

УДК 658.28:66.648.3:661.726

**УЛЬЕВ Л.М.**, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;  
**ЛУНЁВ А.А.**, магистр, НТУ «ХПИ»

## **ТЕПЛОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СМЕСИ АЦЕТОН-МЕТАНОЛ**

Данная статья посвящена возможной тепловой интеграции в процессе ректификации смеси ацетон-метанол. Произведен анализ сеточной диаграммы процесса, построена новая сеточная диаграмма и предложена новая технологическая схема процесса с реконструкцией теплообменной системы с помощью методов пинч-анализа. В результате внедрения предложенного проекта от потребления тепловой энергии и охлаждающей воды возможно полностью отказаться. Срок окупаемости проекта составит 3 месяца

**Ключевые слова:** тепловая интеграция, ректификация, сеточная диаграмма, пинч

**Введение.** Сокращение потребления топливно-энергетических ресурсов является одной из глобальных проблем человечества. Их

© Л.М. Ульев, А.А. Лунёв. 2013

экономия и рациональное использование связано с широкомасштабным внедрением современных энергосберегающих технологий, создания высокоэффективных энерготехнологических комплексов [1–3].

Важным резервом в решении проблемы энерго- и ресурсосбережения является оптимальный по минимуму расход энергии или топлива при управлении динамическими объектами, а также проектирование аппаратов и систем, которые функционально требуют меньше энергозатрат по сравнению с имеющимися аналогами.

На основе этого был создан метод энергосбережения, который базируется на интегрированном (комплексном, системном) подходе к производству, в целом, к системе всех процессов и аппаратов, индивидуальных и суммарных холодных и горячих потоков, выявление и анализ в них пинча – узких, лимитирующих мест – точек сближения горячих и холодных составных кривых [2, 4].

Именно с помощью этого метода и будет проведена реконструкция теплообменной системы процесса ректификации смеси ацетон-метанол.

**Сеточная диаграмма.** Изучив процесс ректификации смеси ацетон-метанол была создана сеточная диаграмма рис. 1. На данной диаграмме мы видим технологические потоки с начальной и конечной температурами соответственно. На каждом из потоков установлены утилиты, таким образом, мощность использования горячих утилит 719,3 кВт, а холодных – 381,24 кВт.

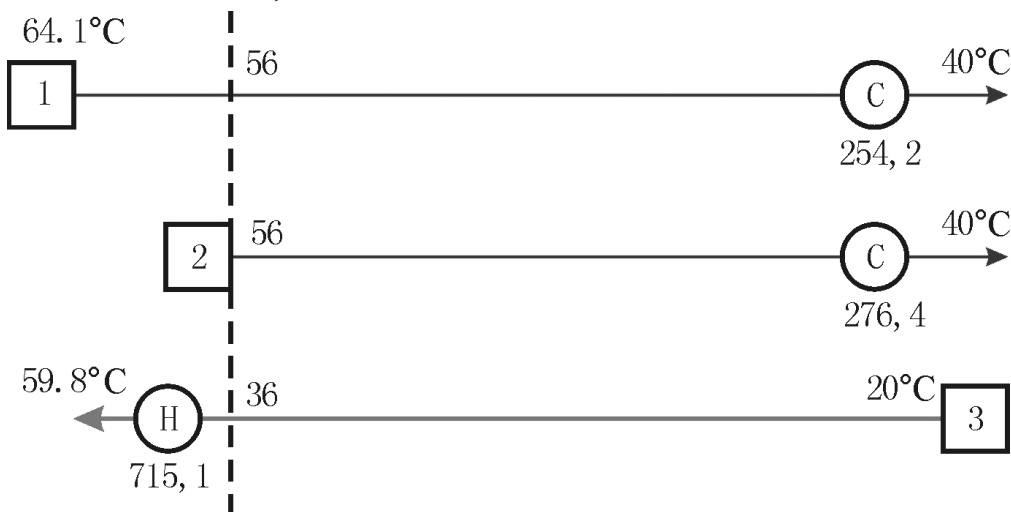


Рис. 1. Сеточная диаграмма технологической схемы ректификации смеси ацетон-метанол: 1 – 2 – горячие потоки; 3 – холодный поток; Т – температура потока, °С; Q – тепловая нагрузка утилит, кВт

Такое количество утилит, требует огромного потребления энергетических ресурсов, цены на которые в мире растут, поэтому необходимо спроектировать новую схему теплообменных аппаратов с более выгодными показателями.

**Новая сеточная диаграмма.** На обычной технологической схеме при проектировании очень трудно провести разделение технологической схемы ректификации на подсистемы, выше и ниже пинча. Наиболее удобно это сделать, если представить технологические потоки схемы ректификации с помощью сеточной диаграммы, на которой показываются только операции теплопередачи [5].

Разделяем технологическую схему ректификации на две подсистемы, где вертикальные линии показывают локализацию пинча. По сторонам от вертикальных линий находится подсистемы потоков, расположенная слева – выше пинча, справа – ниже пинча.

Чтобы сократить количество теплообменных аппаратов будем использовать принцип максимальной нагрузки каждого рекуперативного теплообменника в тепловой сети технологической системы, используя *CP*-правило. Критерии для теплообменных связей, размещаемых в подсистеме находящейся выше пинча  $CP_H \leq CP_C$ , а для подсистемы ниже пинча  $CP_H \geq CP_C$ ,  $CP$  – потоковая теплоёмкость горячего и холодного потоков соответственно. Для того, чтобы выше пинча осуществить рекуперацию тепловой энергии горячих потоков холодными, количество горячих потоков не должно быть больше числа холодных потоков  $N_H \leq N_C$ , для подсистемы ниже пинча  $N_H \geq N_C$ .

В итоге мы получили в подсистеме выше пинча расщепление холодного потока и были установлены три рекуперативных теплообменника и один нагреватель, а в подсистеме ниже пинча два охладителя. С помощью методов пинч-анализа была спроектирована и предложена новая схема системы теплообменников для процесса ректификации смеси ацетон-метанол рис. 2. Как видим, на схеме присутствует три рекуперативных теплообменника под номерами РТ1 – РТ3, которые полностью удовлетворяют тепловые нагрузки технологических потоков и доводят их практически до целевых температур. Также в схеме изображены утилитные теплообменники на потоке 1,2 находится холодный, а на потоках 2 и 3 – горячие, но как

видим, их мощность не значительна, а погрешность в один градус Цельсия является допустимой, поэтому утилитами в дальнейшем можно пренебречь и не производить их установку.

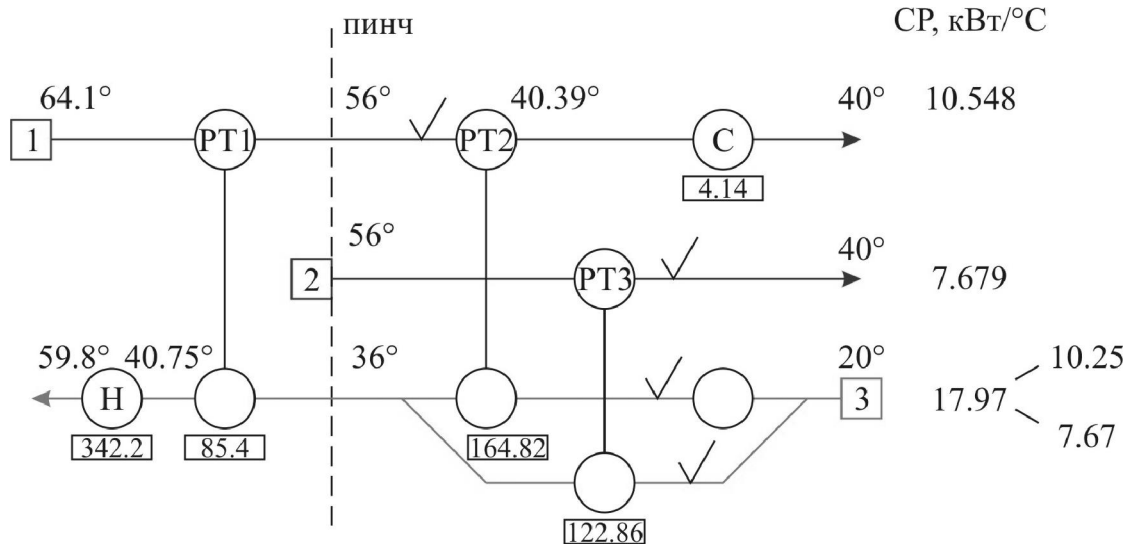


Рис. 2. Новая сеточная диаграмма технологических потоков и теплообменной системы процесса ректификации: Н – нагреватель; С1, С2 – охладители; 1 – 3 – рекуперативные теплообменники; 1 – холодный поток; 2 – 3 – горячие потоки; 1, 2, 3 – теплообменники; Т – температура потока, °С; Q – тепловая нагрузка, кВт; ΔН – потоковая теплоёмкость, кВт; CP – потоковая теплоёмкость, кВт/°С

**Новая технологическая схема.** На основе новой сеточной диаграммы технологических потоков и теплообменной системы была спроектирована новая технологическая схема процесса ректификации смеси ацетон-метанол, которая представлена на рис. 3.

В новой технологической схеме были убраны кожухотрубчатые теплообменники и использованы новые более эффективные разборные пластинчатые, с большим коэффициентом теплопередачи.

**Срок окупаемости.** Основной показатель экономической эффективности разработанной пинч системы – срок окупаемости капитальных затрат, который показывает за сколько лет разовые затраты полностью окупятся и проект начнет приносить прибыль.

Капитальные вложения окупятся за счет ежегодного прироста чистой прибыли предприятия представлен вместе с другими показателями в таблице.

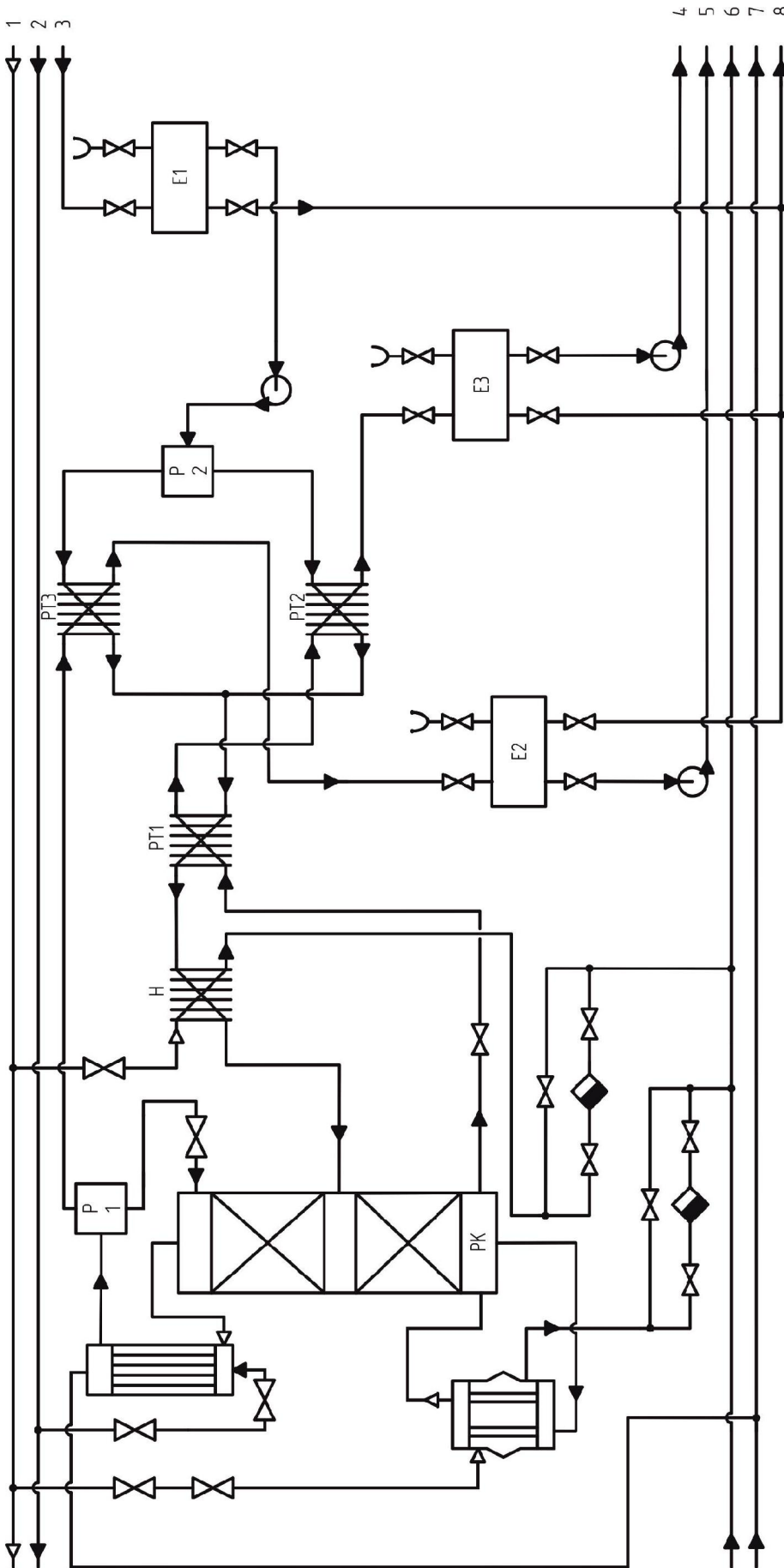


Рис. 3. Оптимизированная технологическая схема процесса ректификации смеси ацетон-метанол после реконструкции: 1 – греющий пар; 2 – охлаждающая вода; 3 – исходная смесь; 4 – кубовый остаток; 5 – дистиллят; 6 – конденсат греющего пара; 7 – оборотная вода; 8 – канализация

Таблица. Основные технико-экономические показатели

Название величины	Величина
Затраты на проектирование, $Z_p$ , грн.	50000
Общая стоимость оборудования, $Z_{об}$ , грн.	157536
Общая сумма капитальных затрат, $K$ , грн.	207536
Общая сумма годовых затрат по эксплуатации, $Z_{экс}$ , грн.	54760
Годовая экономия, $\Delta S$ , грн.	871764
Годовой прирост балансовой прибыли, $\Delta \text{Прб}$ , грн.	817004
Годовой прирост чистой прибыли, $\Delta \text{Прч}$ , грн.	612752
Срок окупаемости, $T_{ок}$ , лет.	0,339
Коэффициент эффективности капитальных вложений, $E$ , грн/грн	2,95

На основе технико-экономических показаний можно увидеть, что внедрение пинч-интеграции к технологическому процессу – экономически целесообразно.

**Выводы.** Данная статья была посвящена тепловой интеграции процесса ректификации смеси ацетон-метанол. Был проведен анализ существующей схемы ректификации, который показал отсутствие рекуперации в тепловых потоках. С помощью методов пинч-анализа была разработана новая технологическая схема процесса ректификации, которая способствует увеличению рекуперации тепловой энергии и отказа от утилит. Экономический расчет процесса показал, что его внедрение принесет 817004 тыс. грн. прибыли в год, а срок окупаемости проекта составит 0,34 года.

**Список литературы:** 1. Муромцев Д.Ю., Погонин В.А. Системы энергосберегающего управления: Учеб. пособие. Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 92 с. 2. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М., Основы интеграции тепловых процессов, авт. – Х.: ХГПУ, 2000. – С. 457. 3. Ebrahim M. «Pinch technology: an efficient tool for chemical-plant energy and capital-cost saving» Applied Energy 65, 2000, 45–40 . 4. Коновалов В.И., Кудра Т., Пахомов А.Н., Орлов А.Ю. Современные аналитические подходы к энергосбережению. Интегрированный подход. Пинч-анализ. Луковичная модель. Вестник Тамбовского государственного технического университета, 14 (2008), 3, 560 – 578. 5. Smith R., and Linnhoff B., the Design of Separators in the Context of Overall Processes // Trans Ichem E. ChERD, 1988. – P. 195.

Поступила в редколлегию 10.06.13

УДК 658.28:66.648.3:661.726

Тепловая интеграция процесса ректификации смеси ацетон-метанол / Ульев Л.М., Лунёв А.А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ». 2013. – № 55 (1028). – С. 35–41. Бібліогр.: 5.

Дана стаття присвячена можливій тепловій інтеграції в процесі ректифікації суміші ацетон-метанол. Зроблено аналіз сіткової діаграми процесу, побудована нова сіткова діаграма і запропонована нова технологічна схема процесу з реконструкцією теплообмінної системи за допомогою методів пінч-аналізу. В результаті впровадження запропонованого проекту від споживання теплової енергії і охолоджуючої води можливо повністю відмовитися. Термін окупності проекту складатиме 3 місяці.

**Ключові слова:** тепла інтеграція, ректифікація, сіткова діаграма, пінч.

This article focuses on the possible integration of the heat in the process of rectification of ethanol-water. Was made the analysis of grid chart of the process, built a new grid diagram and a new technological scheme of the reconstruction of the heat exchange system using the methods of pinch analysis. As a result of the proposed project from the consumption of thermal energy and cooling water may completely refuse. The payback period is 3 months.

**Keywords:** thermal integration, rectification, grid diagram, pinch.