

УДК 66.021.2.3.048

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ИНТЕГРАЦИИ МЕЖДУ ТРЕМЯ РЕКТИФИКАЦИОННЫМИ КОЛОННАМИ В ПРОЦЕССЕ ИЗОМЕРИЗАЦИИ КСИЛОЛОВ

Файрузова Ю.Н.¹, Перевезенцев Д.М.

ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», г. Салават

e-mail: ¹yulialaskova@yandex.ru

Клыков М.В.

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Салаватский филиал, г. Салават

Аннотация. Рассмотрено получение о-ксилола путем изомеризации ксилола, как сырья для производства фталевого ангидрида. С целью снижения потребления тепловой энергии проанализирована технологическая схема установки. Представлены результаты применения тепловой интеграции между тремя ректификационными колоннами в производстве о-ксилола, условия ее осуществления и эффективность применения.

Ключевые слова: о-ксилол, пленочный испаритель, тепловая интеграция, ректификационная колонна

В настоящее время на ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» существует потребность в о-ксилоле, как в сырье для производства фталевого ангидрида. Действующая установка по производству о-ксилола, находящаяся в цехе №34, не выведена на проектную мощность (15 тыс. тонн в год). Один из вариантов решения этой проблемы – это применение процесса изомеризации ксилола. Технологическая схема процесса изомеризации представлена на рис. 1.

С целью снижения потребления тепловой энергии предлагается применить тепловую интеграцию между колоннами К-2, К-3 и К-6.

Задачей исследования являлась оптимизация работы колонн К-2, К-6, К-19 и К-3 для увеличения эффективности производства, а также возможности использования тепловой интеграции.

Колонны К-2, К-6, К-19 – уже существуют, а К-3 – новая.

Для рассмотрения возможности применения тепловой интеграции были исследованы нагрузки на ребойлер и конденсатор колонн (табл. 1).

Наибольшие затраты энергоресурсов будут в колонне К-3. Эти затраты полностью можно покрыть используя тепловую интеграцию конденсируемых паров колонн К-2 и К-6.

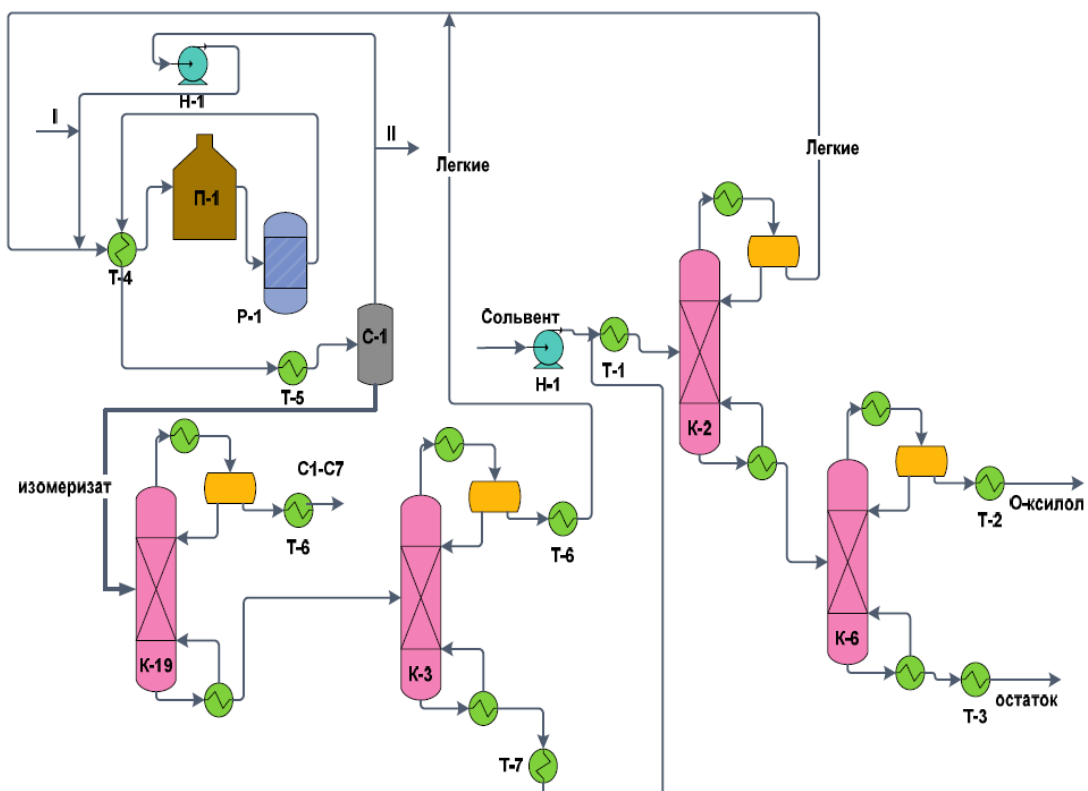


Рис. 1. Технологическая схема изомеризации ксилолов

Таблица 1. Нагрузка на конденсаторы и ребойлеры для всех колонн

| Название колонны | Ед. изм. | К-19 | К-2 | К-6 | К3 |
|-----------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| Нагрузка конденсатора | Мкал/ч | -0,3314 | -4,4321 | -2,0643 | -6,3022 |
| Нагрузка ребойлера | Мкал/ч | 0,5092 | 4,2962 | 1,9368 | 5,9565 |

Для обеспечения тепловой интеграции необходимо чтобы разность температур между верхом колонны, пары которой выступают в качестве теплоносителя и низом обогреваемой колонны составляла не менее 20 °С. Рассмотрим зависимость температуры паров на выходе из колонны от давления (рис. 2).

Были выбраны оптимальные технологические параметры колонн, которые обеспечат максимальный выход о-ксилола при минимальных затратах (табл. 2).

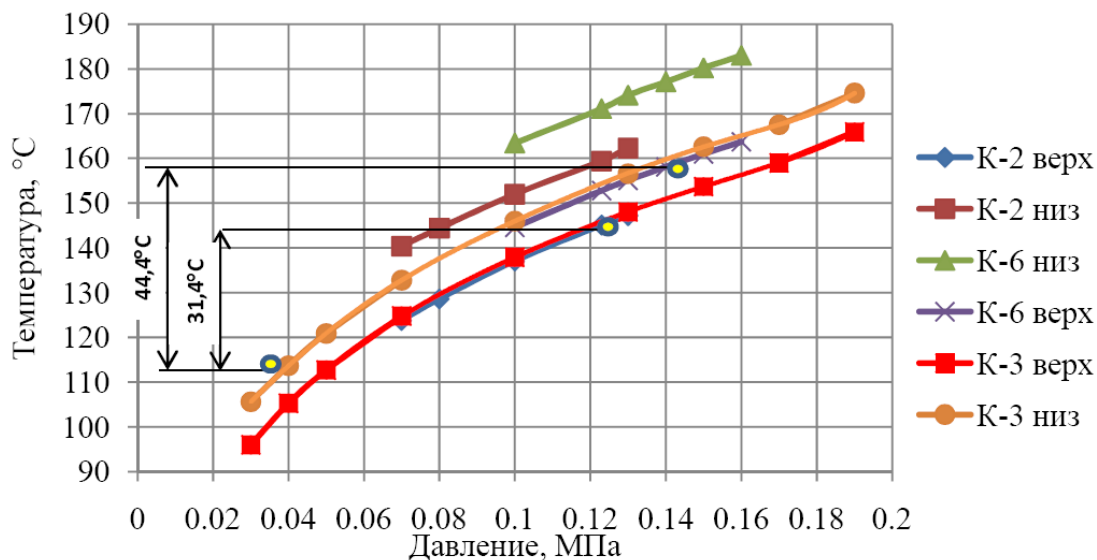


Рис. 2. Зависимости изменения температуры от давления

Таблица 2. Рабочие технологические параметры колонн выделения о-ксилола

| Наименование величины | К-2 | К-6 | К-3 | К-19 |
|--|---------|--------|---------|--------|
| Температура верха, °C | 145,1 | 158,1 | 105,3 | 111 |
| Температура низа, °C | 159,4 | 177,1 | 113,7 | 157,7 |
| Давление верха, МПа | 0,123 | 0,14 | 0,04 | 0,16 |
| Давление низа, МПа | 0,129 | 0,141 | 0,042 | 0,16 |
| Флегмовое число | 5,1946 | 5,1646 | 4,6575 | 5,0345 |
| Перепад давления, мбар/м | 2,2851 | 0,8533 | 1,7306 | |
| Удельная нагрузка по жидкости, м ³ /(м ² ·ч) | 19,9987 | 17,824 | 13,0791 | 10,741 |
| Фактор нагрузки, кг ^{0,5} ·м ^{-0,5} ·с ⁻¹ | 1,95 | 1,53 | 2,29 | 1,21 |
| Нагрузка конденсатора, Мкал/ч | 4,5087 | 1,9768 | 6,3161 | 0,33 |
| Нагрузка ребойлера, Мкал/ч | 4,3446 | 1,8533 | 5,9518 | 0,5116 |

Также для снижения энергозатрат предлагается установка пленочных кипятильников на всех колоннах. При этом не требуется замена уже существующих кожухотрубчатых теплообменников, а только их реконструкция. Причём стоимость реконструкции составит не более 10 % от общей стоимости кипятильника.

Пленочные испарители – аппараты, в которых обрабатываемый раствор распределяется по поверхности теплообмена в виде пленки. За счет этого исклю-

чается гидростатическое давление и связанное с ним уменьшение разности температур за счет повышения температуры кипения раствора.

В данной работе предложено использовать пленочные испарители с падающей пленкой, которые выполняются в виде вертикальных кожухотрубчатых теплообменников состоящих из вертикального пучка труб, закрепленных в трубных решетках. В межтрубное пространство испарителя подается теплоноситель. Для организации движения обрабатываемой жидкости в виде пленки, стекающей по внутренней поверхности труб, на верхней трубной решетке имеются распределительные устройства.

У прямоточного испарителя жидкость и вторичный пар движутся сверху вниз через пучок труб и поступают в нижнюю часть ректификационной колонны или в сепаратор (рис. 3а, б). У противоточного испарителя вторичный пар движется навстречу стекающей пленке жидкости (рис. 3в, г).

Основные схемы пленочных испарителей с падающей пленкой показаны на рис. 3.

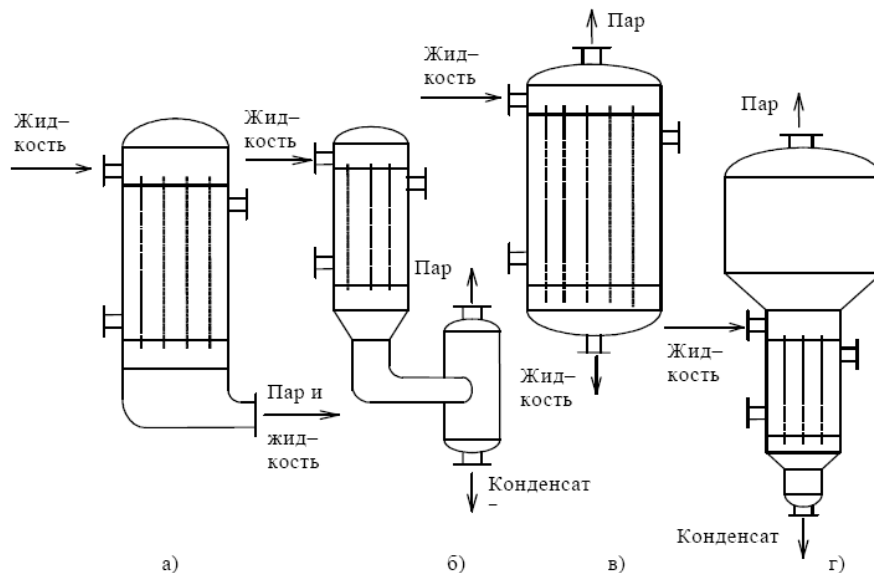


Рис. 3. Схемы пленочных испарителей с падающей пленкой:
а, б – прямоточные; в, г – противоточные пленочные испарители

Для того чтобы интенсифицировать процесс теплообмена в тонкой пленке, внутри труб может быть размещена кольцевая спираль. Кольцевые спирали позволяют дополнительно перемешивать слои жидкостной пленки, стекающие по поверхности витков кольцевой спирали.

Для интенсификации теплообмена применяют также искусственную шероховатость в виде спиральных и кольцевых канавок и насечек на внутренней поверхности теплообменных труб. Недостатком таких аппаратов является трудность очистки поверхности труб от отложений.

Сравнительные технико-экономические показатели пленочных и кожухотрубчатых кипятильников приведены в табл. 3.

Таблица 3. Сравнение данных по пленочным и кожухотрубчатым испарителям

| Название колонны | Коэффициент теплопередачи Вт/(м ² ·°К) | | Разность температур, °К | | Теплота конденсации теплоносителя, МДж/кг | | Расход теплоносителя, т/ч | |
|------------------|---|--------|-------------------------|------|---|------|---------------------------|------|
| | К | П | К | П | К | П | К | П |
| К-19 | 479,9 | 1777,9 | 56,04 | 15,1 | 1,89 | 2,06 | 1,07 | 0,98 |
| К-3 | 404,4 | 1766,2 | 41,67 | 9,5 | 2,03 | 2,14 | 12,69 | 1,2 |
| К-2 | 474,6 | 1789,9 | 54,92 | 14,6 | 1,85 | 2,02 | 9,9 | 9,06 |
| К-6 | 501,2 | 1833,7 | 57,97 | 15,8 | 1,76 | 1,94 | 4,73 | 4,29 |

Примечание: К – кожухотрубчатый, П – пленочный испаритель

В пленочных кипятильниках возрастает коэффициент теплопередачи в 4 раза, в результате чего снижается температура конденсации теплоносителя водяного пара, а следовательно растет теплота конденсации теплоносителя и снижается его расход. Экономический эффект от их установки представлен в табл. 3 и подтверждает, что установка пленочных кипятильников экономически целесообразна.

Для осуществления тепловой интеграции для колонны К-3 потребуется 2 пленочных кипятильника. В одном – теплоносителем будет дистиллят колонны К-2, а в другом – К-6. Пар-дистиллят колонны К-2 (К-6) отдает тепло, частично конденсируется. Конденсат поступает на орошение колонны К-2 (К-6), а неконденсировавшиеся пары поступают в воздушный холодильник, где охлаждаются до 40 °С (рис. 4).

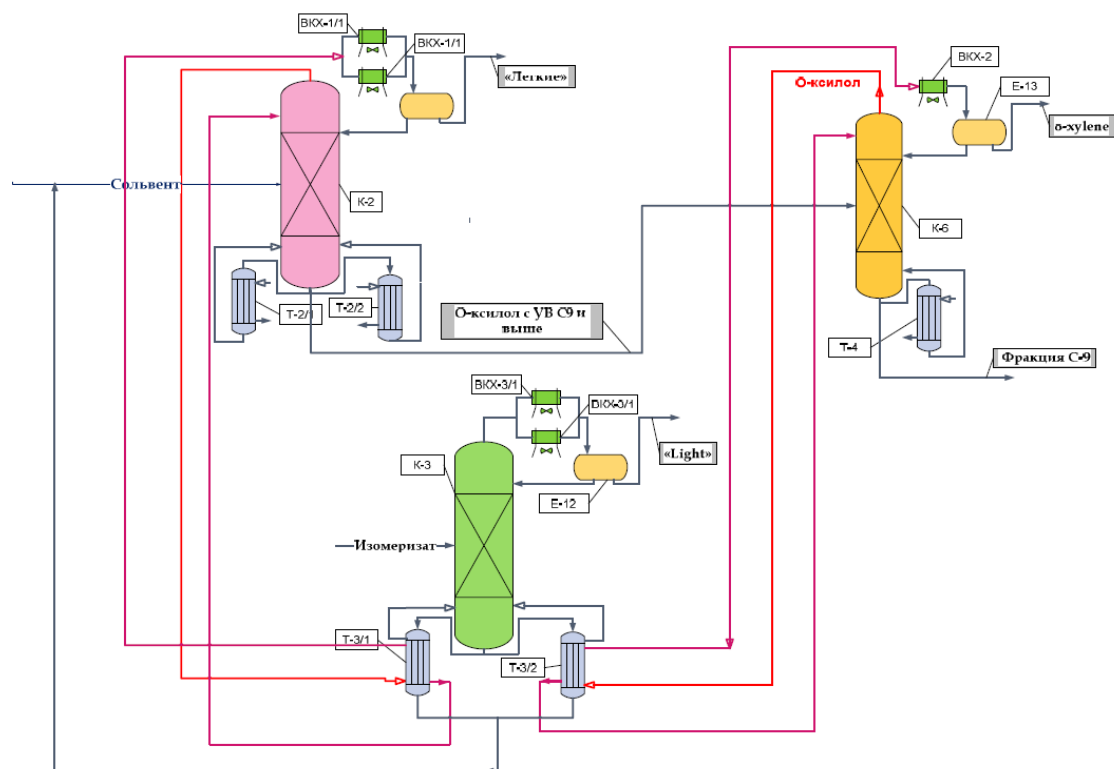


Рис. 4. Принципиальная схема тепловой интеграции между колоннами К-2, К-3 и К-6

Результаты расчета пленочных испарителей и кожухотрубчатых кипятильников необходимых для осуществления тепловой интеграции представлены в табл. 4.

Таблица 4. Исходные данные по сырью

| Показатель | Ед. изм. | Куб колонны К-3 | Теплоносители | |
|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| | | | Дистиллят колонны 2 | Дистиллят колонны 6 |
| Молекулярная масса | г/моль | 108,005 | 104,099 | 106,217 |
| Плотность | кг/м ³ | 796,056 | 852,171 | 864,416 |
| Кинем. вязкость | м ² /с | 0,00000036 | 0,00000061 | 0,00000072 |
| Динам. вязкость | Па·с | 0,00029122 | 0,00052038 | 0,00062222 |
| Пов.натяжение | Н/м | 0,01955497 | 0,02675619 | 0,02790551 |
| Теплопроводность | Дж/(с·м·К) | 0,11034729 | 0,12716597 | 0,12784209 |
| Теплота парообраз. | Дж/кг | 350351,4 | 344863,3 | 337987,2 |
| Удельная теплоемкость | Дж/кг | 2029,1 | 1746,2 | 1790,297 |

Таблица 5. Исходные данные по испарителям

| Показатель | Ед. изм. | Куб колонны К-3 | Теплоносители | |
|-----------------------------|----------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| | | | Дистиллят колонны 2 | Дистиллят колонны 6 |
| Поверхность теплообмена | м ² | - | 300 | 198 |
| Расход вторичного пара | кг/ч | 69047,9 | 41653,3 | 27394,6 |
| Давление в системе | Па | 41346,1 | | |
| Температура в системе | К | 386,8 | | |
| Температура теплоносителя | К | - | 418,25 | 431,25 |
| Разность температур | К | - | 31,3 | 44,3 |
| Длина труб в теплообменнике | м | - | 2 | 2 |

Таблица 6. Данные по пленочным испарителям

| Показатель | Ед. изм. | Теплоносители | |
|---|------------------------|---------------------|---------------------|
| | | Дистиллят колонны 2 | Дистиллят колонны 6 |
| Коэффициент теплоотдачи, α_1 | Вт/(м ² ·К) | 2030,03 | 2085,41 |
| Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к трубам, α_2 | Вт/(м ² ·К) | 860,5 | 817,9 |
| Коэффициент теплопередачи | Вт/(м ² ·К) | 603,9 | 587,1 |
| Разность температур, необходимая для осуществления тепловой интеграции* | °С | 33,5 | 34,3 |
| Температура теплоносителя, необходимая для осуществления тепловой интеграции* | °С | 147,2 | 148,1 |

* С учётом запаса 15 %

Таблица 7. Данные по кожухотрубчатым кипятыльникам

| Показатель | Ед. изм. | Теплоносители | |
|--|------------------------|---------------------|---------------------|
| | | Дистиллят колонны 2 | Дистиллят колонны 2 |
| Коэффициент теплопередачи | (Вт/м ² ·К) | 399,1 | 389,6 |
| Разность температур, необходимая для осуществления тепловой интеграции* | °С | 50,7 | 51,8 |
| Температура теплоносителя, необходимая для осуществления тепловой интеграции * | °С | 164,4 | 165,5 |

С учётом запаса 15 %

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что использование кожухотрубчатых кипятильников для тепловой интеграции не представляется возможным, т.к. слишком большая разность температур необходима для осуществления тепловой интеграции.

В табл. 8 представлены данные по расходу теплоносителя в системе, состоящий из колонн К-19, К-3, К-2 и К-6, на основании которых можно заключить, что внедрение тепловой интеграции позволит на 50 % сократить расходы на теплоноситель.

Таблица 8. Расход теплоносителя в различных вариантах

| Расход теплоносителя, кг/ч | |
|---|---------------------------------------|
| после установки кожухотрубчатых кипятильников | после установки пленочных испарителей |
| 27342,3372 | 25374,886 |

Предлагаемый вариант тепловой интеграции позволит в два раза сократить потребления тепла колоннами. Экономический эффект от предложенных мероприятий составит около 25 млн. руб.

Литература

1. Жоров Ю.М. Изомеризация углеводородов. Химия и технология. – М.: Химия, 1983. – 304 с.
2. Пат. 2197462 Российская Федерация, МПК C07C15/08. Способ получения о-ксилола, по заявке № 2001130644, дата поступления: 12.11.2001. Приоритет от 12.11.2001 Автор(ы) изобретения: Пантелеев Е.В.
3. Null H.R. Heat pumps in distillation // Chemical Engineering Progress, 1976. Vol. 78, pp. 58-64.
4. Freshwater D.C. The Heat Pump in Multicomponent Distillation // Brit. Chem. Eng., 1961, Vol. 6, pp. 388-391.
5. Fitzmorris R.E. and Mah R.S.H. Improving Distillation Columns Design using Thermodynamics Availability Analysis // AIChE J., 1980, Vol. 26, pp. 265-273.
6. Nakaiwa M., Owa M., Akiya T., Kawasaki S., Lueprasitsakul V., Yajima K., Takamatsu T. Design Procedure for a Plate-to-Plate Heat-Integrated Distillation Column // Kagaku Kogaku Ronbunshu, 1986, Vol. 12, pp. 535-541.

**APPLICATION OF THERMAL INTEGRATION
AT THREE DISTILLATION COLUMNS
IN XYLENE ISOMERISATION PROCESS**

J.N. Fayruzova¹, D.M. Perevezentsev
"Salavatnefteorgsintez" JSC, Salavat, Russia
e-mail: ¹yulialaskova@yandex.ru

M.V. Klikov
*Ufa State Petroleum Technological University,
Salavat Branch, Salavat, Russia*

Abstract. *Consider getting an o-xylene by isomerization of xylene as raw material for production of phthalic anhydride. To reduce heat energy consumption is analyzed technological scheme. It is spoken about application of thermal integration between three distillation columns in o-xylene production, the conditions of its implementation and effectiveness of application.*

Keywords: *o-xylene, film evaporator, isomerization, thermal integration, distillation column*

References

1. Zhorov Yu.M. Izomerizatsiya uglevodorodov. Khimiya i tekhnologiya (Isomerization of hydrocarbons. Chemistry and Technology). Moscow, Khimiya, 1983. 304 p.
2. Patent 2197462. RF, MPK C07C15/08. Sposob polucheniya o-ksilola (Process for obtaining o-xylene), app. №2001130644, date of receipt: 12.11.2001. Priority from 12.11.2001. Author (s) of the invention: E.V. Panteleyev.
3. Null H.R. Heat pumps in distillation. Chemical Engineering Progress, 1976. Vol. 78, pp. 58-64.
4. Freshwater D.C. The Heat Pump in Multicomponent Distillation. Brit. Chem. Eng. 1961. Vol. 6. pp. 388-391.
5. Fitzmorris R.E. and Mah R.S.H. Improving Distillation Columns Design using Thermodynamics Availability Analysis. AIChE J. 1980. Vol. 26. pp. 265-273.
6. Nakaiwa M., Owa M., Akiya T., Kawasaki S., Lueprasitsakul V., Yajima K., Takamatsu T. Design Procedure for a Plate-to-Plate Heat-Integrated Distillation Column. Kagaku Kogaku Ronbunshu. 1986. Vol. 12. pp. 535-541.