

*Т.Г. БАБАК*, доцент, НТУ «ХПИ»;

*И.Б. РЯБОВА*, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»;

*А.В. РЕЗАНОВ*, студент, НТУ «ХПИ»

## **ТЕПЛОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ГЕТЕРОАЗЕОТРОПНОЙ СМЕСИ ФУРФУРОЛ – ВОДА НА ДВУХ КОЛОННАХ**

Проведен анализ энергоэффективности процесса ректификации гетероазеотропной смеси фурфурол – вода на двух колоннах. Выделены технологические потоки для тепловой интеграции процесса. Методами «пинч»-анализа и каскадного алгоритма определены значения теплоты, рекуперированной внутри технологической схемы, и количество горячих и холодных утилит. Спроектирована сеть теплообмена, позволяющая снизить потребление утилит на выделенных технологических потоках в 4,22 раза для холодных и в 8,9 раза для горячих утилит соответственно. На основании проведенных расчетов получена модифицированная энергоэффективная схема процесса разделения смеси фурфурол – вода с использованием высокоэффективных пластинчатых теплообменников.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, система рекуперации теплоты, ректификация.

**Введение.** Высокая степень зависимости Украины от экспортируемых энергоносителей и стремительный рост цен на них стимулируют внедрение различных энергосберегающих мероприятий во все отрасли промышленности. Высокое удельное потребление энергии на производство единицы продукции по сравнению с промышленно развитыми странами делает украинские товары неконкурентоспособными на внутренних и внешних рынках. Снижение потребляемых при производстве природных ресурсов также позитивно сказывается на состоянии окружающей среды.

Реконструкция и модернизация уже существующих производств с учетом изменившихся требований по потреблению энергоресурсов является одной из актуальнейших проблем современного проектирования.

Процесс разделения смесей летучих жидкостей в колонных аппаратах является одним из самых энерго- и ресурсоемких процессов химической технологии.

© Т.Г. Бабак, И.Б. Рябова, А.В. Резанов. 2015

Существенное снижение потребления энергоносителей может быть достигнуто путем рекуперации теплоты технологических потоков внутри уже существующей технологической схемы производства [1].

**Анализ последних достижений и литературы.** Одним из методов, позволяющих осуществлять проектирование системы рекуперации теплоты в технологических схемах уже существующих производств является метод Pinch-анализа [2]. Применение высокоэффективного теплообменного оборудования дает возможность проектировать системы рекуперации теплоты, имеющие заданный срок окупаемости, существенно сокращая потребление энергии при относительно невысокой стоимости капитальных затрат.

**Постановка задачи и цель работы.** Разделяемая смесь фурфурол – вода характеризуется наличием азеотропа с температурой кипения порядка 98 °С, что ниже, чем температуры кипения чистых компонентов смеси: воды (100 °С) и фурфурола (161 °С) соответственно. К тому же при определенных условиях компоненты смеси обладают ограниченной растворимостью друг в друге. Эти особенности и обуславливают проведение процесса на двух колоннах [3]. В качестве исходной смеси в установку подается смесь фурфурол – вода в количестве 1,9 кг/с массовой долей фурфурола 0,5 и температурой 30 °С. Поток исходной смеси совместно с потоками конденсата паров, образующихся в обеих колоннах, направляется в отстойник, где происходит расслоение разделяемой смеси на фракции. Легкая фракция из отстойника, обогащенная водой, подогревается до температуры кипения и направляется в верхнюю часть первой колонны в качестве флегмы. На выходе из первой колонны пар имеет температуру конденсации 98 °С, кубовый остаток первой колонны представляет собой практически чистую воду. Во вторую колонну в качестве флегмы направляется тяжелая фракция, обогащенная фурфуролом. На выходе из этой колонны имеем пары, имеющие температуру конденсации 99 °С. Кубовый остаток второй колонны представляет собой практически чистый фурфурол.

Снижение удельных затрат энергии для осуществления процесса разделения гетероазеотропной смеси является целью данной работы.

**Анализ энергоэффективности существующей схемы.** Обследование технологической схемы выявило следующие потоки, теплота которых может передана внутри технологической схемы. Исходные данные о потоках сведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика потоков, участвующих в рекуперации тепла

№	Наименование	Тип	$G$	$T_S$	$T_T$	$CP$	$\Delta H$
1	Кубовый остаток первой колонны	Гор.	0,95	100	30	3,9767	278,4
2	Кубовый остаток второй колонны	Гор.	0,95	161	30	1,6594	217,4
3	Флегма первой колонны	Хол.	1,35	40	98	5,3608	310,9
4	Флегма второй колонны	Хол.	1,07	40	99	2,0436	120,6

Принятые в табл. 1 обозначения соответствуют следующим величинам:  $G$  – массовый расход, кг/с;  $T_S$  – начальные температуры потоков, °С;  $T_T$  – конечные или целевые температуры потоков, °С;  $CP$  – потоковая теплоемкость, кВт/°С;  $\Delta H$  – изменение теплосодержания потока, кВт.

Как следует из табл. 1, количество тепла, которое необходимо отводить от горячих потоков составляет 501,8 кВт, для подогрева холодных потоков необходимо 431,5 кВт.

Анализ составных кривых технологических потоков позволяет определить количество рекуперированного тепла внутри технологической схемы и расход горячих и холодных энергоносителей для обеспечения целевых значений температур. Расчеты проводились путем построения составных кривых горячих и холодных потоков при минимальном температурном напоре между горячими и холодными потоками 10 °С. В результате расчета было выявлено, что максимальное сближение составных кривых (точка Pinch) происходит при 50 °С для горячих потоков и 40 °С для холодных. Количество рекуперированного теплоты составляет 383 кВт. Кроме того необходимо 118,8 кВт теплоты холодных энергоносителей и 48,5 кВт горячих теплоносителей соответственно. Правильность расчетов подтверждена также методом каскадного алгоритма.

Сеть теплообменников для обеспечения расчетного количества рекуперации тепловой энергии представлена на рис. 1. Она включает в себя

три рекуперативных теплообменника с тепловой нагрузкой 198,8, 120,6 и 63,3 кВт, один нагреватель 48,5 кВт и два охладителя 79,5 и 33,2 кВт соответственно. Размещение теплообменных аппаратов на технологических потоках показано на рис. 1.

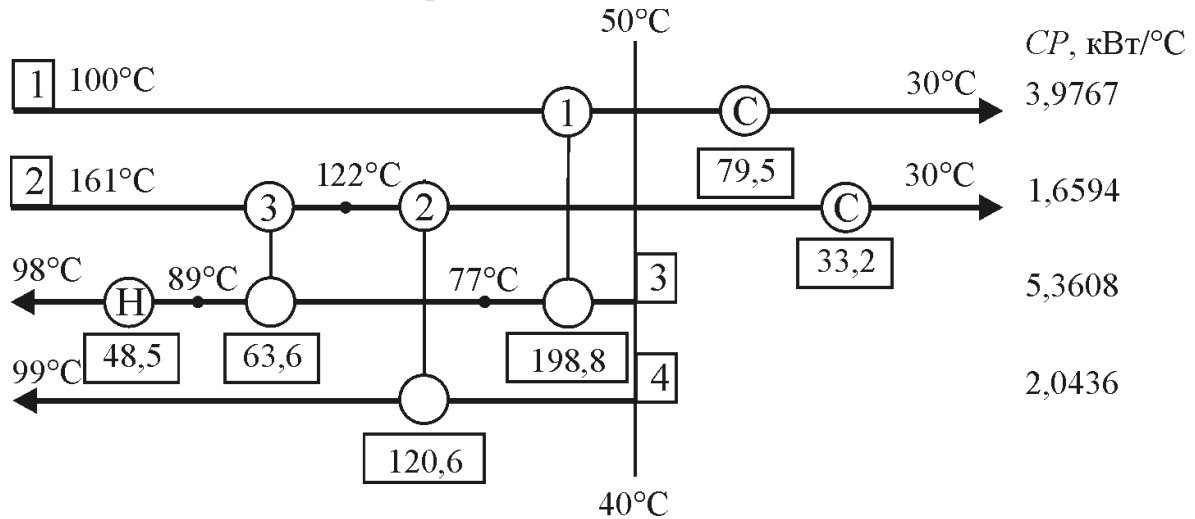


Рис. 1. Сеточная диаграмма теплообменников, установленных после модернизации

На основании приведенных результатов составлена модернизированная энергоэффективная схема процесса ректификации, приведенная на рис. 2.

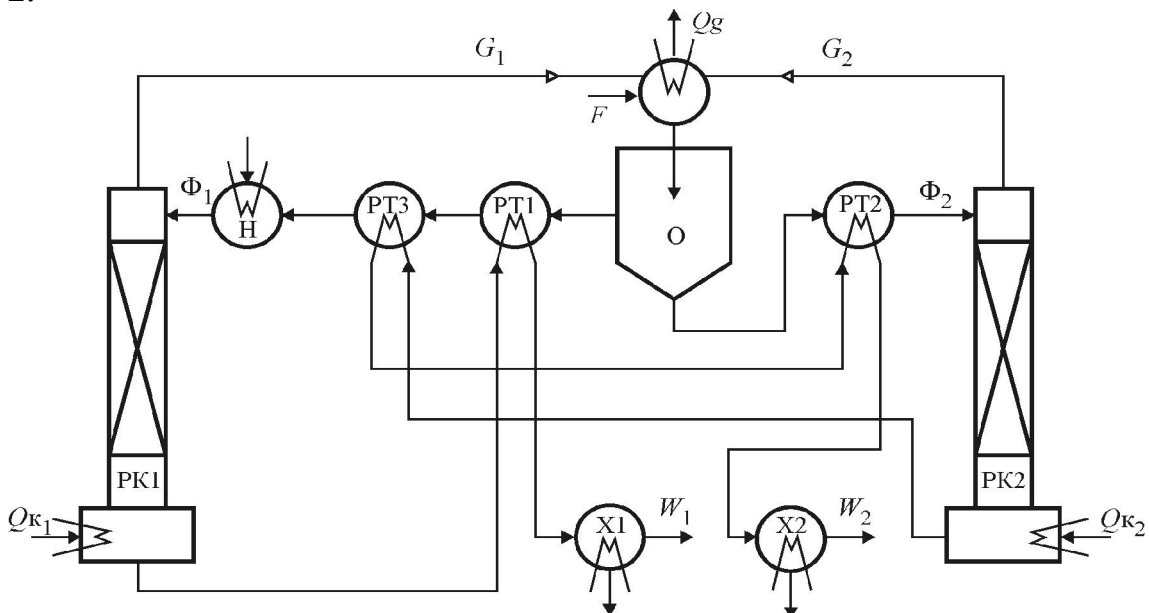


Рис. 2. Энергоэффективная схема процесса после модернизации

Размещение теплообменных аппаратов на технологических потоках проводится в соответствии с сеточной диаграммой. Таким образом,

теплота кубового остатка первой колонны РК1 (вода при температуре 100 °С) в теплообменнике РТ1 расходуется на предварительного подогрев легкой фракции, выходящей из отстойника О. Для достижения потоком кубового остатка целевого значения температур, он направляется в охладитель Х1, где охлаждающим агентом выступает сетевая вода. Теплота потока кубового остатка второй колонны РК2 частично расходуется на дальнейший подогрев легкой фракции из отстойника в рекуперативном теплообменнике РТЗ. а затем для подогрева тяжелой фракции, покидающей отстойник, в теплообменнике РТ2 до температуры кипения. Дальнейший отвод теплоты от кубового остатка второй колонны проводится в охладителе Х2 сетевой водой. Перед входом в первую колонну поток флегмы нагревается до температуры кипения в нагревателе Н1 паром из котельной.

**Выводы.** В результате применения «пинч»-метода получена модернизированная энергоэффективная схема процесса ректификации смеси фурфурол-вода на двух колоннах без изменения технологического процесса.

Рекуперация энергии внутри схемы составляет 383 кВт, количество холодных утилит сокращено в 4,22 раза, горячих в 8,9 раз.

**Список литературы:** 1. Мешалкин В.П. Основы теории ресурсосберегающих химико-технологических систем. Учебное пособие / В.П. Мешалкин, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 412 с. 2. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев – Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 456 с. 3. Коган В.Б. Азеотропная и экстрактивная ректификация / В.Б. Коган . – Ленинград: «Химия», 1971. – 432 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Meshalkin V.P. Osnovy teorii resursosberegayushih himikotekhnologicheskikh system. Uchebnoe posobie / V.P. Meshalkin, L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko. – Khar'kov. NTU «KhPI». 2006. – 412 p. 2. Smith R. Osnovy integratsii teplovykh protsessov / R. Smith, J. Klemes, L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'yev – Khar'kov. NTU «KhPI». 2000. – 456 p. 3. Kogan V.B.. Azeotropnaya s ekstraktivnaya rektifikatsiya / V.B. Kogan. – Leningrad: «Himiya», 1971. – 432 p.

*Поступила (received) 04.02.2015*