

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

Технико-экономическое обоснование повышения степени разделения  
изобутан-бутановой фракции

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Яфарова Рамиля Руслановича

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**

В условиях нарастающего спроса на энергоносители и нефтехимическую продукцию, а также ограниченности природных ресурсов, особую актуальность приобретают технологии рационального и максимально полного извлечения ценных компонентов. Одним из ключевых направлений в этом контексте является газофракционирование — процесс, позволяющий эффективно выделять индивидуальные углеводороды из широкой фракции лёгких углеводородов (ШФЛУ).

Газофракционирующие установки (ГФУ) играют стратегическую роль в структуре нефтегазоперерабатывающих предприятий, обеспечивая разделение сложных многокомпонентных смесей на фракции, каждая из которых имеет конкретное промышленное назначение.

Целью работы является расчёт оптимального режима работы блока разделения изобутан-бутановой фракции для получения максимального количества фракции с максимальным качеством и нахождение вариантов работы блока для получения максимального экономического эффекта.

В связи с этим, при выполнении работы основными задачами были:

- Изучение методов разделения, и способы повышения их эффективности;
- Изучение структуры и функционала газофракционирующей установки;
- Нахождение оптимального режима работы блока разделения для получения максимального качества и максимальной выручки.

Бакалаврская работа изложена на 45 страниц, состоит из введения, двух глав и заключения. Список используемых источников включает 33 наименования. Текст сопровождается 11 таблицами и 13 рисунками.

Бакалаврская работа состоит из двух глав: «Литературный обзор» и «Экспериментальная часть».

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**1 Характеристика сырья и продуктов переработки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ).** Фракция широкая легких углеводородов марок А и Б (далее — ШФЛУ) применяется в качестве сырья для газотракционизирующих установок (ЦГФУ и ГФУ) с целью получения индивидуальных углеводородов, а также сырья для процессов пиролиза нефтехимических производств и заводов органического синтеза. На основе углеводородов, входящих в состав ШФЛУ, можно получить разнообразные химические продукты.

В состав ШФЛУ, как правило, входят углеводороды с числом атомов углерода от 2 до 5: этан ( $C_2H_6$ ), пропан ( $C_3H_8$ ), н-бутан и изобутан ( $C_4H_{10}$ ), пентан и его изомеры ( $C_5H_{12}$ ), а также незначительное количество более тяжелых фракций. Также возможно присутствие примесей — сероводорода, меркаптановой серы и других компонентов.

Продукты переработки ШФЛУ находят широкое применение в различных отраслях — от топливной до полимерной промышленности. Однако ШФЛУ — не конечный продукт, а промежуточное сырьё. Его основная ценность заключается в высокой степени конверсии в более полезные соединения.

**Этановая фракция** используется в качестве сырья для пиролиза при производстве этилена, а также как хладагент.

**Пропановая фракция** применяется как компонент сжиженного топлива для коммунально-бытового потребления и топлива для автотранспорта, в качестве модификатора процесса полимеризации в производстве полиэтилена высокого давления, растворителя в процессе деасфальтизации масел, хладагента, в качестве пиролизного сырья. Все большее значение в последнее время приобретают процессы получения пропилена каталитическим дегидрированием пропана.

**Фракция изобутановая** применяется в качестве сырья для процесса дегидрирования в производстве синтетического каучука, получения метилтретбутилового эфира и для других синтезов.

**Фракция н-бутана** служит сырьем для получения 1,3-бутадиена путем дегидрирования в производстве синтетического каучука, а также для пиролиза и других целей.

**Фракция изопентановая** применяется в качестве сырья для дегидрирования в изопрен в производстве синтетического каучука и как высокооктановый компонент автомобильного и авиационного бензинов.

**Фракцию нормального пентана** используют в качестве сырья для изомеризации с последующим дегидрированием в изопентены и изопрен в производстве синтетического каучука, для получения пентенов, амиловых спиртов и их эфиров, а также в качестве растворителя.

**Фракция гексановая** применяется в качестве компонента в производстве автомобильных бензинов или в качестве сырья нефтеперерабатывающих заводов.

**2 Классификация методов разделения.** Процессы разделения и очистки углеводородных смесей играют ключевую роль в переработке ШФЛУ, поскольку от их эффективности зависит качество и состав конечных продуктов. Для этих целей используется ряд методов, основанных на физических и физико-химических принципах (например, различии температур кипения, растворимости, способности к адсорбции, проницаемости и др.).

Среди наиболее часто применяемых технологий можно выделить:

- Ректификацию;
- Абсорбцию;
- Адсорбцию;
- Мембранные технологии;
- Криогенные технологии.

**Ректификация** — это диффузионный процесс разделения жидких однородных смесей, основанный на различной летучести компонентов. Она осуществляется путём многократного противоточного контакта паровой и жидкой фаз, при котором происходит перераспределение веществ между ними до достижения (или приближения) к равновесному состоянию. В результате взаимодействия пар обогащается более летучим компонентом — низкокипящим компонентом (НК), а жидкость — менее летучим — высококипящим компонентом (ВК). Таким образом, исходная смесь разделяется на дистиллят и кубовый остаток.

Сущность ректификации заключается в частичном испарении жидкой смеси, последующей конденсации паров и многократном повторении этих фазовых переходов. Такой подход позволяет получить дистиллят с заданной концентрацией НК.

Ректификация может проводиться в непрерывном и периодическом режиме.

**Абсорбцией** называют процесс избирательного поглощения компонентов из газовых или парогазовых смесей жидкими поглотителями — *абсорбентами*. Обратный процесс (выделение из абсорбента растворённых в нём газов) носит название **десорбции**.

В зависимости от природы взаимодействия между абсорбентом и поглощаемым компонентом абсорбцию принято классифицировать на:

- **физическая абсорбция** — растворение газа не сопровождается химической реакцией. Чаще всего является обратимым процессом;
- **Химическая абсорбция (хемосорбция)** — абсорбируемый компонент вступает в химическую реакцию в жидкой фазе с абсорбентом и образует новое химическое соединение. Чаще всего является необратимым процессом.

Под **адсорбцией** понимают процесс поглощения одного или нескольких компонентов из газовой смеси или раствора твердым веществом —

**адсорбентом.** Поглощаемое вещество, содержащееся в сплошной среде (газе, жидкости), носит название **адсорбтива** или **адсорбата**.

Процессы адсорбции избирательны и обычно обратимы. Благодаря их обратимости становится возможным выделение поглощенных веществ из адсорбента или проведения десорбции. Механизм процесса адсорбции отличается от механизма процесса абсорбции — извлечение веществ осуществляется твердым поглотителем.

Требования к промышленным адсорбентам:

- большая адсорбционная способность поглощать большие количества адсорбтива при малой его концентрации в газовой или жидкой фазах;
- высокая селективность — избирательное поглощение только одного компонента из смеси;
- химическая инертность по отношению к компонентам разделяемой смеси;
- высокая механическая прочность;
- способность к регенерации для последующего повторного использования;
- низкая стоимость.

Как и абсорбция, адсорбция может быть физической или химической по своей природе:

- **Физическая адсорбция** — возникает благодаря ван-дер-ваальсовым силам между молекулами различных фаз. Является обратимым процессом. Небольшой тепловой эффект (порядка 4–40 кДж/моль);
- **Химическая адсорбция (хемосорбция)** — связана с образованием прочных химических связей между молекулами адсорбата и атомами или молекулами поверхности (при этом часто возникают новые химические связи). Является необратимым процессом. Высокий тепловой эффект (сотни кДж/моль). Молекулы при

хемосорбции закрепляются на поверхности в определенных местах и не могут свободно перемещаться.

**Мембранные технологии** представляют собой отдельное направление в химической технологии, связанное с разделением газов и жидкостей с использованием полупроницаемых мембран. Эти процессы позволяют эффективно разделять различные компоненты смесей за счёт различной проницаемости мембран для разных веществ. Основным элементом таких систем является сама мембрана – селективный барьер, разделяющий среды и обеспечивающий направленный перенос вещества между ними.

В целом, мембранные технологии являются перспективным направлением в области разделения веществ, однако их эффективность и экономическая целесообразность сильно зависят от условий эксплуатации, качества мембран и требований к конечному продукту.

**Криогенные технологии** разделения обеспечивают эффективное извлечение и очистку газов на основе различий в их физических свойствах при крайне низких температурах. Принцип этой технологии основан на разной температуре кипения компонентов смеси, благодаря чему можно добиться их селективного сжижения и конденсации.

Несмотря на высокую стоимость, криогенные установки выгодно отличаются безопасностью, эффективностью и простотой эксплуатации. Их ключевое преимущество — получение продуктов высокой чистоты (до 1 ppb), что недостижимо для большинства адсорбционных систем. При длительной работе они экономически оправданы за счёт низкого энергопотребления и высокой надёжности, обусловленной отсутствием подвижных и изнашиваемых элементов.

**3 Функциональное назначение и структура ГФУ.** На газо- и нефтехимических предприятиях процесс разделения углеводородных газов осуществляется на газофракционирующих установках (ГФУ) или центральных газофракционирующих установках (ЦГФУ). Основная цель газофракционирования заключается в выделении из углеводородной смеси

отдельных компонентов с высокой степенью чистоты. Перед подачей на установку газ подвергается предварительной очистке от сероводорода, меркаптанов, диоксида углерода и осушается.

ГФУ работают по принципу ректификации, где последовательное разделение компонентов осуществляется в системе последовательно соединенных колонн, функционирующих под избыточным давлением (от 0,5 до 3 МПа). Процесс требует высокой селективности при разделении компонентов с близкими температурами кипения, которая достигается за счет большого количества теоретических тарелок и соответствующего флегмового числа. При этом давление и температура внутри колонн варьируются в зависимости от требуемых условий конденсации и состава орошения, а для эффективного разделения предпочтительнее делить сырье на фракции с близкими мольными расходами.

Однако ГФУ не пригодны при переработке газов с высоким содержанием метана (например, газов термического крекинга или коксования), поскольку в емкости орошения колонны-деэтанизатора из-за высокого парциального давления невозможно достичь даже частичной конденсации. В связи с этим в технологическую схему вводится узел предварительного отделения метан-этановой фракции с использованием абсорбента, что позволяет получить **абсорбционно-газофракционирующую установку (АГФУ)**. Применение фракционирующего абсорбера (деэтанизатора) позволяет одновременно осуществлять абсорбцию С<sub>3</sub>-компонентов и десорбцию сухого газа.

Кроме того, в нашей стране существуют крупные газофракционирующие установки, которые называют **центральными газофракционирующими установками (ЦГФУ)**, в состав которых входит набор колонн с выделением углеводородных фракций С<sub>3</sub>, изо-С<sub>4</sub>, н-С<sub>4</sub>, изо-С<sub>5</sub> и н-С<sub>5</sub>.

**4 Повышение эффективности процессов разделения.** Традиционные методы разделения — адсорбция, экстракция, ректификация и др. — широко

применяются в промышленности, но не всегда обеспечивают необходимую эффективность. Высокие энергозатраты, большой расход реагентов, низкая селективность и сложности масштабирования особенно ощутимы при работе с трудноразделимыми смесями и при необходимости получения высокочистых продуктов. Это требует пересмотра существующих решений и внедрения более совершенных технологий.

Сегодня особую актуальность приобретает поиск новых технических подходов к разделению, позволяющих повысить производительность, снизить ресурсопотребление и улучшить экологические показатели. Решения включают как оптимизацию существующих процессов, так и разработку новых.

Одним из эффективных подходов является использование математического моделирования для подбора оптимальных режимов работы оборудования, что позволяет повысить его эффективность без изменений конструкции. Также активно внедряются инженерные улучшения: модернизация колонн с установкой теплообменных элементов и завихрителей, усовершенствование конструкции тарелок для интенсификации массообмена, а также замена контактных устройств — например, переход от колпачковых к клапанным тарелкам, что обеспечивает рост выхода продукта и снижение себестоимости.

Дополнительный эффект достигается при установке более эффективных теплообменников (например, пластинчатых вместо кожухотрубчатых) и замене теплоносителя на внутренние потоки, что позволяет отказаться от внешних источников тепла и существенно сократить эксплуатационные расходы.

В некоторых случаях повышение эффективности достигается за счёт внедрения новых колонн, как, например, в проекте по выделению изопентана, где, несмотря на рост капитальных затрат, прибыль увеличилась более чем на 30 % за счёт реализации продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Таким образом, улучшение процессов разделения возможно за счёт комплексного подхода, включающего технологическую оптимизацию, конструктивные доработки и экономически обоснованные инновации.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведённый анализ научной и технической литературы подтвердил, что широкая фракция лёгких углеводородов (ШФЛУ) является ценным сырьем для получения индивидуальных компонентов. Изучение ее компонентного состава и направлений переработки позволило выделить основные фракции и определить область их применения.

Также были рассмотрены ключевые методы разделения, среди которых наибольшее значение имеют ректификация, абсорбция, адсорбция, мембранные и криогенные технологии. Особое внимание уделено газофракционирующим установкам, обеспечивающим высокую степень разделения компонентов.

Кроме того, обозначена необходимость дальнейшего совершенствования существующих технологий: оптимизация оборудования, внедрение инженерных решений и использование математического моделирования.