



Минпромторг России
Федеральное государственное
унитарное предприятие
«Государственный научно-исследовательский
институт органической химии и технологии»
(ФГУП «ГосНИИОХТ»)

шоссе Энтузиастов, д. 23, Москва, 111024
Телефон (495) 673 75 30 Факс (495) 673 22 18
E-mail: dir@gosniiokht.ru
ОКПО 04872702, ОГРН 1027700284457
ИНН/КПП 7720074697/772001001

№ _____
На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
ФГУП «ГосНИИОХТ»,
доктор технических наук

В.Б.Кондратьев

«20» ноября 2020 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Абсаттарова Артура Ильдаровича
«Разработка энергосберегающих систем разделения углеводородных смесей
с низкой температурой кипения», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности
05.17.04 – Технология органических веществ

Актуальность работы Абсаттарова А.И. определяется в соответствии с приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации необходимостью создания энергосберегающих технологий, что в производствах органического синтеза с использованием смесей с низкой температурой кипения (НТК) может быть обеспечено разработкой и внедрением новых методов синтеза оптимальных схем разделения таких смесей.

Процессы разделения смесей с НТК широко применяются при производстве различных многотоннажных продуктов органического синтеза и характеризуются высокими затратами тепловой энергии. К таким процессам, в частности, относится разделение продуктов пиролиза. Современный объем выпуска продуктов пиролиза в России ограничен уровнем мощности предприятий, созданных в советский период, в то время как спрос на продукты их переработки значительно возрос. В связи с чем на повестке дня стоит создание новых производств, соответствующим современным требованиям к их безопасности и энергоэффективности.

При разработке систем разделения смесей с НТК оптимальные параметры процессов трудно определить на ранних этапах разработки по

причине отсутствия критерия оптимизации, адекватно описывающего энергетические затраты. Такая ситуация вынуждает использовать отдельные положения существующих методов разработки схем разделения, дополняя их эвристическими правилами, что не всегда гарантирует оптимальный конечный результат. Таким образом, диссертация Абсаттарова А.И., посвященная разработке новых подходов к построению, оценке и выбору энергоэффективных систем разделения многокомпонентных смесей (МКС) с низкой температурой кипения, является актуальной и своевременной работой, имеющей теоретическую и практическую ценность.

Диссертация изложена на 127 листах, состоит из введения, пяти глав, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 103 наименований и приложения; работа содержит 44 рисунка и 29 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна и практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту

В первой главе (литературный обзор):

- представлена обобщенная характеристика смесей с НТК, которые применяются в производстве продуктов органического синтеза;
- рассмотрены и проанализированы подходы к разработке схем разделения МКС;
- систематизированы критерии оптимизации, которые могут быть использованы при разработке схем разделения смесей с НТК;
- проанализированы методы оптимизации тепловых затрат при разделении многокомпонентных смесей с НТК.

В разделе 2.1. второй главы проанализированы виды теплоносителей и оборудование, обеспечивающего работу ректификационных колонн (РК), а также типовые связи между различными единицами оборудования и выделены 4 типовых элемента, присутствующих в схемах разделения смесей с НТК:

элемент А – для разделения смесей в РК с применением водяного пара для обогрева куба и хладоагента для охлаждения паров в дефлегматоре;

элемент Б – для разделения смесей в РК с применением хладагента для отвода тепловой энергии от дефлегматора и его же паров для обогрева кипятильника;

элемент В – для разделения смесей в РК с конденсацией паров хладагента 1-ого холодильного цикла (ХЦ) в кипятильнике колонны и с применением хладагента 2-ого ХЦ дефлегматоре;

элемент Г – для разделения смесей в РК с водяным паром в качестве теплоносителя в кубе колонны и для обеспечения работы водооборотного цикла и оборотной водой в качестве хладагента в дефлегматоре.

В разделе 2.2. второй главы для выбранных типовых элементов схем разделения предложены критерии оптимизации, которые выражаются как сумма энергетических затрат на разделение с использованием данного типового элемента и учитывают затраты на подготовку теплоносителя и хладоагента.

В разделе 2.3. второй главы рассмотрены типовые блоки подготовки хладоагентов (водооборотный цикл, пропиленовый, этиленовый и метановый холодильный циклы), проведено их моделирование в программе Aspen HYSYS и получены корреляционные уравнения для расчета удельных энергетических затрат при использовании каждого из этих ХЦ в зависимости от температуры хладоагента, которую требуется обеспечить.

В главе три диссертации изложен предложенный автором порядок построения и оценки множества вариантов разделения многокомпонентной смеси с НТК на основе выбранных типовых элементов и критерия оптимизации. Автор поставил глобальную задачу – проанализировать все возможные схемы разделения для гипотетической МКС, стоящей из наиболее часто встречающихся в многотоннажных производствах веществ. Всего было выбрано 35 веществ, из которых были исключены 7 компонентов, разделение которых ректификацией нецелесообразно. Оставшиеся 28 компонентов сгруппированы по 7 целевым фракциям, согласно физико-химическим свойствам веществ и целевому назначению фракций. Для разделения этих 7 фракций теоретически можно применить 132 схемы с использованием 792 элементов оборудования. Автором путем последовательного перебора вариантов установлено, что количество неповторяющихся (уникальных) элементов равно 76, они характеризуются различными составами потоков питания, куба и дистиллята. Синтезированные на их основе варианты разделения смеси, а также составляющие их элементы, представлены автором в виде единой суперструктуры. Затем автор разработал алгоритм оптимизации элементов разделения, входящих в суперструктуру. Данный алгоритм и полная

математическая модель суперструктуры системы разделения реализованы в программном пакете Aspen HYSYS.

В главе четыре выделена оптимальная последовательность разделения МКС продуктов реакции пиролиза. Критерий оптимизации представлен как сумма критериев оптимизации, соответствующих затратам отдельных элементов на разделение и на сжатие исходной смеси до рабочего давления в РК данного элемента. Показано, что энергетические затраты на разделение изменяются в широких пределах, в то время как затраты на сжатие изменяются незначительном. Установлено, что наиболее низкие энергозатраты соответствуют последовательностям разделения, которые по структуре близки к реализованным в промышленности фирмами Technip, Lummus, KBR и Linde.

На основании минимума суммы капитальных на создание производства и текущих энергетических затрат автором выбрана оптимальная последовательность разделения МКС продуктов реакции пиролиза.

В главе пять приведена оптимальная схема разделения продуктов реакции пиролиза, представлены параметры составляющих ее элементов разделения, проведено ее сравнение с существующей в промышленности схемой разделения. Показано, что практически для всех РК предложены альтернативные по отношению к существующей схеме параметры ведения процессов ректификации. Установлено, что снижение энергетических затрат достигается за счет снижения затрат на подготовку хладагентов и уменьшения флегмового числа в РК. Оценка энергоэффективности предложенной технологии проведена на основе принципов пинч-анализа. Показано, что точка максимального сближения композиционных кривых энергозатрат составляет 3°C , что свидетельствует о высокой степени рекуперации энергии в предложенной технологической схеме.

В выводах сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна диссертации состоит в том, что автором:

- выделены четыре типовых структурных элемента технологических схем разделения смесей с низкими температурами кипения, отвечающих различной организации тепловых потоков между колонной ректификации и теплообменным оборудованием, обеспечивающим ее работу, и предложен критерий их оптимизации на основе энергетических затрат;
- на основе выделенных типовых элементов предложен новый метод построения, оценки и выбора систем разделения МКС с низкой температурой

кипения, позволяющий устанавливать их структуру и рабочие параметры, обеспечивающие сокращение энергетических затрат;

– разработан алгоритм оптимизации элементов и построения на их основе оптимальной схемы разделения исходной смеси.

Практическое значение имеют:

– предложенные диссертантом алгоритм и критерии оптимизации типовых элементов схем разделения смесей с НТК, которые позволяют эффективно и в короткие сроки решать задачи построения, оценки и выбора оборудования схем разделения многокомпонентных смесей данного типа;

– математическая модель суперструктуры разделения, включающая основные промышленные органические соединения с низкой температурой кипения, реализованная в программном пакете Aspen HYSYS, позволяющая проводить одновременную оптимизацию и оценку энергетических затрат множества возможных вариантов разделения смеси с НТК, оперируя большим массивом данных.

Апробация работы достаточна: результаты диссертации изложены в шести публикациях, в том числе в трех статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, а также в тезисах докладов на международных конференциях.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается корректным использованием апробированных методов проектных расчетов процессов разделения многокомпонентных систем при расчете схем разделения, корректным использованием зависимостей давления пара компонентов разделяемых смесей от температуры в рассматриваемых температурных диапазонах, совпадением результатов моделирования и предложенных оптимальных схем разделения продуктов реакции пиролиза с используемыми в промышленности.

Содержание диссертации соответствует формуле и областям исследования (пунктам 2, 5, 9) специальности 05.17.04 – Технология органических веществ.

Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертации.

Значимость полученных результатов для науки и производства состоит в разработке теоретических основ выбора оптимальных

энергосберегающих схем разделения многокомпонентных смесей с низкими температурами кипения.

Предложенный диссидентом метод построения оптимальных схем разделения многокомпонентных смесей с НТК реализован в виде суперструктуры, алгоритма и соответствующего программного обеспечения, что упрощает разработку и внедрение таких процессов в промышленность.

Результаты работы могут быть использованы в лекционных курсах вузов химико-технологического профиля (РХТУ им. Д.И.Менделеева, Санкт-Петербургский технологический институт, Казанский национальный исследовательский технологический университет, «МИРЭА – Российский технологический университет»), в научно-исследовательских институтах и проектных организациях, таких как Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН, ФГУП «ГосНИИОХТ», ООО «ВНИИОС–наука», НИИЦ «Синтез», ООО «ГСИ-Гипрокаучук», при создании новых энергоэффективных производств основного органического синтеза.

В целом диссертация Абсаттарова М.А. выполнена на высоком научном уровне. Части диссертации логически связаны между собой и образуют единое целое, работа написана понятным языком. Выводы четко сформулированы и отражают содержание диссертации. Цель работы достигнута, поставленные задачи решены.

По работе имеются следующие замечания:

1. В литературном обзоре автор много внимания уделяет классическим, изложенным в учебниках, методам синтеза схем разделения, однако более современным методам (суперструктуры и CAFD) уделено очень мало внимания.

В литературном обзоре (стр. 35) постулируются преимущества пинч-анализа для энергетической оценки схем разделения, но суть этого подхода автор не раскрывает.

2. При выборе формулировке критериев оптимизации не приводится размерность величин, входящих в уравнения, что затрудняет их анализ.

3. В диссертацию не следовало (стр. 85, рис. 3.12) выносить график зависимости давления насыщенного пара пропилена от температуры, и, тем более, называть его в тексте «зависимостью температуры кипения от давления». Целесообразно было привести ссылку на литературные (экспериментальные) данные, на основе которых было получено уравнение (39) и указать точность расчета по этому уравнению.

4. Неудачным является график на рис. 3.14 на стр. 88, поскольку:

а) он полностью повторяет данные таблицы 3.16;

б) на графике объединены данные по элементам типов А и В с разными типами теплоносителей. Такие данные не следует соединять одной кривой, поскольку они соответствуют разной организации технологических процессов.

Аналогично неудачным является график на рис. 3.15 на стр. 89, где дублируются данные таблицы 3.17

5. В диссертации содержится много технических ошибок, в частности:

– много сокращений, например, ТО, НТК, ВП, ХТС, ХТП и др., не указанных в «Списке сокращений»;

– в выводах по работе имеются незначительные расхождения в тексте диссертации (пропущено слово в пункте 1) и автореферата;

– автор неаккуратно относится к названиям химических соединений (стр. 61–62): в одной и той же таблице он использует названия в соответствии с номенклатурой IUPAC, тривиальные и некорректные названия химических веществ;

– диссертация и автореферат не в полной мере соответствуют ГОСТ Р 7.0.11– 2011 «Диссертация и автореферат диссертации» в части содержания этих документов и списка литературы.

Приведенные замечания не снижают научной ценности и практической значимости рассматриваемой диссертации.

Выводы

Рассмотренная диссертация Абсаттарова Артура Ильдаровича «Разработка энергосберегающих систем разделения углеводородных смесей с низкой температурой кипения» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития технологии органических веществ, создания и внедрения в промышленность страны современных энергоэффективных производств.

По объему, актуальности, практической значимости, научной новизне и обоснованности решений диссертация Абсаттарова А.И. соответствует критериям пунктов 9–11 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук

по специальности по специальности 05.17.04 – Технология органических веществ.

Отзыв подготовлен доктором технических наук, доцентом, начальником отдела федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологии» (ФГУП «ГосНИИОХТ») Афанасьевой Александрой Алексеевной и кандидатом технических наук, доцентом, начальником отдела ФГУП «ГосНИИОХТ» Елеевым Юрием Александровичем.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании секции № 1 Ученого совета ФГУП «ГосНИИОХТ» на базе научно-исследовательского отделения инновационных исследований и разработок, протокол № 7 от 26 ноября 2020 г.

Сведения о ведущей организации: федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологии».

Адрес: шоссе Энтузиастов, д. 23, Москва, 111024

Тел.: (495) 673-75-30

Электронная почта: dir@gosniiokht.ru

Сайт: <http://gosniiokht.ru>

Доктор технических наук, доцент,
начальник отдела

ФГУП «ГосНИИОХТ»

Афанасьева Александра Алексеевна

Кандидат технических наук,
доцент, начальник отдела
ФГУП «ГосНИИОХТ»

Елеев Юрий Александрович