

Щербин Сергей Анатольевич,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: dekan_ftk@angtu.ru

Родионов Григорий Андреевич,

магистрант, Ангарский государственный технический университет

РЕКОНСТРУКЦИЯ УЗЛА КОНДЕНСАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ ДЕАЛКИЛАТА УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА БЕНЗОЛА «ПИРОТОЛ»

Shcherbin S.A., Rodionov G.A.

RECONSTRUCTION OF THE CONDENSATION AND COOLING SYSTEM OF THE DEALKYLATE OF THE PYROTOL BENZENE PRODUCTION PLANT

Аннотация. Рассмотрены варианты решения сезонной проблемы, связанной с конденсацией и охлаждением деалкилата в аппарате воздушного охлаждения на установке «Пиротол» Ангарского завода полимеров.

Ключевые слова: «Пиротол», деалкилат, бензол, аппарат воздушного охлаждения.

Abstract. The options for solving the seasonal problem associated with the cooling and condensation of the dealkylate in the air cooling unit at the Pyrotol installation of the Angarsk Polymer Plant are considered.

Keywords: «Pyrotol», dealkylate, benzene, air cooling unit.

Важной продукцией органического синтеза с мировым потреблением, составляющим десятки миллионов тонн в год, является бензол, получаемый из продуктов глубокой переработки нефти, угля и газа. При существенных абсолютных объемах производства коксохимического бензола, а также значительных потенциальных возможностях получения его из продуктов переработки природного газа, основным источником сырья для производства бензола в настоящее время являются нефтяные углеводородные фракции.

Для получения высокочистого товарного бензола в современной нефтехимической промышленности используются каталитический риформинг и пиролиз бензиновых фракций нефти с последующей каталитической гидрообработкой и ректификацией гидрогенизата, а также деалкилирование и/или диспропорционирование алкилароматических углеводородов [1]. Разработано несколько промышленных способов получения бензола методом деалкилирования: термическое гидродеалкилирование, каталитическое гидродеалкилирование и деалкилирование в присутствии окислительных агентов (H₂O, CO₂ и др.).

Получение бензола методом каталитического гидродеалкилирования имеет преимущества по сравнению с термическим методом по энергозатратам и расходу водорода на производство 1 тонну продукции, по селективности образования бензола, по требованиям к сырью – допускается небольшое содержание в нем непредельных (до 5%) и сернистых соединений (до 0,01%). Кроме того, каталитический процесс позволяет получать примерно на 2,5% больше бензола при меньших затратах, а получаемый бензол содержит в 2-3 раза меньше тиофена по сравнению с бензолом термического процесса [2].

Подобные каталитические технологии реализованы в промышленном масштабе – процессы “Детол” и “Пиротол” (фирма “Houdry”, США), “Хайдил” (фирма UOP, США) и др. В России каталитические процессы гидродеалкилирования алкилароматики внедрены на предприятиях ПАО “Нижнекамскнефтехим” и ООО “Ангарский Завод Полимеров”. Деалкилирование толуола (или фракций алкилароматических углеводородов) проводят, как правило, в присутствии алюмохромовых или алюмокобальтмолибденовых катализаторов при температурах 565-650 °С при давлении 3-6 МПа и мольном разбавлении углеводородного сырья водородом в соотношении 1:3÷8.

Для улучшения технико-экономических показателей на современных установках гидродеалкилирования часто совмещают несколько операций каталитической гидрообработки сырья в одном аппарате. Так, в процессе каталитической переработки продуктов пиролиза бензина “Пиротол” в одном реакторе в присутствии алюмохромового катализатора протекают гидродеалкилирование алкилбензолов, гидрообессеривание серосодержащих и гидрокрекинг неароматических соединений. Товарный бензол выделяется ректификацией, содержит 99,92 % основного продукта, менее $0,7 \cdot 10^{-4}$ % тиофена и имеет температуру кристаллизации 5,5 °С и выше.

Установка “Пиротол” Ангарского завода полимеров включает следующие основные производственные стадии: узел предварительного фракционирования пироконденсата; узел гидродеалкилирования; узел выделения бензола; узел компримирования; узел очистки водорода.

Рассматриваемый в настоящей работе узел гидродеалкилирования предназначен для испарения бензол-толуол-ксилольной фракции в испарителе, гидрирования олефинов и диенов в реакторе предварительной гидрообработки, а также для проведения каталитического гидродеалкилирования углеводородов фракции C_6-C_8 и очистки от сернистых соединений.

На предприятии существует сезонная проблема, связанная с конденсацией и последующим охлаждением в аппарате воздушного охлаждения (АВО) контактного газа, выходящего из реактора гидродеалкилирования ароматических углеводородов.

Температура деалкилата после системы охлаждения должна составлять 49-50 °С, но при работе в летний период конечная температура деалкилата на выходе из АВО может достигать 90 °С (рисунок 1), что не соответствует производственным нормам и приводит к увеличению потерь бензола в ходе дальнейшего разделения.

Деалкилат, поступающий на узел охлаждения, представляет собой парогазовую смесь углеводородов и циркулирующего водородсодержащего газа. В аппарате воздушного охлаждения часть углеводородных компонентов смеси (C_5H_{12} , C_6H_6 , C_7H_8 , $C_{12}H_{10}$ и $C_{10}H_8$) конденсируются и далее газожидкостная смесь охлаждается. Состав смеси и физико-химические свойства компонентов

в зоне охлаждения при средней температуре 108 °С представлены в таблице 1.

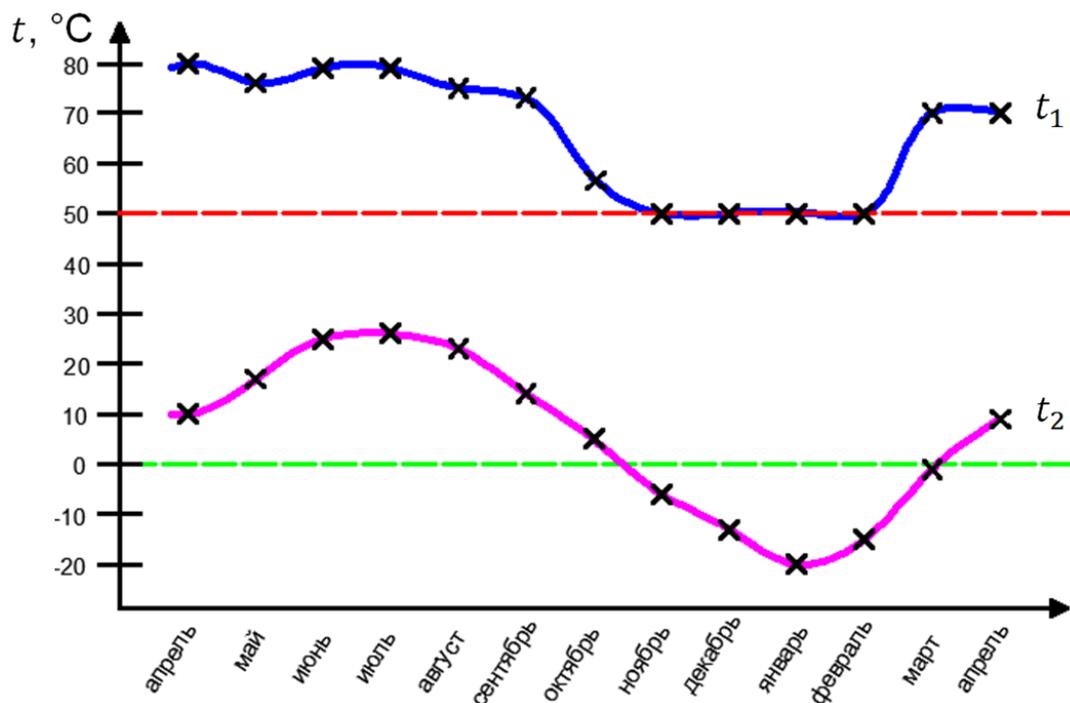


Рисунок 1 – График максимальных среднемесячных температур деалкилата после охлаждения в АВО (t_1) и атмосферного воздуха (t_2)

Для решения озвученной проблемы требуется реконструкция системы конденсации и охлаждения деалкилата. Наибольший практический интерес представляют два варианта реконструкции:

- 1) добавление дополнительной теплообменной секции в АВО для увеличения площади поверхности теплообмена;
- 2) использование в летний период времени дополнительного кожухотрубчатого теплообменника совместно с имеющимся АВО.

Очевидно, что первый вариант реконструкции потребует больших капитальных затрат, поскольку аппараты воздушного охлаждения отличаются сравнительно высокой стоимостью, обусловленной использованием теплообменных пучков из оребренных алюминиевых или биметаллических труб. При этом эксплуатационные расходы на АВО меньше благодаря исключению затрат на подготовку и перекачку воды, малому энергопотреблению в зимний период (при низкой температуре атмосферного воздуха вентиляторы отключают), снижению трудоемкости и стоимости ремонтных работ (не требуется очистка наружной поверхности труб) и др. Другим важным преимуществом АВО является их сравнительная пожаробезопасность, поскольку существенная доля теплоты (до 30 %) в этих теплообменниках отводится посредством естественной конвекции атмосферного воздуха, что является важным фактором при аварийных ситуациях [3].

Таблица 1 – Состав и физико-химические свойства компонентов смеси

Обозначение	Массовая доля	Молярная масса, кг/кмоль	Плотность, кг/м ³	Динамическая вязкость, мПа·с	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Удельная массовая теплоемкость, кДж/(кг·К)
Деалкилат						
H ₂	0,0003	2	0,064	0,018	0,018	14826
CO ₂	0,0001	44	1,407	0,030	0,028	1278
CH ₄	0,0052	16	0,512	0,014	0,044	1483
C ₂ H ₆	0,0157	34	1,088	0,030	0,039	1900
C ₃ H ₈	0,0081	44	1,407	0,014	0,034	1916
C ₄ H ₁₀	0,0002	58	1,855	0,013	0,036	1936
C ₅ H ₁₂	0,0025	72	445,0	0,093	0,037	1946
C ₆ H ₆	0,7753	78	586,6	0,092	0,039	1964
C ₇ H ₈	0,1634	92	728,2	0,092	0,040	1980
C ₁₂ H ₁₀	0,0269	154	788,9	0,095	0,042	1580
C ₁₀ H ₈	0,0022	152	930,5	0,099	0,045	2038
Циркулирующий водородсодержащий газ						
H ₂	0,6978	2	0,064	0,018	0,0176	14826
CO	0,0001	28	0,896	0,0342	1,925	1162
H ₂ S	0,0014	34	1,088	0,0162	0,03971	1348
CO ₂	0,0003	44	1,407	0,0342	0,0275	1278
CH ₄	0,2129	16	0,512	0,014	0,044	1483
C ₂ H ₆	0,0663	34	1,088	0,030	0,0385	1900
C ₃ H ₈	0,0083	44	1,407	0,014	0,0341	1916
C ₄ H ₁₀	0,0001	58	1,855	0,013	0,0363	1936
C ₅ H ₁₂	0,0002	72	2,303	0,093	0,0374	1946
C ₆ H ₆	0,0085	78	2,495	0,092	0,0385	1964
C ₇ H ₈	0,0006	92	2,943	0,092	0,0396	1980
N ₂	0,0036	28	0,896	0,0162	0,0264	929

В работах [4-6] рассматриваются подходы к определению капитальных и эксплуатационных затрат на теплообменные аппараты. Получены выражения, позволяющие оценить затраты на теплообменники с учетом расходов и свойств теплоносителей, а также конструктивных характеристик аппаратов.

Показано, что эксплуатационные затраты на теплообменник обусловлены в первую очередь стоимостью электроэнергии на перемещение теплоносителей [5], а капитальные затраты на трубчатый теплообменник в основном определяются стоимостью труб [6], которая, в свою очередь, зависит от площади поверхности теплообмена, обеспечивающей требуемую мощность теплового

потока.

Особенности теплового и гидравлического расчетов процессов конденсации и охлаждения двухфазного парожидкостного потока деалкилата обусловлены его многокомпонентным составом и двухфазным агрегатным состоянием. Теплофизические свойства такой системы рассчитываются как аддитивные величины из соответствующих свойств компонентов с учетом их массового содержания (таблица 1).

Сложность описания и расчета двухфазных газожидкостных потоков заключается в деформируемости границы раздела фаз и сжимаемости одной из фаз. Если к тому же происходит конденсация пара, то количественное соотношение фаз непрерывно меняется вдоль поверхности теплообмена. При движении двухфазного парожидкостного потока в трубах возможно существование различных гидродинамических режимов течения.

На следующем этапе работы предстоит апробация предложенного в [4-6] подхода с целью обоснованного выбора варианта реконструкции системы конденсации и охлаждения деалкилата по результатам технико-экономических расчетов, включающих определение капитальных и эксплуатационных затрат на теплообменные аппараты.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Петров, И.Я.** Получение бензола гидродеалкилированием алкилароматических углеводородов: перспективы развития процессов термического гидродеалкилирования / И.Я. Петров, А.Г. Бяков, Б.Г. Трясунов // Вестник КузГТУ. – 2005. – № 1 (45). – С. 59-65.

2. **Петров, И.Я.** Получение бензола гидродеалкилированием алкилароматических углеводородов: промышленные каталитические процессы и эффективные катализаторы / И.Я. Петров, А.Г. Бяков, В.Н. Допшак, Б.Г. Трясунов // Вестник КузГТУ. – 2005. – № 2 (46). – С. 120-129.

3. **Щербин, С.А.** Оптимальный коэффициент оребрения трубного пучка воздушного конденсатора паров бензина / С.А. Щербин, И.А. Никитина. // Сборник научных трудов АнГТУ. – 2019. – № 16. – С. 157-161.

4. **Кузьмин, С.И.** Комплексная оптимизация трубчатого теплообменника / С.И. Кузьмин, С.А. Щербин // Сборник научных трудов АнГТУ. – 2018. – № 15. – С. 21-27.

5. **Щербин, С.А.** Определение эксплуатационных затрат на кожухотрубчатый теплообменник / С.А. Щербин, А.А. Глотов // Сборник научных трудов АнГТУ. – 2020. – № 17. – С. 140-144.

6. **Щербин, С.А.** Определение капитальных затрат на кожухотрубчатый теплообменник / С.А. Щербин, А.А. Глотов // Сборник научных трудов АнГТУ. – 2020. – № 17. – С. 136-139.