i,n}(t), \text{ где } i = \overline{1, M}; n = \overline{1, N-1}.$$

Дефлегматор: $x_{i,N}(t) = y_{i,N-1}(t)$, где $i = \overline{1, M}$.

Стехиометрические соотношения:

$$\sum_{i=1}^M x_{i,n}(t) = \sum_{i=1}^M y_{i,n}(t) = 1, \text{ где } n = \overline{1, N}.$$

В вышеперечисленных уравнениях U_n – удерживающая способность ступени *n* по жидкости; h_n – энтальпия жидкого потока, покидающего ступень *n*; H_n – энтальпия парового потока, покидающего ступень *n*; T – температура; P – общее давление; P_i^o – давление чистого компонента *i* при температуре T ; M – число компонентов, присутствующих в разделяемой смеси; N – число ступеней разделения в ректификационной колонне; $Q_{\text{кип}}$ – количество тепла, подводимое к кипятильнику ректификационной колонны в единицу времени; $Q_{\text{конд}}$ – количество тепла, отбираемое в дефлегматоре колонны в единицу времени; $\gamma_{i,n}$ – коэффициент активности компонента *i* в жидкой смеси на *n*-ой ступени разделения колонны.

Приведенная модель была использована для получения переходных процессов при разделении смеси веществ, температура кипения которых очень близка. Целью выбранного химико-технологического процесса является выделение из этой смеси целевого продукта – хлороформа.

Для разделения близко кипящих компонентов, таких как 1,1 – дихлорэтан, цис – дихлорэтилен, хлороформ часто используют метод экстрактивной ректификации, в котором в верхнюю часть колонны дополнительно вводится высококипящий разделяющий агент, увеличивающий относительную летучесть компонентов исходной смеси. В частности, для указанной близкокипящей смеси (1,1 – дихлорэтан, цис – дихлорэтилен, хлороформ) в верхнюю часть ректификационной колонны вводится монофенилгликоль. Для контроля разделения смеси в колонне экстрактивной ректификации удобно использовать данные профиля температур по высоте колонны.

¹ Свидетельство №2004610312 от 28 января 2004 г. Об официальной регистрации программы для ЭВМ. Официальный бюллетень российского агентства по патентам и товарным знакам. Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем. № 2. 2004.

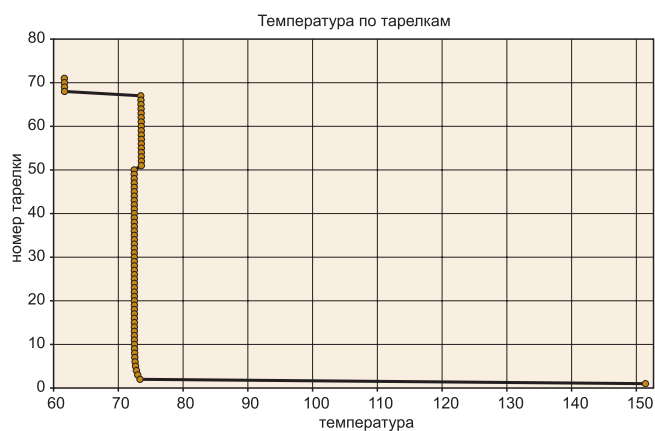


Рис. 2. Температурный профиль для тарельчатой колонны экстрактивной ректификации

На рис. 2 показан пример снятого профиля температуры для тарельчатой колонны экстрактивной ректификации вышеуказанной смеси.

Максимум температуры в верхней части колонны (тарелки 50 – 67) образуется за счет ввода высококипящего разделяющего агента на 67 тарелку и исходного питания на 50 тарелку колонны. Постоянство температуры на участке между 10 и 50-й тарелками свидетельствует о наличии в колонне зоны постоянных концентраций и неэффективной работе исчерпывающей части колонны. Температура вверху колонны 61,6°C свидетельствует об отсутствии разделяющего агента в верхнем продукте, в то время как изменение температуры в нижней части колонны 72,5...151,4°C в кубе колонны свидетельствует о том, что основное отделение разделяющего агента осуществляется на нижних тарелках колонны. С точки зрения управления качеством продуктовых потоков информационными являются температуры на тарелках 0...8 и 67...72.

Принятие решений по оценке эффективности процесса разделения многокомпонентных смесей, протекающего в ректификационной колонне, или изучение возможности вывода колонны на более эффективные режимы работы возможны на основе анализа динамических экспресс – данных (температурные профили) и

данных с временным запаздыванием (например, хроматографический анализ). Эти данные собираются автоматизированной ИИС и обрабатываются на ПК с выдачей управляющих воздействий, направленных на изменение количества подаваемого греющего пара в кипятильник колонны и разделяющего агента, на основании поступающей измерительной информации о текущем профиле температур по высоте колонны и прогнозируемых составах продуктов разделения.

Для этой цели и был разработан программно-технический комплекс на сравнительно дешевых и простых многоканальных микропроцессорных приборах, возможности которых близки к возможностям контроллеров. При использовании этих решений повышается надежность и живучесть системы управления, а алгоритм позволяет не только наблюдать изображение температурного профиля и определить по положению "горячей точки" номер "контрольной тарелки", но и сигнализировать, например, об отклонении температурного профиля от заданного вида последнего. Для сигнализации состояния ректификационной колонны в программном продукте было введено дополнительное окно, позволяющее изменять цветовую окраску температурного профиля. Пользователь, например, может окрасить нормальные участки в зеленый цвет, участки, где температурный профиль близок к максимально допустимой температуре – в желтый, а превышающие – в красный.

При создании модели для изучения процесса разделения близкокипящих компонентов смеси была разработана методика проведения активного эксперимента, заключающегося в пошаговом изменении расхода греющего пара и разделяющего агента с оценкой энергетических затрат и с оперативной обработкой полученных данных на ПК, отработаны основные элементы диспетчеризации – отображение результатов эксперимента на экране монитора ПК и созданы условия для последующей адаптации предложенной системы к задачам управления химико-технологическим процессом.

Глебов Михаил Борисович – д-р техн. наук, проф., зам. зав. кафедрой, Дубровский Илья Иванович – канд. техн. наук, доцент,

Лукьянов Василий Львович – инженер-программист, Дубровский Владимир Ильич – инженер кафедры кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Контактный телефон (499) 978-65-89. E-mail: pishite_suda@mail.ru

БИБЛИОТЕКА

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА СНГ В ОБЛАСТИ ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР СРЕДСТВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ОБЪЕКТА

Под редакцией зав. лаб. методов автоматизации производства Института Проблем Управления РАН Э.Л. Ицковича.

Объективные описания, анализ и сопоставление важнейших показателей средств отечественных и зарубежных производителей в обзорах:

Выпуск 1. "Программы связи операторов с ПТК (SCADA-программы) на рынке СНГ", Версия 8, 2004 г.;

Выпуск 2. "Микропроцессорные программно-технические комплексы (ПТК) отечественных фирм", Версия 7, 2004 г.;

Выпуск 3. "Сетевые комплексы контроллеров зарубежных фирм на рынке СНГ", Версия 3, 2005 г.;

Выпуск 4. "Микропроцессорные распределенные системы управления на рынке СНГ", Версия 4. 2005 г.;

Выпуск 5. "Перспективные программные и технические средства автоматизации: их стандартизация, свойства, характеристики, эффективность эксплуатации", Версия 3, 2004 г.;

Конкурсный выбор средств и систем под конкретные требования:

"Методика проведения конкурса" с приложением программы "Вычисление общей ранжировки конкурсных заявок и анализ работы экспертов". Версия 2. 2004 г.

Справки по приобретению любой из перечисленных работ можно получить у Э.Л. Ицковича по тел. и факсу (495) 334-90-21, по E-mail: itskov@ipu.rssi.ru