

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Моделирование адсорбера очистки бутена для работы в составе
тренажерного комплекса установки производства полипропилена**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 252 группы

направления 18.04.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Толстова Никиты Сергеевича

Научный руководитель

 доцент, к.х.н.
должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

 И.А. Никифоров
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

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

подпись, дата

 Р.И. Кузьмина
инициалы, фамилия

Саратов 2020 год

Введение. Выпускная квалификационная работа посвящена созданию математической модели адсорбера очистки 1-бутена, с последующим включением ее в тренажер обучения операторов, производства компании АО «ИНИУС».

Актуальность работы. В связи с требованиями федеральных правил промышленной безопасности, при обучения операторов опасных химических производств, использовать компьютерные тренажерные комплексы, которые должны адекватно описывать процессы, протекающие в химических аппаратах, появилась необходимость разработки математических моделей. Так как без математических моделей, работа компьютерных тренажерных комплексов невозможна.

При создание компьютерных тренажерных комплексов ставят следующие цели:

- повышение безопасности и эффективности управления химико-технологическим процессом за счет приобретения технологическим персоналом практических навыков;
- приобретение персоналом навыков безопасного управления технологическими процессами в штатных и переходных режимах;
- проведение периодического контроля и тестирование уровня знаний и навыков ведения технологического процесса и локализации аварийных ситуаций;
- повышения качества подготовки рабочего и инженерно-технологического персонала, занятого ведением технологическим процессом и эксплуатации оборудования;
- снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций по причине проявления человеческого фактора.

Целью работы являлось разработка математической модели адсорбера очистки 1-бутена записанной с помощью компьютерного кода, для включения ее в состав тренажерного комплекса производства компании ЗАО «ИНИУС».

При разработки модели были поставлены следующие задачи:

- определить характеристики объекта исследования, которые будут описаны в математической модели;
- провести математическое моделирование адсорбера;
- преобразовать математическую модель в компьютерную, с помощью языка программирования JavaScript;
- провести испытания и определить точность воспроизведения химико-технологического процесса.

Магистерская работа Толстова Никиты Сергеевича «Моделирование адсорбера очистки бутена для работы в составе тренажерного комплекса установки производства полипропилена» представлена на 55 страницах и состоит из трех глав:

Глава 1 – Литературный обзор.

Глава 2 – Объект исследования.

Глава 3 – Расчетная часть.

Основное содержание работы. В первой главе выпускной квалификационной работы выполнен обзор научно-технической литературы, патентов и статей по адсорбентам, их видам, области применения и по строению адсорберов применяемых в современной промышленности.

В современной промышленности, в качестве адсорбентов для очистки и осушки углеводородов наибольшее распространение получили следующие группы адсорбентов:

1. Цеолиты - получили широкое распространение в процессах адсорбции, благодаря тому, что обладают наибольшей адсорбционной способностью по парам полярных веществ и достаточно высокой механической прочностью, они могут работать при широком диапазоне давлений и температур.
2. Активный оксид алюминия - получили широкое распространение благодаря низкой себестоимости, высокой устойчивости в циклах адсорбция-регенерация, достаточно большой механической прочностью и способности снижать точку росы до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже.
3. Активированные угли – получили свое широкое распространение благодаря их дешевизне. Высокой поглотительной способности и неприхотливости.

В аппаратном решении для проведения процессов адсорбции применяют следующие виды аппаратов:

Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента – это самый распространенный вид в промышленности. К их достоинствам можно отнести: простота исполнения, относительная простота ведения технологического процесса. К недостаткам данной технологии можно отнести неравномерный износ адсорбента и цикличность работы.

Другим видом адсорберов являются аппараты с псевдооживленным и плотно движущимся слоем адсорбента. К достоинствам данной технологии можно отнести:

1. Высокую глубину и равномерность использования адсорбента;
2. Высокую глубину очистки;
3. Непрерывность процесса.

К недостаткам данной технологии можно отнести:

1. Сильное механическое разрушение адсорбента как в аппаратах с движущимся слоем, так и в адсорберах с псевдооживленным слоем. Для работы в таких аппаратах сорбент должен обладать повышенной механической прочностью;

2. Так же к недостаткам относится более сложное аппаратное исполнение.

Во **второй главе** выпускной квалификационной работы описывается объект исследования. Объектом исследования является адсорбер очистки бутена для осушки и удаления кислых газов из потока 1-бутена, работающей в составе секции очистки бутена.

Секция очистки бутена входящая в комплекс глубокой переработки

углеводородного сырья в полиолефины относится к объектам второго класса опасности. Согласно федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» правила промышленной безопасности требуют использования для обучения операторов компьютерных тренажерных комплексов. В связи с данным законом, для разработки модели входящей в состав тренажера, был выбран адсорбер очистки бутена, работающей в составе секции.

В нее входит – колонна отпарки легких фракций, ребойлер, электроподогреватель, конденсатора паров, водяной холодильник, адсорбера осушки, колонна удаления арсина и ресивер.

Данная секция предназначена для удаления примесей бутадиена, пропана, водорода, арсина, углекислого газа и воды из 1-бутена для последующего использования 1-бутена в производстве термополимеров. Производительность данной секции по продуктовому бутену составляет 25 тон в час.

Адсорбер очистки бутена – это аппарат высоко давления, вертикального типа, периодического действия, имеющий штуцеры для подвода и отвода обрабатываемого сжиженного бутена, поток бутен проходит через слой адсорбента снизу вверх. Так же имеются штуцера соединенные с линией азота регенерации.

Процесс адсорбции происходит при давлении в 0.55 МПа.(изб.) и температуре 40 °С.

Регенерации адсорбента проводят при давлении 0.35 МПа.(изб.) и температуре 200 °С.

Весь цикл работы адсорбера состоит из шести стадий:

1. Стадия набора давления
2. Адсорбции
3. Стадия сброса давления
4. Нагрев
5. Стадия регенерации
6. Охлаждения

Третья глава посвящена расчетной части выпускной квалификационной работы. В ней описаны последовательность действий при составлении математической модели.

Первоначально были определены исходные данные, такие характеристики входного потока как, его состав, давление, температура. Так же были определены характеристики самого адсорбера: высота, диаметр, объем, высота и состав слоя адсорбента.

При разработке математической модели были введены некоторые допущения:

- Первое допущение – слой адсорбента представлен системой одинаковых частей – ступеней, причем каждая ступень состоит из двух одинаковых частей: жидкая фаза и твердый адсорбент.

Объем жидкой части любой из ступеней одинаков и равен V_g , а объем твердой фазы любой из ступеней одинаков и равен V_s , число ступеней равно n . Сумма всех объемов твердой фазы по всем ступеням равна

общему количеству вещества адсорбента в слое. Объем жидкой смеси, подлежащей разделению равен $F(м^3)$, концентрация адсорбтива в разделяемом объеме равна c_0 (моль/ $м^3$). Концентрации сорбирующихся компонентов в жидкой и твердой фазах на i -ой ступени соответственно равны c_g^i и c_s^i .

- Второе допущение - каждое вещество смеси адсорбируется на отдельном слое адсорбента.
- Третье допущение - перепад давления по длине слоя отсутствует.

В данной главе выведены и записаны в дифференциальной и интегральной форме уравнения теплового и материального баланса.

Разработанная и записанная математическая модель была преобразована в компьютерную, с помощью языка программирования JavaScript.

Записанную на языке программирования JavaScript математическую модель адсорбера очистки 1-бутена, включили в универсальный тренажерный комплекс, компании ЗАО «ИНИУС» и произвели запуск модели. Воспроизведя регламентный режим установки. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1.

| Компоненты | Концентрация выходного потока (с установки) | Концентрация выходного потока (расчитаного моделью) | Погрешность (%) |
|------------------|---|---|-----------------|
| 1-бутен | 99 масс. % | 99 масс. % | 0 |
| Водород | 10 ppmw | 11 ppmw | 10 |
| 2- бутен | 0.996894 масс. % | 0.997049 масс. % | 0.0155 |
| Ацетилен | 5 ppmw | 5 ppmw | 0 |
| Пропадиен | 5 ppmw | 5 ppmw | 0 |
| Кислород | 1 ppmw | 1 ppmw | 0 |
| Оксид углерода | 1 ppmw | 1 ppmw | 0 |
| Диоксид углерода | 2 ppmw | 2.1 ppmw | 5 |

Продолжение таблицы 1.

| | | | |
|------------------------------|------------|------------|-------|
| Метанол | 2 ppmw | 1.5 ppmw | 25 |
| Серосодержащи и компанеты | 1 ppmw | 2 ppmw | -100 |
| Вода | 3 ppmw | 2.85 ppmw | 5 |
| Амиак | 1 ppmw | 2 ppmw | -100 |
| Фосфин | 0.03 ppmw | 0.03 ppmw | 0 |
| Арсин | 0.03 ppmw | 0.03 ppmw | 0 |
| Расход | 25500 кг/ч | 25300 кг/ч | 0.78 |
| Давление | 640 кПа | 620 кПа | 3.125 |
| Температура | 40 °С | 41 °С | 2.5 |

При сравнение с исходными данными, определяется погрешность, составляющая, по основным параметрам не более пяти процентов. Но, к сожалению, по компонентам, имеющим слишком малую концентрацию, погрешность составила в некоторых случаях 100%, это объясняется тем, что обработка, столь малых значений, довольно таки трудная задача, из-за того что зачастую они находятся в пределах погрешности. Решение данной проблемы требует разработки новых методов расчета для повышения точности моделирования.

На основе данных приведенных в таблице 3.3, можно сказать, что модель является достаточной с точки зрения поставленной задачи. Защищенной от абсурдных ответов.

Полученные данные позволяют использовать описанную в данной работе математическую модель адсорбера очистки 1-бутена для включения ее в тренажерный комплекс, для обучения операторов опасных химических производств.

Так же, необходимо расширять и усложнять данную модель, для возможности моделирования других видов адсорберов.

Одним из актуальных дополнений данной модели, является включение математического описания процессов хемосорбции протекающих на поверхности адсорбента.

По окончании тестирования модели, для нее был создан свой графический техноблок и включен в составе тренажерного комплекса установки производства полипропилена, компании АО «ИНИУС».

Заключение. В ходе выполнения работы была получена модель осушителя 1-бутена, работающая в составе тренажерного комплекса, разработанного АО ИНИУС, установки производства полипропилена. Данная модель, была испытана, совместно с технологами установки, при четырех режимах работы:

1. Ведение нормального технологического процесса;
2. Проведение пусконаладочных операций;
3. Проведение нормального останова установки;
4. Выполнения процедур при аварийных ситуациях.

Во время работы во всех четырех режимах, модель дает адекватный результат, соответствующие реальной установке. При работе в регламентном режиме точность расчета составляет 95%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кельцев, Н. В. Основы адсорбционной техники / Н. В. Кельцев. М.: Химия, 1984. 512 с.
2. Фенелонов, В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов / В. Б. Фенелонов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 442 с.
3. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: учеб. пособие: в 2 ч. / Под ред. В. Б. Кольцова. М.: МИЭТ, 2000. 112 с.

4. Комаров, В. С. Адсорбенты и их свойства / В. С. Комаров. Минск: Наука и техника, 1977. 248 с.
5. Введение в физику поверхности / К. Оура [и др]. М.: Наука, 2006. 490 с.
6. Карнаухов, А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов / А. П. Карнаухов. Н.: Наука. 1999. 470 с.
7. Минакова, Т. С. Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел: учебное пособие / Т.С. Минакова. Томск: Издательство Томского университета, 2007. 279 с.
8. Пат. 2705065 Российская Федерация. Способ адсорбционной осушки и очистки природного газа / Р.В. Дарбинян, Ю.А. Обмелюхин, В.А. Передельский, Е.А. Спиридович. Заявка № 2000107466/04 от 27.03.2000. Оpubл. 27.11.2001.
9. Пат. 2073554 Российская Федерация. Способ адсорбционной осушки природного газа / В.Ф. Зайнулин, А.М. Цибулевский, Н.В. Михайлов, Р.М. Минигулов, З.С. Салихов. Заявка № 93034332/26 от 01.07.1993. Оpubл. 20.02.1997.
10. Березкин, В.И. Введение в физическую адсорбцию и технологию углеродных адсорбентов. / В. И. Березкин. СПб.: Виктория плюс, 2013. 409 с.
11. Пат. 2558590 Российская Федерация. Способ получения углеродного сорбента из углеродсодержащего материала / Е.И. Андрейков, О.В. Красникова, М.И. Стуков [и др]. Заявка № 2014112446/05 от 31.03.2014. Оpubл. 10.08.2015.
12. Пат. 2578147 Российская Федерация. Способ получения углеродного молекулярного сита / Е.И. Зорина, Е.А. Фарберова. Заявка № 2015104954/05 от 13.02.2015. Оpubл. 20.03.2016 Бюл. № 8.
13. Пат. 2112582 Российская Федерация. Фильтрующий материал для очистки жидких и газообразных веществ, способ его получения, изделия из него и устройства с этим фильтрующим материалом / В.А. Васильев, В.Н. Клевцов, П.П. Кондратюк [и др]. Заявка № 95103710 / 25 от 14.03.1995. Оpubл. 10.06.1998.

14. Пат. 2187362 Российская Федерация. Способ получения серосодержащего углеродного сорбента / Л.А. Земскова, В.В. Черные, В.А. Авраменко, Е.В. Каплун. Заявка № 2001110548/12 от 17.04.2001. Оpubл. 20.08.2002.
15. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство. Учеб. Пособие для вузов / Под ред. акад. Б. П. Никольского. Л.: Химия, 1987. 880 с.
16. Пат. 2682525 Российская Федерация. Адсорбент на основе оксида алюминия, содержащий натрия и легкого щелочного компонента для улавливания кислых молекул / Карэн Бартеле, Арно Бодо, Лелиа Марк-Антуан, Оливье Дюкре. Заявка № 2017104647 от 22.06.2015. Оpubл. 28.08.2018 Бюл. № 25.
17. Кубасов, А.А. Цеолиты — кипящие камни / А.А. Кубасаов // Соросовский образовательный журнал. 1988. Т. 7. С. 70–76.
18. Брек, Д. Цеолитовые молекулярные сита / Д. Брек, пер. с англ. А.Л. Клячко, И.В. Мишина, В.И. Якерсона. М.: Мир. 1976. 781 с.
19. Величкина, Л.М. Синтез, физико-химические и каталитические свойства СВК-цеолитов / Л.М. Величкина, Л.Л. Коробицына, А.В. Восмерилов, В.И. Радомская // Журнал Физической химии. 2007. Т. 81, № 10. С. 1814–1819.
20. Коробицына, Л.Л. Синтез, кислотные и каталитические свойства высококремнеземных цеолитов типа ZSM в процессах получения углеводов: автореф. дис. ... канд. хим. наук. / Л.Л. Коробицына 1998.
21. Пат. 2627849 Российская Федерация. Способ разделения газового потока на отдельные компоненты или фракции / И.А. Минушкин. Заявка № 2016130109 от 22.07.2016. Оpubл. 14.08.2017 Бюл. № 23.
22. Пат. 2648074 Российская Федерация. Селективация адсорбентов для разделения газов / Хэрри У. Декман, Питер И. Равикович, Преети Камакоти, Крис Юн. Заявка № 2015123298 от 08.11.2013. Оpubл. : 22.03.2018 Бюл. № 9.
23. Пат. 2451538 Российская Федерация. Способ очистки сжиженных углеводородных газов / М.В. Попов, А.М. Фридман, С.Н. Шевкунов, Р.М. Минигулов. Заявка № 2010146406/05 от 15.11.2010. Оpubл. 27.05.2012 Бюл. № 15.

- 24.Нестеров, Ю. В. Иониты и ионообмен. Сорбционная технология при добыче урана и других металлов методом подземного выщелачивания / Ю. В. Нестеров. Москва: ОАО «Атомредметзолото» 2007. 480 с.
- 25.Пат. 2217404 Российская Федерация. Способ осушки бензола / В.С. Варакосов, В.П. Эндюськин, Ю.А. Высоцкий, А.А. Чугунов, И.В. Глушков. Заявка № 2002109330/04 от 10.04.2002. Оpubл. 27.11.2003.
- 26.Пат. 2088532 Российская Федерация. Способ извлечения платины и рения из отработанных катализаторов на основе минеральных оксидов / А.С. Белый, Е.В. Затолокина, Н.М. Хабибисламова, Д.М. Радько, В.К. Дуплякин. Заявка № 93053714/25 от 29.11.1993. Оpubл. 27.08.1997.
- 27.Хейфиц, Л.И. Избранные главы химической технологии. Элементы теории процессов разделения газовых смесей / Л.И. Хейфиц, В.Л. Зеленко, Ю.В. Павлов. М.: Изд-во Химфака МГУ, 2004. 69 с.