

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Модернизация ректификационной колонны разделения этан-
пропановой фракции**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки _____ 4 _____ курса _____ 431 группы _____

направления _____ 18.03.01 «Химическая технология» _____

код и наименование направления, специальности

Института химии

Рязановой Полины Евгеньевны

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 2025 год

ВВЕДЕНИЕ

Развитие нефтехимии привело к повышенному спросу на отдельные фракции углеводородов, которые индивидуально используются в промышленности. Современные нефтеперерабатывающие предприятия предъявляют высокие требования к эффективности процессов разделения углеводородных газов, потому что от этого зависит экономическая рентабельность производства. Ключевую роль в промышленности играют газофракционирующие установки (ГФУ). Они необходимы для получения ценных продуктов и разделения газа на тонкие фракции, которые всегда являются наиболее выгодными и служат сырьем для синтеза.

Оптимизация технологического процесса актуальна всегда, она никогда не бывает исчерпывающей. Благодаря этому можно улучшить надежность работы установки, увеличить выход целевых продуктов, повысить энергоэффективность и обеспечить соответствие экологическим требованиям. Новые технологии сначала появляются в виде программного обеспечения, а затем внедряются в производство. Одной из программ, предназначенной для моделирования химико-технологических процессов, является Aspen HYSYS.

Используя современные достижения химической технологии, реализованные в виде программного обеспечения, необходимо разработать модель, с помощью которой мы оптимизируем процесс и исследуем новые возможности по модернизации производства.

Цель бакалаврской работы заключается в расчете способов модернизации ректификационной колонны разделения этан-пропановой фракции для увеличения прибыли и уменьшения затрат и оценке результатов модернизации.

Бакалаврская работа изложена на 45 страницах. Состоит из введения, двух глав и заключения. Список использованных источников включает 30 наименований. Текст сопровождается 12 таблицами и 11 рисунками.

Первая глава – «Основы газофракционирования» – состоит из восьми подразделов:

- 1.1 Разделение углеводородных газов на компоненты.
- 1.2 Сырьё и продукты газофракционирования.
- 1.3 Подготовка газов к переработке.
- 1.4 Классификация технологий разделения.
- 1.5 Ректификационные установки.
- 1.6 Схема центральной газофракционирующей установки.
- 1.7 Способы повышения эффективности газоразделения.
- 1.8 Моделирование установок.

Вторая глава – «Экспериментальная часть» – из шести подразделов:

- 2.1 Колонна разделения этан-пропановой фракции.
- 2.2 Исходные данные для моделирования колонны разделения.
- 2.3 Разработка модели.
- 2.4 Проверка ректификационной колонны на адекватность.
- 2.5 Оценка влияния параметров на эффективность и производительность ректификационной колонны.
- 2.6 Модернизация ректификационной колонны.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1.1 Сырье и продукты газофракционирования

Газофракционирование – это технологический процесс, назначением которого является чёткое разделение смесей газообразных углеводородов на индивидуальные компоненты в ректификационных колоннах [1].

Широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ) — это смесь газов, которую получают при переработке попутного нефтяного газа (ПНГ) или на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ). В её состав входят углеводороды от этана до пентана и выше, а также примеси (азот и сероводород).

Разделение ШФЛУ на индивидуальные компоненты необходимо для:

- повышения ценности компонентов (разделение позволяет продавать каждый углеводород по отдельности);
- удаления вредных примесей (меркаптаны, сероводород вызывают коррозию оборудования);
- соответствия экологическим нормам (неочищенный ШФЛУ дает вредные выбросы при сжигании).

Нормами установлены три марки широкой фракции углеводородов: А, Б и В, которые различаются по составу: самый легкий – А и утяжеляется к В. В составе ШФЛУ свыше 35-40 % бутанов и пентанов и до 50 % и более тяжелых углеводородов C_{6+} .

Наибольшая эффективность переработки нефти может быть достигнута, когда все индивидуальные компоненты используются по назначению.

Метан применяется для сжигания в печах на всех установках нефтеперерабатывающего завода, а также в заводских печах для получения перегретого водяного пара. Также он является сырьем для синтеза водорода, метанола, аммиака, ацетилена, синтез-газа, хлорметанов и других ценных продуктов.

Этан применяется в единственной области, ради которой его и отделяют в нефтепереработке – это использование в качестве химического сырья для производства этилена.

Пропан обладает некоторыми уникальными свойствами, которые полезны для многих областей применения. Он может быть сжижен при небольших температурах и давлениях, благодаря чему топливо удобно транспортировать, особенно в автоцистернах. При обычных температурах пропан легко испаряется, так что его можно сжигать в газовых плитах и домашних печах. Еще он является сырьем для синтеза пропилена, который далее идет на полимеризацию.

н-Бутан практически полностью используется как компонент автомобильного бензина. Благодаря высокой летучести бутан применяется при запуске двигателей в холодную погоду, при этом он остается в бензине в растворенном виде и почти не испаряется. Еще некоторое количество н-бутана используется как химическое сырье для синтеза бутадиена (получение резины) или как топливо.

Изобутан почти полностью применяется как сырье для алкилирования. Иногда может быть добавлен как компонент при получении компаундированного автомобильного бензина.

Пентан используют в изомеризации для получения изопентана, который обладает высоким октановым числом и является ценной добавкой в бензин для снижения детонации и повышения качества топлива [2].

1.2 Процесс ректификации

Для разделения углеводородных смесей на различные фракции или отдельные индивидуальные компоненты используют такие методы, как:

- абсорбция;
- адсорбция;
- конденсация;
- ректификация.

Для разделения однородной смеси на составляющие ее индивидуальные компоненты применяют дистилляцию (простую перегонку) или ректификацию. Данные процессы основаны на различной летучести компонентов смеси в связи с различными температурами их кипения при одинаковом давлении.

Дистилляция позволяет осуществлять грубое разделение смеси на компоненты или провести ее очистку от нежелательных компонентов. А более полное разделение смеси на компоненты происходит при ректификации [3].

Ректификация – это диффузионный процесс разделения смесей взаимно растворимых компонентов, различающихся по температурам кипения, который осуществляется путем противоточного, многократного контактирования неравновесных паровой и жидкой фаз.

При проведении процессов однократного испарения не удастся достичь достаточно высокой степени разделения компонентов. При осуществлении многократного и постепенного испарения или конденсации можно обеспечить получение паровой или жидкой фаз с любой заданной концентрацией компонентов. Но выход фаз с такой концентрацией по сравнению с массой исходной смеси будет незначительным. Это значит, что проблема будет решена лишь качественно [4].

Процесс ректификации используют для получения продуктов с заданной концентрацией компонентов и высокими выходами. Он широко применяется в нефте- и газопереработке, химической, нефтехимической и других отраслях промышленности.

1.3 Схема центральной газофракционирующей установки

ЦГФУ применяется для глубокого разделения газовых смесей на индивидуальные углеводороды или узкие фракции. Они используются на крупных нефтеперерабатывающих заводах и на нефтехимических комплексах. В таких установках происходит финальная стадия переработки, в результате которой получают товарные продукты высокой чистоты.

Обе установки могут работать в единой технологической цепи. То есть сначала газ предварительно разделяется в АГФУ, а затем подается для глубокой переработки на ЦГФУ.

На центральной газофракционирующей установке широкая фракция легких углеводородов разделяется на следующие товарные фракции:

пропановую, изобутановую, нормального бутана, изопентановую, бензин газовый стабильный.

На рисунке 1 представлена технологическая схема центральной газоделиющей установки.

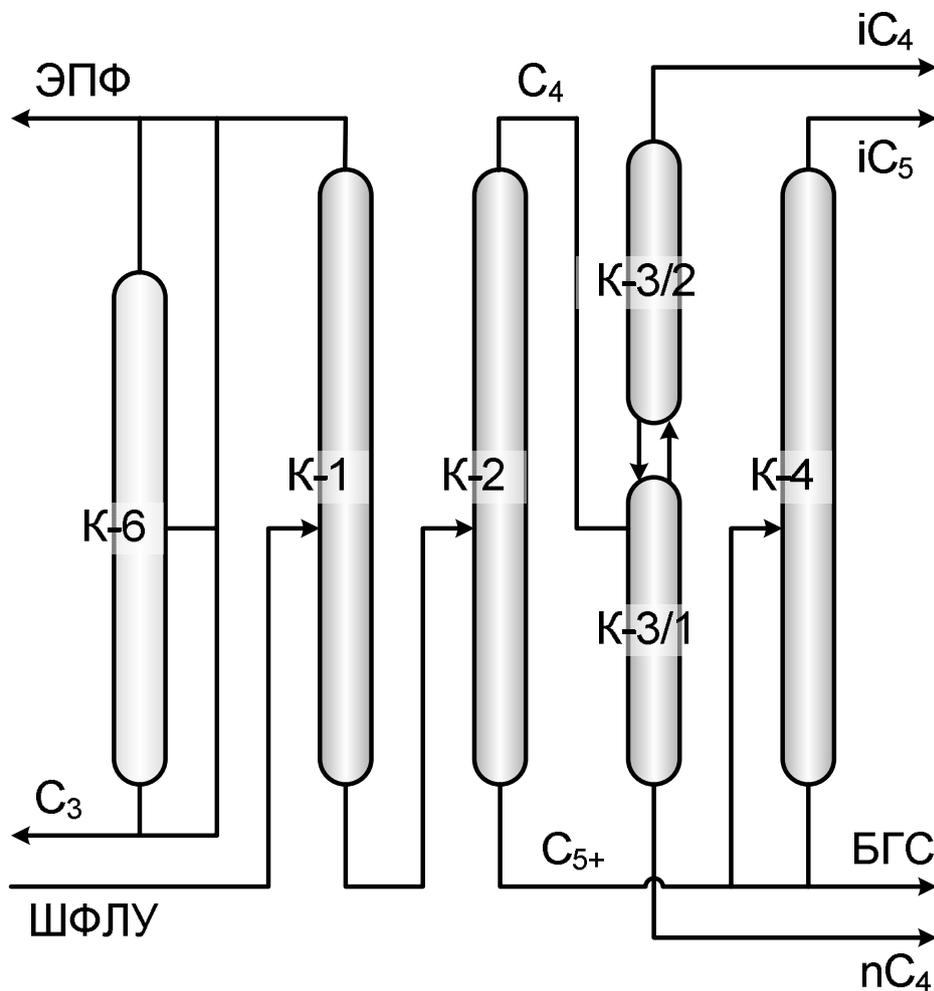


Рисунок 1 - Принципиальная схема ЦГФУ

где К-1 – колонна выделения этан-пропановой фракции; К-2 - колонна выделения изобутан-бутановой фракции; К-3/1 - и К-3/2 – колонны разделения изобутан-бутановой фракции; К-4 – колонна выделения изопентановой фракции; К-6 – колонна разделения этан-пропановой фракции.

В ректификационной колонне К-1 происходит фракционирование широкой фракции легких углеводородов на этан-пропановую фракцию (дистиллят), которая направляется на дальнейшее разделение в колонну К-6, где происходит выделение товарной пропановой фракции.

Кубовый остаток из колонны К-1 направляется в колонну К-2, в которой дистилятом отбирается изобутан-бутановая фракция. Дальнейшее разделение фракции происходит в ректификационных колоннах К-3/1 и К-3/2 с выделением товарных изобутана и н-бутана.

Кубовый остаток аппарата К-2 в виде фракции, содержащей углеводороды C_{5+} , переходит в колонну К-4. Дистилятом выделяется изопентановая фракция, а кубом колонны является газовый стабильный бензин [5].

1.4 Оптимизация параметров ректификационной колонны

Оптимальные параметры газоразделения зависят от состава смеси, но общие принципы (давление, температура, флегмовое число) позволяют повысить КПД колонны на 15–20%. Для максимального эффекта нужен индивидуальный расчет под конкретную смесь.

Температурный режим оказывает решающее воздействие на процесс разделения компонентов. Повышение температуры в кубе ректификационной колонны увеличивает скорость испарения легких фракций и улучшает массообменные характеристики. Но чрезмерное повышение температуры приводит к увеличению энергозатрат, термическому разложению тяжелых фракций и снижению селективности разделения. Оптимальный температурный режим должен поддерживаться в таком диапазоне, который обеспечит максимальную разницу в летучести разделяемых компонентов.

Давление в колонне регулируется в зависимости от требуемых температур продуктов. Низкое давление подходит для разделения легких фракций, при нем уменьшаются энергозатраты, так как снижается температура процесса. Высокое - улучшает конденсацию тяжелых компонентов, оно позволяет использовать недорогие хладагенты (вода, воздух), однако при этом растут энергозатраты.

Сложной задачей является выбор оптимального флегмового числа ректификационной колонны. Это объясняется тем, что флегмовое число определяет размеры аппарата, а также расходы теплоносителей (охлаждающей воды в дефлегматоре, греющего пара в кипятильнике). Следовательно, от его величины зависят капитальные и эксплуатационные затраты на ректификацию.

Эксплуатационные затраты, определяемые расходом теплоносителя, возрастают прямо пропорционально величине флегмового числа. С его увеличением улучшается качество разделения фракций и уменьшается необходимое число теоретических и действительных ступеней, следовательно, снижается рабочий объем колонны и капитальные затраты [6].

1.5 Моделирование установок

Реальный объект производства в сравнении с моделью сложен для анализа и менее информативен. Моделирование необходимо для того, чтобы научиться управлять процессом или объектом, определить наилучшие способы управления при заданных целях и критериях, чтобы прогнозировать последствия реализации заданных способов и форм воздействий на объект.

Основные требования, которые предъявляются к математическим моделям:

- адекватность (модель считается адекватной, если работает, как и реальная установка);
- универсальность (определяется в основном числом и составом входных и выходных параметров, учитываемых в модели);
- потенциальность (возможность получения новых знаний об исследуемом объекте с помощью применения модели);
- достаточная точность результатов;
- способность к совершенствованию модели без ее коренной переделки [7].

2 Экспериментальная часть

Этановая и пропановая фракции в качестве сырья для различных процессов (алкилирование, полимеризация, пиролиз) приобретают всё большую актуальность, поэтому важной задачей является максимизация выхода легких товарных углеводородов и улучшение качества получаемых фракций на установках газофракционирования.

На многих промышленных предприятиях достигается недостаточно четкое разделение легких углеводородов, которое приводит к их взаимному

присутствию во фракциях. Из-за отклонения от норм технических условий товарных углеводородов это ведет к ощутимым экономическим потерям [8].

Узел выделения этан-пропановой и пропановой фракций представляют наибольший интерес с точки зрения исследования возможностей оптимизации и модернизации технологической схемы, направленных на увеличение выхода товарного пропана с улучшением его качественных показателей и оценки возможности получения этановой фракции в соответствии с техническими условиями [9].

Во второй главе указывались исходные данные для моделирования ректификационной колонны разделения этан-пропановой фракции, спроектированная колонна проверялась на адекватность и было проведено исследование влияния параметров на эффективность разделения.

При увеличении флегмового числа массовая доля этана уменьшается, а массовая доля пропана возрастает. То есть количество целевого продукта растет, значит, возрастает эффективность разделения. При этом возрастает массовый расход пара, следовательно, снижается производительность ректификационной колонны.

При увеличении температуры сырья массовая доля этана возрастает, а массовая доля пропана уменьшается. Следовательно, эффективность разделения понижается. При этом понижается массовый расход пара, следовательно, увеличивается производительность ректификационной колонны.

Был проверен один из способов модернизации ректификационной колонны, который заключается в увеличении количества тарелок для улучшения эффективности разделения смеси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам выпускной квалификационной работы были сделаны следующие выводы:

1. Разработана математическая модель колонны разделения этан-пропановой фракции, которая была проверена на адекватность.

2. С применением разработанной модели проведен ряд экспериментов по исследованию влияния различных параметров на эффективность работы колонны. Установлено, что изменение флегмового числа от 4 до 8 дает увеличение выхода целевого продукта с 96,51 % до 98,33 %. При изменении температуры от 40 до 60 °С происходит уменьшение выхода целевого продукта с 97,44 % до 96,66 %.

3. Увеличение количества тарелок в колонне разделения этан-пропановой фракции не приводит к заметному улучшению качества продукции, то есть содержание меняется в пределах одной сотой процента. Колонна работает достаточно эффективно, так что увеличение тарелок не требуется.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ивашкина Е. Н. Технология переработки нефти и газа : учебное пособие / Е. Н. Ивашкина, Е. М. Юрьев, Н. И. Кривцова, Н. С. Белинская. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 172 с.
- 2 Леффлер У. Л. Переработка нефти / У. Л. Леффлер. – 2-е изд., пересмотренное. – М. : Олимп-Бизнес, 2004. – 224 с.
- 3 Евстафьев А.Г. Ректификационные установки / А.Г. Евстафьев. – М. : Изд-во машиностроительной литературы, 1963. 164 с.
- 4 Комиссаров Ю. А. Химическая технология: научные основы процессов ректификации. Ч. 2-я. / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент. – 2-е изд. – М. : Юрайт, – 2025. 677 с.
- 5 Александров И. А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке / И. А. Александров. – М. : Химия, – 1981. 352 с.
- 6 Литвинцев Ю. И. Влияние температуры ввода бинарной смеси на флегмовое число ректификационной колонны/ Ю. И. Литвинцев, В. В. Мануйлов // Сборник научных трудов ангарского государственного технического университета. – 2019. – Т. 1, № 16. С. 91-96.
- 7 Звонарев С. В. Основы математического моделирования : учебное пособие / С. В. Звонарев – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 112 с.
- 8 Пат. 145165U1 Российская Федерация. Установка разделения этан-пропановой фракции / А. Л. Литвиненко, А. О. Шеин, Г. Г. Тютюник и др. – Заявка № 2014111424/04 от 25.03.2014 ; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 25.
- 9 Воронов М. В. Совершенствование технологической схемы установки газофракционирования широкой фракции легких углеводородов/ М. В. Воронов, С. В. Попов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – Т. 1, № 10. С. 1-9.