

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Разработка нестандартного теплообменного оборудования
ректификационных колонн ОПУ по производству ментола и тимола**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы _____

направления 18.03.01 «Химическая технология» _____

код и наименование направления, специальности

Института химии

Кочетова Игоря Сергеевича

Научный руководитель
Профессор, д.т.н., профессор
должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Ю.Я. Печенегов
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой
д.х.н., профессор
должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина
инициалы, фамилия

Саратов 2023

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире наблюдается расширение ассортимента самых различных товаров. Каждый день ведутся исследования и находятся всё новые и новые химические соединения, появляются товары, в производстве которых применяются как старые, уже давно изученные вещества, так и совершенно новые, ещё не изученные полностью.

В связи с этим развивается химическая промышленность, в частности наблюдается быстрый рост предприятий органического синтеза. Исследуются новые способы не только получения, но и разделения получаемых соединений, ведь в процессах органического синтеза получаются, как правило, смеси, состоящие как минимум из нескольких компонентов. Кроме того, большая часть органических веществ обладают оптическими изомерами, имеющими разную активность [1].

Одними из самых востребованных в современном мире органических соединений являются ментол и тимол. Являясь давно изученными, хоть и не полностью, данные кислородсодержащие вещества находят всё большее и большее применение: они используются в пищевой промышленности как ароматизирующие добавки, в процессах органического синтеза как избирательные центры при разделении смесей других органических соединений, в медицинской промышленности как компонент для производства медикаментов и антисептиков. Тимол также обладает сильным противомикробным действием [2].

Большая часть органических соединений после получения в реакторах различного типа проходят стадию очистки, заключающуюся в ректификации получаемой смеси при давлении ниже атмосферного. Это необходимо для более полного разделения компонентов. Затем получаемые фракции охлаждают и в качестве товарного продукта отправляют потребителю.

Одними из важнейших аппаратов в таком случае являются ректификационная колонна и теплообменные устройства, присутствующие как до колонны для обеспечения оптимального теплового режима, так и после неё

для конденсации и охлаждения получаемых веществ. Однако многие предприятия органического синтеза являются малотоннажными производствами и применение в составе технологических схем наиболее популярных теплообменных аппаратов – кожухотрубных, является ресурсозатратным решением. Напротив, многие решения в создании теплообменной аппаратуры, неприменимые в химической и нефтяной промышленности, находят всё более широкое применение в данной отрасли. Теплообменные устройства, используемые в малом количестве процессов, получили значение нестандартных.

Всё вышесказанное делает актуальной проблему рассмотрения нестандартной теплообменной аппаратуры и внедрение её в производства органического синтеза.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка нестандартного теплообменного оборудования ректификационных колонн опытно-промышленных установок(ОПУ) по производству ментола и тимола.

В задачах работы обозначены следующие пункты:

1. Ознакомиться с процессом ректификации;
2. Рассмотреть различное теплообменное оборудование;
3. Изучить свойства и методы получения тимола и ментола;
4. Провести необходимые расчёты для разработки нестандартного теплообменного оборудования;

1 Ректификация. Сущность процесса

Ректификация – процесс разделения многокомпонентных смесей. В неё входит многократное испарение небольшого количества разделяемой смеси и следующую за ним конденсацию полученных паров. В результате разделения образуется смесь, состав которой отличается от исходного.

Процесс разделения ведётся путём контакта двух потоков: пара и жидкости. Потоки отличаются по составу и имеют различную температуру. Как правило, в промышленных условиях ректификацию ведут в специальных колонных аппаратах [3].

В результате контакта двух потоков из жидкости выделяется компонент, имеющий наиболее низкую температуру кипения, так называемый низкокипящий компонент (НКК). Из пара же при данном контакте конденсируется компонент с самой высокой температурой кипения – высококипящий компонент (ВКК). По окончании процесса обычно получают пары, практически полностью состоящие из низкокипящего компонента. Этот пар отправляют на конденсацию, в результате которой получают дистиллят. В зависимости от условий, некоторую часть дистиллята можно возвращать в колонну для её орошения. Такую жидкость называют флегмой.

Ректификация является важнейшим технологическим процессом спиртовой и нефтяной промышленности, однако в современном мире этот метод применяют активно находят применение и в химической технологии. Благодаря ей возможно получать вещества с крайне малым содержанием примесей.

Ректификация имеет очень обширную классификацию: она может вестись периодически или непрерывно, под давлением, под вакуумом или при атмосферном давлении, в одной колонне или в нескольких, расположенных друг за другом [4].

Наиболее полное и экономически выгодное разделение смесей ведут в ректификационных колоннах – аппаратах, в которых осуществляется многократный контакт двух неравновесных фаз, движущихся навстречу друг другу.

2 Теплообменное оборудование в ректификации, роль и принцип работы

В общем виде, теплообменный аппарат – это устройство, в котором происходит передача тепла от более горячего теплоносителя к более холодному.

Движущей силой процесса теплообмена является разность температур, причём передача теплоты осуществляется от тела с большей к телу с меньшей температурой [5].

В химической технологии теплообменники используются в самых разных процессах: нагревании и охлаждении, при конденсации паров и кипении жидкостей, в процессах ректификации, абсорбции, кристаллизации, в экзо- и эндотермических реакциях, при выпаривании и других процессах.

Различают стационарные (установившиеся) и нестационарные (неустановившиеся) теплообменные процессы.

При стационарных процессах, характерных обычно для непрерывно действующих теплообменных устройств, температура в каждой точке рабочего объёма (тела) не меняется во времени.

Теплообменники очень разнообразны, в связи с чем существуют классификации по следующим признакам:

- По конструкции: состоящие из труб, цельных листов металла, из неметаллических материалов и т.д.;
- По назначению: холодильники, конденсаторы, подогреватели или испарители и др.;
- По способу организации взаимодействия теплоносителей: контактные (теплообменники смешения и барботажные) и поверхностные (рекуперативные и регенеративные);
- По направлению движения теплоносителей: противоточные, перекрестного тока и прямоточные;

В последнее время большую популярность в процессах химической технологии набирают погружные теплообменники и аппараты типа «труба в трубе».

3 Тимол. Получение и применение

Тимол – органическое вещество с характерным запахом. Он слабо растворим в воде, но хорошо растворим в эфирах, маслах и спиртах. Образует бесцветные кристаллы или белый порошок.

Тимол используется как сырьё в производстве ментола и некоторых красителей. В медицине – как противомикробное, антисептическое и обезболивающее средство. Применяется в фармацевтике и некоторых областях пищевой промышленности как консервант. В индивидуальном виде или вместе с другими веществами применяется для обработки сельскохозяйственных территорий в качестве пестицидов и инсектицидов.

Широкая область применения тимола обуславливает высокий спрос на данное вещество. Наибольшей популярностью пользуются 2 метода: экстракция из природных источников и синтез алкилированием М-крезола.

4 Промышленные методы получения ментола и его применение

Ментол – кислородсодержащее органическое соединение. Является производным ациклических монотерпенов. Образует бесцветные кристаллы с сильным мятным запахом и охлаждающим вкусом. Имеет 8 оптических изомеров. Летуч при комнатной температуре. Со многими органическими соединениями образует эвтектические смеси в жидком состоянии [6].

Применение ментола несколько ограничено его сильным специфическим запахом. Несмотря на это, ментол используют в пищевой промышленности для ароматизации кондитерских изделий, напитков и других продуктов. В фармацевтике ментол применяется при изготовлении лекарств (бороментол, валидол и др.). В медицине применяется для обработки раздражённых поверхностей тела.

Кроме того, ментол активно используется в органическом синтезе. Его используют для получения ментиловых эфиров. Также известна классическая методика разделения хиральных карбоновых кислот с образованием ментиловых эфиров [7].

5 Разработка теплообменного оборудования для процесса дефлегмации тимольной ректификационной колонны

Колонна работает при высоком значении флегмового числа $R = G_R/G_D$, достигающим $R = 50$, и поэтому для снижения затрат энергии на процесс разделения тимольной смеси целесообразно дефлегмацию осуществлять в две ступени.

Первая ступень состоит в конденсации поступающего с верха колонны пара в теплообменнике-конденсаторе. Образующийся конденсат продукта разделяется на два потока, имеющих температуру насыщения(конденсации). Один из потоков направляется в колонну в качестве флегмы, а другой поток поступает на охлаждение в теплообменник-холодильник, который является второй ступенью дефлегмации.

6 Разработка теплообменного оборудования процесса дефлегмации ментольной ректификационной колонны

Ментольная смесь трудно разделяется путём ректификации, что обуславливает необходимость в больших флегмовых числах $R = G_R/G_D$, достигающих 200, что, в свою очередь, приводит к повышенным энергетическим затратам на процесс.

Рассчитанная по правилу Трутона теплота испарения ментола при атмосферном давлении несколько отличается от литературных данных, полученных экспериментальным путём. Так как колонна работает при глубоком вакууме, то примем для расчётов величину несколько большую от принятых значений. [8]

Исходя из того, что характер течения продукта и воды в холодильнике ламинарный и коэффициент теплопроводности ментола близок по своей величине к коэффициенту теплопроводности фракций в тимольной колонне, следует ожидать, что коэффициент теплопередачи в холодильнике будет таким же, как и в холодильнике тимольной колонны.

7 Тепловая мощность и площадь поверхности нагрева испарителей

Тепловая мощность электрических нагревателей в кубах колонн определяется как сумма тепловых мощностей конденсатора и холодильника.

Для недопущения пережога ТЭНов в кипятильниках колонн («запарки» электронагревателей) должна быть обеспечена определённая суммарная площадь поверхности теплоотдачи ТЭНов. Согласно выполненным оценкам в кубе ментольной колонны эта площадь должна быть не меньше $0,15 \text{ м}^2$, а в кубе тимольной колонны $F_{\text{ТЭН}} \geq 0,3 \text{ м}^2$.

8 Тепловая изоляция

Поверхности оборудования, имеющие повышенную температуру, необходимо покрыть тепловой изоляцией с целью уменьшения тепловых потерь и энергозатрат на процессы ректификации, а также для соответствия с требованиями безопасной эксплуатации. Кроме того, в транспортной системе после холодильников необходимо сохранить неизменной температуру продуктов, не допуская перехода их в твёрдое состояние.

Можно рекомендовать использовать для теплоизоляции термокраску с вакуумированными микросферами типа «Астратек». Согласно проведённым разными авторами исследованиям коэффициент теплопроводности термокраски «Астратек» находится в интервале $\lambda = 0,024 - 0,061 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{К})$. Имеются данные, полученные в институте технической теплофизики АН УССР, что коэффициент теплопроводности термокраски с микросферами $\lambda = 0,05 - 0,09 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{К})$.

9 Экономический расчёт

В современном мире в химической промышленности подавляющее число теплообменной аппаратуры представлено кожухотрубчатыми теплообменниками. Основным недостатком таких аппаратов является их металлоёмкость и, как следствие, высокая стоимость изготовления.

Для принятия решения о целесообразности применения нестандартного теплообменного оборудования для дефлегмации и охлаждения продуктов с

верха ректификационных колонн необходимо провести экономический расчёт и сравнить финансовые затраты на производство каждого из разработанных теплообменников и аналогичных им по площади поверхности кожухотрубчатых теплообменников.

В качестве исходного материала принимаем сталь марки X18H10T для элементов, непосредственно соприкасающихся с органическим продуктом, и сталь марки ст.3 для всех остальных элементов.

Подводя итоги данного расчёта, можно сказать, что разработанное теплообменное оборудование является менее металлоёмким и, как следствие, более дешёвым в производстве, чем аналогичные им кожухотрубные теплообменные аппараты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были изучены вопросы энергетического и технологического направлений.

В ходе рассмотрения процесса ректификации была изучена технологическая схема ректификации двухкомпонентной смеси. Также были получены знания о классификации аппаратов, используемых для разделения смесей ректификационным разделением.

Рассмотрены нестандартные устройства для проведения процессов теплообмена и, в частности, погружные теплообменники и теплообменники типа «труба в трубе». Рассмотрены преимущества и недостатки данных теплообменников.

Для проведения расчётов были определены свойства ментола и тимола. Поиск информации позволил ознакомиться с промышленными методами получения данных органических соединений. По результатам этого поиска можно сказать, что только около 30% тимола и 40% ментола получают экстракцией из природного сырья. Остальной объём производства приходится на предприятия органического синтеза.

В ходе работы были проведены расчёты для конструирования нестандартного теплообменного оборудования для процесса дефлегмации тимольной ректификационной колонны. Был рассчитан теплообменник-конденсатор погружного типа, в трубное пространство которого подаются пары с верха ректификационной колонны. Обеспечивающим теплоносителем в конденсаторе является вода при температуре кипения. Охлаждение смеси происходит в результате передачи тепла от конденсирующегося пара к образующемуся водяному пару. В качестве теплообменника-холодильника был выбран теплообменный аппарат типа «труба в трубе».

Были проведены аналогичные расчёты для разработки теплообменного оборудования для процесса дефлегмации ментольной ректификационной колонны. Малое количество пара, отбираемого с верха колонны, привело к

уменьшению размеров и конденсатора, и холодильника. По результатам расчётов были построены чертежи теплообменных устройств.

На основании имеющихся данных из источников были выбраны электронагреватели, обеспечивающие необходимый тепловой режим в кубах колонн.

Для защиты аппаратуры от потерь теплоты в окружающую среду, а также в соответствии с техникой безопасной эксплуатации рассмотрена тепловая изоляция, в качестве которой рекомендовано использовать термокраску с вакуумированными микросферами типа «Астратек». Альтернативой может служить минеральная вата с металлизированной плёнкой.

По итогам экономического расчёта сделан вывод, что производство и использование разработанного теплообменного оборудования в рассматриваемых процессах является более выгодным, минимум в 7 раз, решением, чем использование известных аналогов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Павлова, А. В. Изучение производных природных монотерпеноидов в качестве основы для создания высокоэффективных противопаркинсонических и анальгетических лекарственных средств: дис. ... д. б. н. / А. В. Павлова. – Новосибирск, 2021. – 292 с.
2. Химическая энциклопедия. В 5 т. Т. 4. Полимерные-Трипсин / под. ред. Н. С. Зефирова. – М.: Большая Российская энцикл., 1995. – 639 с.
3. Борисов, Г. С. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов и др.; под ред. Ю. И. Дытнерского, – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
4. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: в 2 т. / Н.И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 384 с.
5. Иоффе, И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для студентов техникумов / И. Л. Иоффе – Л.: Химия, 1991. – 352 с., ил.
6. Лазурьевский, Г. В. Практические работы по химии природных соединений / Г. В. Лазурьевский, И. В. Терентьева, А. А. Шамшурин. – 2-е изд., – М.: Высш. школа, 1966. – 355 с.
7. Ментол. Химия соединений [Электронный ресурс]. – URL <https://chemiday.com/ru/encyclopedia/c10h20o> (дата обращения 14.05.2023). Загл. с экрана. – Яз. рус.
8. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романов П.Г., А. А. Носков. – Л.: Химия, 1970. – 624с.