

ОТЗЫВ

официального оппонента Рудобашты Станислава Павловича на диссертационную работу Михайлова М.В. «Разработка энергосберегающих вариантов разделения смесей путем сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий»

Актуальность темы работы

Разработка энергосберегающих процессов разделения и очистка веществ от примесей является одной из важнейших задач химической технологии. Как известно, для решения этой задачи применяются разнообразные массообменные процессы (дистилляция, ректификация, экстракция, кристаллизация, абсорбция и др.). Однако все эти процессы не универсальны. Каждый из них имеет свои области использования. Применение комбинированных (гибридных) методов разделения значительно увеличивает диапазоны возможного разделения. Использование комбинированных методов разделения обычно связано со значительными энергетическими затратами, что обусловлено необходимостью нагрева и охлаждения рециркулирующих потоков. Одним из возможных способов уменьшения энергетических затрат является организация рекуперативного теплообмена между входящими, отходящими и рециркулирующими потоками, а также использование тепловых насосов на различных стадиях разделения. В рассматриваемой диссертационной работе автором выполнены исследования сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации с применением рекуперативных теплообменников и тепловых насосов на примере разделения эвтектикообразующих смесей. В связи с этим представленная работа является весьма актуальной.

Основное содержание работы

Диссертационная работа Михайлова М.В. состоит из введения, пяти глав, основных выводов и результатов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 180 страницах, включая приложения, содержит 78 рисунков и 3 таблицы. Список используемой литературы состоит из 180 источников.

Во **введении** автором обоснована актуальность диссертационной работы, поставлены цели исследования и сформулированы задачи, показана научная и практическая значимость проведенных исследований.

Первая глава представляет собой литературный обзор информации, посвященной вопросам использования комбинированных методов для разделения различных смесей. Обсуждены особенности таких процессов и подходы к их разработке. Рассмотрены также принципы работы различных тепловых насосов и их применение при проведении химико-технологических

процессов. Обсуждены способы оценки их энергетической эффективности. По результатам выполненного анализа литературных данных сделаны выводы о перспективности применения рекуперативного теплообмена между потоками и тепловых насосов при проведении комбинированных методов разделения смесей. Сформулированы цели и задачи проводимых исследований.

Во **второй главе** рассмотрены основные варианты сочетаний процессов ректификации с одной или двумя стадиями кристаллизации. Приведены необходимые уравнения для расчета расходов потоков маточников, дистиллятов, кубового остатка, а также энергетических показателей комбинированного процесса. Выполнен анализ влияния основных технологических параметров (состава исходной смеси, температуры охлаждения на стадии кристаллизации и др.) на показатели разделения. Проведено сравнение описанных вариантов разделения между собой.

В **третьей главе** рассмотрены варианты сочетания ректификации и фракционной кристаллизации с организацией рекуперативного теплообмена между потоками исходной смеси, дистиллята, кубового остатка и маточников. Представлены схемы разделения и зависимости для расчета показателей процесса. Проведена оценка возможного снижения энергетических затрат при применении такого разделения. Показано, что организация рекуперативного теплообмена между потоками в зависимости от технологических параметров позволяет на 20-30 % снизить суммарные тепловые затраты на рассматриваемый процесс разделения.

Четвертая глава посвящена применению тепловых насосов закрытого типа при разделении эвтектикообразующих смесей путем сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации. Приведены принципиальные схемы основных вариантов такого разделения и выполнен теоретический анализ влияния основных технологических параметров на их энергетическую эффективность. Установлено, что на эффективность использования тепловых насосов значительно влияют параметры проведения стадии ректификации и фракционной кристаллизации, а также теплофизические свойства разделяемых смесей.

В **пятой главе** приведены результаты исследований применения компрессионных тепловых насосов открытого типа для исследуемого сопряженного процесса разделения. При этом такие тепловые насосы могут быть использованы как для нагрева рециркулирующих маточников перед их подачей на стадию ректификации, так и для обогрева куба ректификационной колонны за счет сжатых паров дистиллята. Здесь также рассматриваются несколько вариантов разделения. Приводятся их принципиальные схемы и результаты анализа влияния основных технологических параметров на их энергетическую эффектив-

ность. В заключении проведено сопоставление рассмотренных вариантов между собой и с параметрами работы комбинированного процесса без использования теплового насоса. Показано, что использование тепловых насосов открытого и закрытого типа позволяет существенно повысить энергетическую эффективность рассматриваемого комбинированного процесса разделения.

В заключении работы приводятся выводы, отражающие основные результаты исследований.

Научная новизна исследований

1. Разработаны основные варианты процесса разделения бинарных эвтектикообразующих смесей путем сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации с организацией рекуперативного теплообмена между потоками, а также с использованием тепловых насосов закрытого и открытого типа.

2. Для всех рассмотренных вариантов разделения получены теоретические зависимости, позволяющие проводить расчеты материальных и тепловых потоков, а также зависимости для оценки энергетической эффективности рассматриваемых процессов разделения.

3. Проведен анализ влияния основных технологических параметров (состава исходной смеси, температуры охлаждения на стадии кристаллизации, концентрации легколетучего компонента в дистилляте и кубовом остатке и др.) на выходные показатели процессов разделения и их энергетическую эффективность, что позволяет определить условия проведения процессов разделения с минимальными затратами энергии.

4. Проведено сопоставление различных вариантов разделения между собой с целью оценки возможности снижения энергетических затрат при разделении смесей путем сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации.

Практическая значимость работы

1. Предложенные варианты сопряженных процессов могут быть успешно использованы для разделения целого ряда органических и водо-органических смесей.

2. Результаты проведенного теоретического анализа могут быть использованы для установления параметров разделения различных эвтектикообразующих смесей.

3. Установлено, что применение тепловых насосов при разделении смесей путем сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации позволяет существенно в 1,5-3,5 раза снизить энергетические затраты и улучшить их технико-экономические показатели.

Степень достоверности и обоснованности полученных результатов

Для решения поставленных в диссертационной работе Михайлова М.В. задач используются фундаментальные положения теории тепло- и массообменных процессов и адекватные методы их математического описания и моделирования. Из этого можно сделать вывод, что приведенные в работе данные расчетно-вычислительных экспериментов, результаты проведенного теоретического анализа и сделанные на их основе выводы обладают достаточной степенью достоверности, а сама работа выполнена на высоком научном уровне.

Замечания по рассматриваемой диссертационной работе

1. В диссертации анализируется только экономия энергетических затрат при организации процессов сопряженного разделения смесей с применением рекуперативного теплообмена и тепловых насосов. Применение таких схем увеличивает капитальные затраты на установки, поэтому окончательный вывод о целесообразности их применения следует делать в результате комплексного учета энергетических и капитальных затрат на проведение процесса.

2. В качестве критерия оценки энергетической эффективности схем с тепловым насосом принят относительный расход условного топлива. При этом электрическая и тепловая энергия рассматриваются как два равноценных вида энергии, т.е. не учитывается то обстоятельство, что электрическая энергия на тепловых станциях получается из тепловой энергии с некоторым КПД, который на паросиловых установках составляет 35-40 %, а на современных газопаровых установках – с КПД 60-65 %.

3. При анализе рассматриваемых процессов автор принял допущение о достижении полного равновесия фаз на стадиях ректификации и кристаллизации. В реальных процессах это не достигается. Поэтому возникает вопрос, как это отражается на энергетических показателях комбинированного разделения.

4. Как известно, существует несколько типов тепловых насосов. Об этом, в частности, сообщается в литературном обзоре. Поэтому в диссертации следовало бы указать, почему при рассмотрении комбинированных процессов автор использовал парокомпрессионные тепловые насосы.

Представленные замечания носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе

В общем диссертационная работа Михайлова М.В. на тему: «Разработка энергосберегающих вариантов разделения смесей путем сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена задача, имеющая значение для развития энергосберегающих технологий в промышленности, а именно разработка возможных вариантов использования компрессионных тепловых насосов

для комбинированных процессов разделения, основанных на сочетании ректификации и фракционной кристаллизации, а также оценки целесообразности их применения.

Автореферат и публикации достаточно полно отражают основные положения диссертации, представленные в 3 научных статьях российских научных журналах, включенных в перечень ВАК, и 5 тезисах докладов в материалах российских и международных конференций.

Содержание диссертационной работы и автореферата соответствует паспорту специальности 05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий», а именно разделам области исследований данной специальности «Фундаментальные разработки в изучении явлений переноса энергии и массы в технологических аппаратах», «Принципы и методы синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем с оптимальными удельными расходами сырья, топливно-энергетических ресурсов и конструкционных материалов».

Диссертационная работа Михайлова М.В. отвечает требованиям п. п. 9-14 Положения ВАК РФ «О присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842), а её автор Михайлов Михаил Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий».

Официальный оппонент

профессор кафедры

«Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий»

РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева,

доктор технических наук, профессор

27.11.19z

Рудобашта Станислав Павлович

Почтовый адрес: 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Электронная почта: rudobashta@mail.ru

Телефон: 8 (499) 976-15-76

Подпись профессора кафедры «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий» С.П. Рудобашты заверяю.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ И
ДОКУМЕНТАЦИОННОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ



ЭН ШТАУНДА