

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ КОЛОННЫ ОТБЕНЗИНИВАНИЯ
НЕФТИ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента _____ 4 _____ курса _____ 431 группы _____

направления _____ 18.03.01 «Химическая технология» _____

код и наименование направления, специальности

Института химии

Заречного Андрея 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 2025

ВВЕДЕНИЕ

Первичная переработка нефти является важной частью в глобальной нефтеперерабатывающей отрасли. Технологические установки первичной переработки служат фундаментом любого нефтеперерабатывающего завода, поскольку именно от их работы зависит качество получаемых топливных компонентов и сырья для последующих стадий переработки.

Эффективность работы первичных установок оценивается по таким параметрам как степень извлечения фракций в соответствии с их потенциальным содержанием в нефти и качеству получаемых нефтепродуктов.

Эти показатели напрямую зависят от технологического режима и эффективности оборудования. В связи с этим особую актуальность приобретает модернизация устаревших установок первичной переработки нефти, которая включает:

1. Повышение эффективности работы оборудования
2. Совершенствование технологических процессов
3. Замену устаревшего оборудования и его компонентов

Существующие проблемы в работе большинства установок связаны с недостаточной четкостью процесса ректификации.

Для решения данных проблем необходима оптимизация схем отдельных технологических узлов, рациональное использование энергетических потоков, а также разработка и внедрение более эффективных контактных устройств.

Таким образом, совершенствование установок первичной перегонки нефти остается одной из приоритетных задач современной нефтеперерабатывающей промышленности.

В настоящее время прогресс в области нефтехимической промышленности и переработки нефти неразрывно связан с использованием различных методов моделирования. Эти методы помогают совершенствовать существующие технологии и оптимизировать процессы переработки углеводородного сырья. Ключевую роль в этом процессе играет

математическое моделирование, которое включает создание специализированных моделей для фракционирующих колонн. Благодаря такому подходу удастся значительно улучшить показатели первичной переработки нефти и повысить общую эффективность производственных процессов.

Целью бакалаврской работы является отработка методики оптимизации и модернизации блока атмосферной перегонки нефти, используя прикладное программное обеспечение ориентируясь на технологический регламент, предложить способы модернизации колонны для интенсификации разделения фракций, доказать их эффективность.

Задачи моделирования:

1. Провести анализ существующей литературы по вопросам модернизации ректификационных колонн;
2. Разработать математическую модель узла колонны К-1 блока атмосферной перегонки нефти установки с использованием современного прикладного программного обеспечения, ориентируясь на технологический регламент;
3. Проверить разработанную математическую модель на адекватность и определить рабочие параметры (температуры, давления, флегмового числа).

1. Литературный обзор

Ректификация – это процесс многократного испарения и конденсации, в ходе которого исходная смесь разделяется на 2 или более компонентов. Ректификационная колонна (колонна фракционирования) – цилиндрический вертикальный аппарат, оснащенный внутренними тепло- и массообменными устройствами, предназначенный для разделения двухкомпонентных или многокомпонентных жидких смесей на фракции, каждая из которых содержит вещества с близкой температурой кипения.

Нефть состоит из множества компонентов – фракций, свойства и область применения которых различны. Первичные процессы нефтеперерабатывающего производства позволяют выделять отдельные фракции, тем самым подготавливая сырье для дальнейшего производства таких товарных продуктов как бензин, дизельное топливо, керосин и многих других.

Процесс ректификации может быть осуществлен только для смесей с различными температурами кипения для возможности процесса диффузионного разделения. Для этого жидкость движется сверху вниз, а пар движется снизу вверх, чтобы обеспечить наилучший контакт и взаимодействие фаз. В колонне пары перемещаются вверх от пластины к пластине из-за разницы давлений в нижней и в верхней части колонны. Чтобы процесс ректификации был возможен, температура нефти должна быть ниже температуры подаваемого пара. Жидкость стекает по тарелкам и сливным устройствам под действием силы тяжести. Процесс ректификации может быть осуществлен только для смесей с различными температурами кипения для возможности процесса диффузионного разделения.

Эффективность ректификационной колонны зависит от множества факторов, включая конструкцию колонны, режим работы, свойства сырья и качество фракционирования. Основными методами повышения эффективности являются:

1. Оптимизация конструкции колонны (улучшение контактных устройств (тарелок или насадки), увеличение числа теоретических тарелок, улучшение распределения потоков);

2. Оптимизация технологического режима (регулировка флегмового числа). Увеличение флегмового числа улучшает чёткость разделения, но повышает энергозатраты., оптимальный температурный профиль, давление в колонне и т.д.;

3. Улучшение качества сырья и энергоэффективности (предварительная подготовка сырья (обессоливание, осушка, нагрев в печи до оптимальной температуры), рекуперация тепла, использование промежуточных кипятильников и холодильников).

2. Экспериментальная часть

Исходные данные для моделирования

1. Назначение колонны

Тип процесса: Атмосферная перегонка нефти (отбензинивание)

Цель моделирования:

- Оптимизация разделения легких фракций (C1–C5);
- Определение рабочих параметров (температуры, давления, флегмового числа).

2. Метод расчета энергозатрат

В качестве термодинамической модели был выбран пакет флюида Peng-Robinson — это уравнение состояния, использующееся для расчета фазового равновесия, термодинамических свойств, таких как энтальпия, энтропия, теплоемкость и плотности жидкостей и газов. Данная математическая модель хорошо подходит для углеводородных смесей с небольшим содержанием полярных компонентов.

Моделирование колонны

1. Подготовка исходных данных

Перед началом моделирования был разработан состав сырья. В качестве сырья была выбрана смесь нефтей из Западной Сибири и Урало-Поволжья.

Параметры колонны были выбраны с упором на регламент

Число тарелок 24.

Давление (400 – 490 кПа).

Температура ввода сырья (250°C).

Требования к продуктам:

Содержание C5– в кубе $\leq 0.5\%$.

Конец кипения дистиллята $\leq 105^\circ\text{C}$.

2. Создание компонентного состава

В качестве термодинамической модели был выбран пакет флюидов Peng-Robinson, были добавлены в качестве компонентов легкие углеводороды (C1–C5) — из базы данных и Псевдокомпоненты для C6+ (по ИТК).

3. Настройка потока сырья

Создали потоки на 10, 18 тарелки, задали расход (в сумме 600 т/ч) и указали температуру (250°C) и давление (0.4 МПа).

Задали примерный состав нефти

4. Построение колонны

Выбрали дистилляционную колонну для детального расчета. Задали число тарелок (24), положение тарелки питания (10, 18 тарелки), пар высокого давления (под 24 тарелку), орошение легким бензином (на 1 тарелку)

Установили давление верха 0.4 Мпа и низа 0.49 МПа.

5. Выбор спецификаций

В качестве спецификаций выбрали флегмовое число (Reflux Ratio) (начали с $R = 2,5$), точка отделения в конденсаторе (Cut Point 95%, 130°C) и температуру в ребойлере (Temperature) (300°C).

6. Запуск расчета и валидация

Проверили результаты:

Температурный профиль (должен плавно расти снизу вверх)(Рис.1).

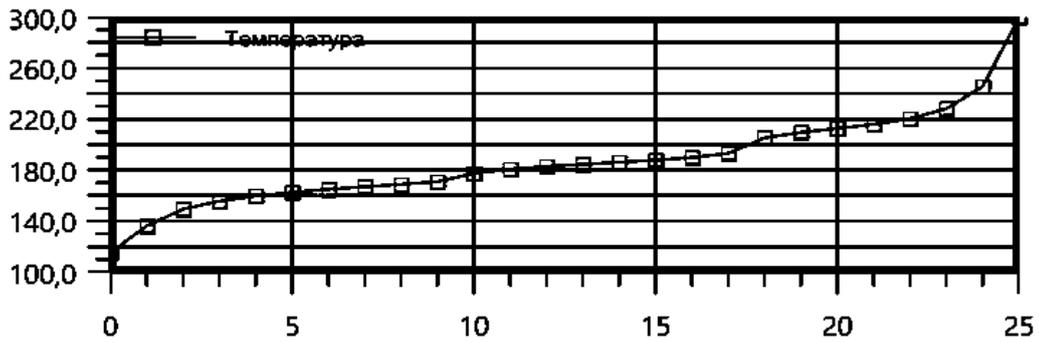


Рис. 1. Температурный профиль колонны

Состав продуктов (дистиллят не содержит большое количество углеводородов с ИТК $< 105^{\circ}\text{C}$).

Сравнили результаты с эталоном (регламентированные значения). Для отбензинивания выход бензина, газа и воды—8 - 12% от сырья.

7. Оптимизация модели

Чувствительный анализ: определили, как изменение R влияет на чистоту дистиллята (графики R (1.5–5.0) и содержание ИТК $36\text{--}40^{\circ}\text{C}$ в кубе.), изменение температуры ввода сырья и температуры в самой колонне, изменение давления в колонне и изменение числа теоретических тарелок.

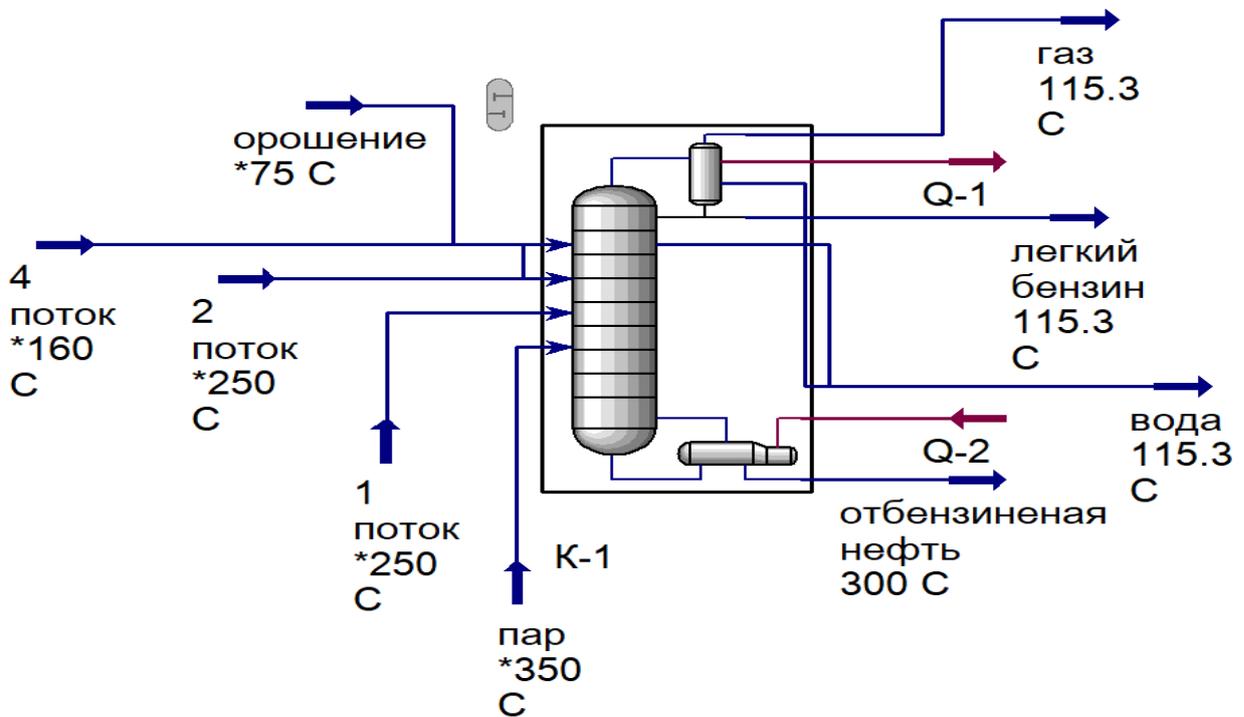


Рис. 2. Мнемосхема колонны отбензинивания нефти К-1

8. Оформление результатов в виде таблиц и графиков зависимости качества и производительности от различных параметров.

Изменение флегмового числа

Флегмовое число ($R = L/D$) — ключевой параметр, определяющий эффективность разделения и энергозатраты. На установках его можно регулировать изменением расхода орошения (L). Увеличение Флегмового числа повышают подачу флегмы через регулирующий клапан на линии орошения, благодаря этому улучшается четкость разделения, но растут энергозатраты. Для уменьшения флегмового числа снижают подачу флегмы, частично перенаправляя дистиллят (D) в товарную емкость. Однако это может привести к ухудшению качества дистиллята, то есть к росту тяжелых фракций.

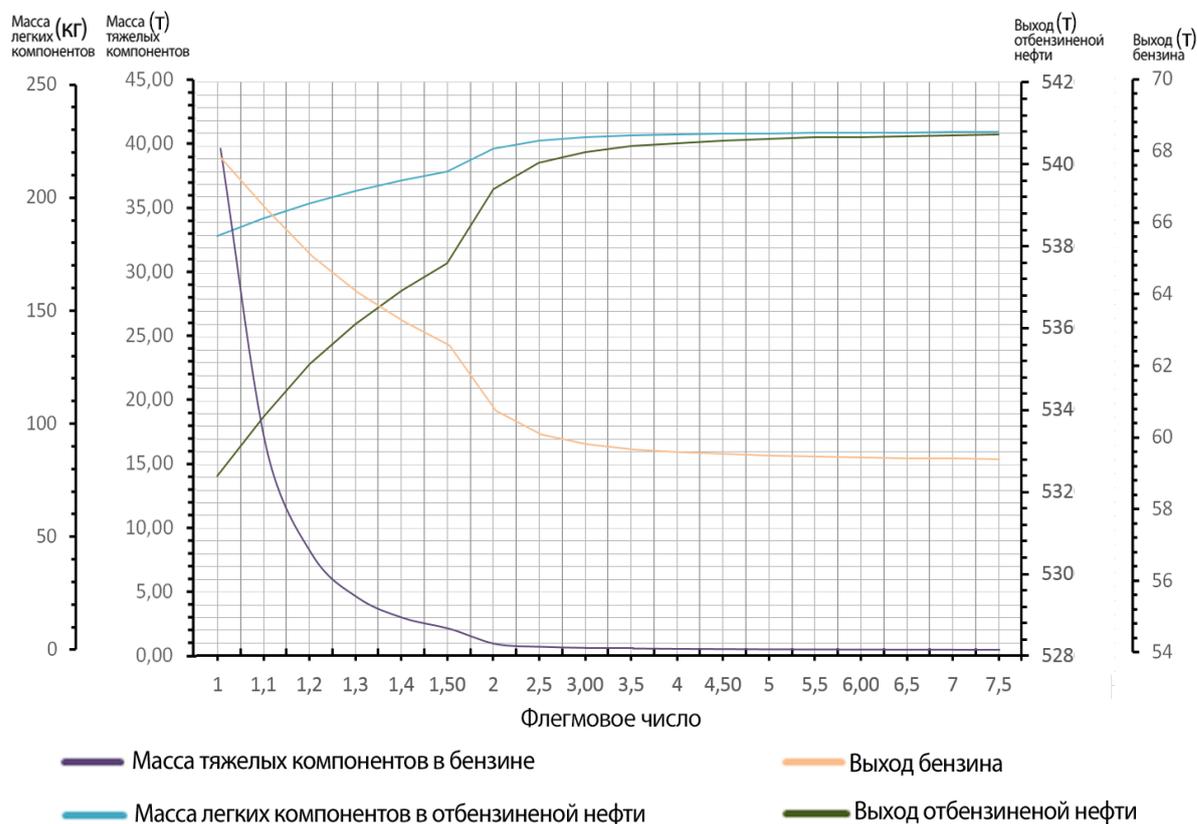


Рис. 3. Зависимость качества разделения и производительности от флегмового числа.

С ростом флегмового числа содержание фракций 36–180°С в кубовом остатке повышается с 66 до 69 тонн.

Выход отбензиненной нефти повышается до значения флегмового числа 3. При $R > 4.0$ Кривые содержания фракций выходят на «плато», следовательно, дальнейшее увеличение R почти не улучшает разделение.

По данному графику можно сделать вывод, что для данной колонны оптимальное значение флегмового числа находится в диапазоне 3 – 3.5, так как:

1. Сырьё разделяется достаточно качественно и содержание нежелательных фракций в кубовом остатке минимально. Дальнейшее увеличение флегмового числа дает незначительное улучшение.

2. Производительность отбензиненной нефти после значения флегмового числа 3 – 3.5 практически неизменен.

Таким образом, можно сделать вывод, что оптимальный рабочий диапазон флегмового числа для наилучшего разделения = 3 – 3.5 способствует максимальному удалению бензиновых фракций из отбензиненной нефти.

Изменение числа теоретических тарелок

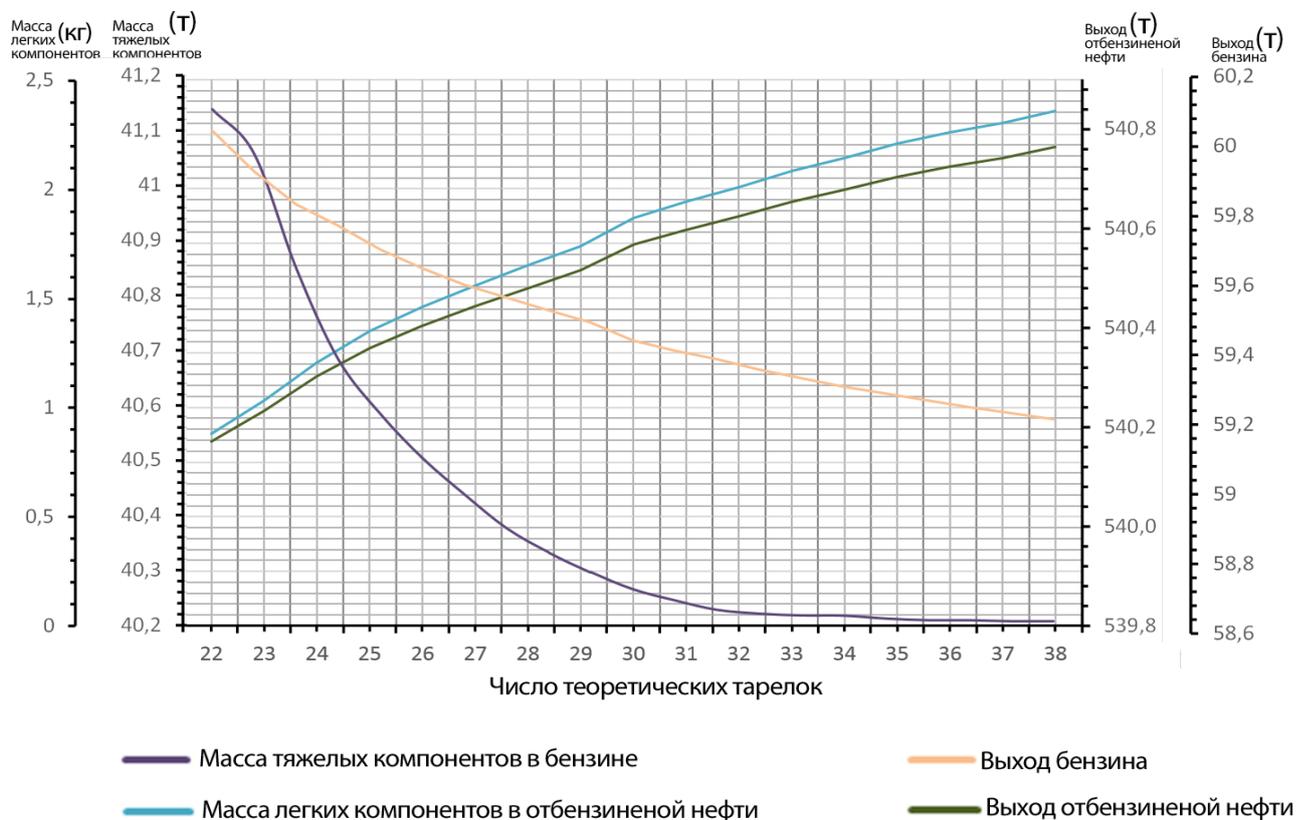


Рис. 4. Зависимость качества разделения и производительности от числа теоретических тарелок.

На участке 22–30 тарелок зависимости близки к линейным.

При дальнейшем росте числа тарелок (33–38) кривая, показывающая количество тяжелых фракций в дистилляте выходит на плато, что свидетельствует о достижении предела разделения.

Анализируя график можно сделать вывод, что при повышении числа теоретических тарелок растет выход отбензиненной нефти, однако её качество не повышается, а качество получаемого бензина повышается с уменьшением производительности.

Замена контактных устройств на более эффективные

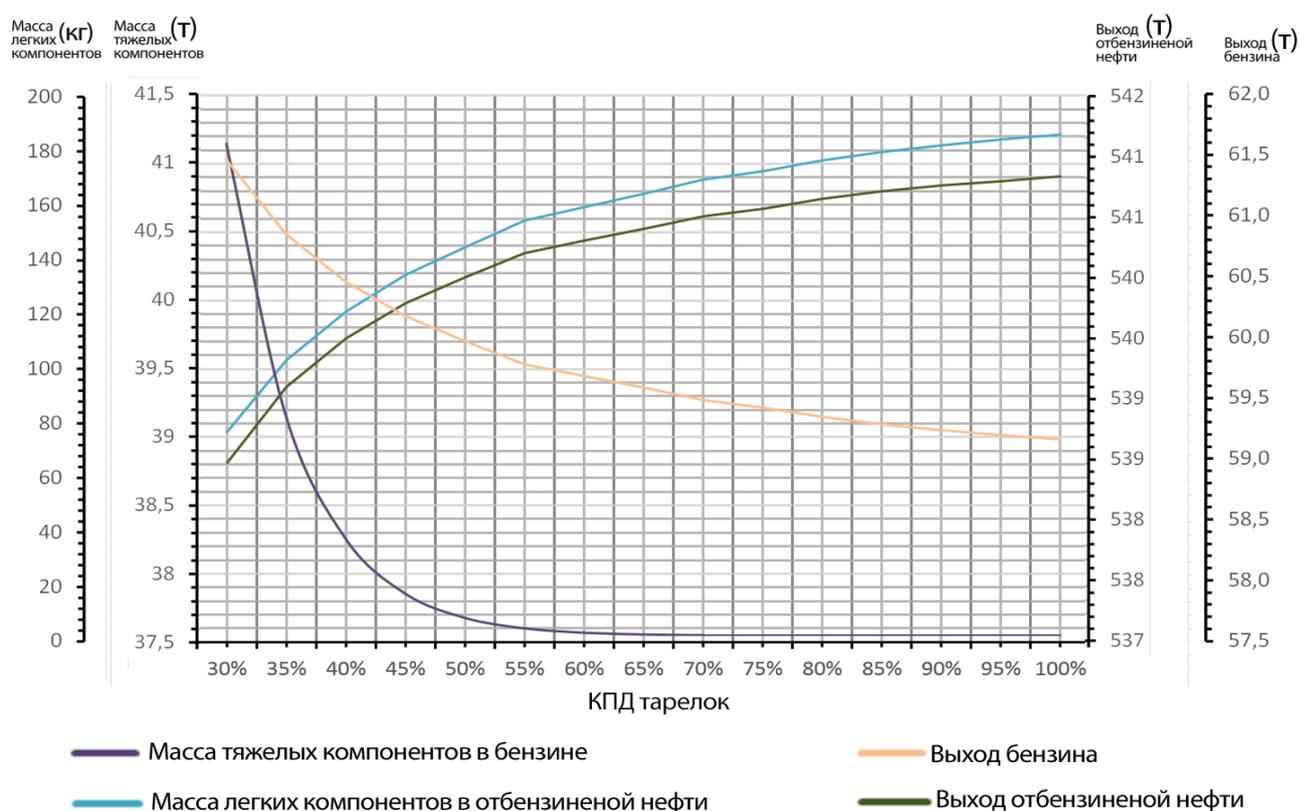


Рис. 5. Зависимость качества разделения и производительности от КПД контактных устройств.

С повышением эффективности контактных устройств происходят следующие изменения в качестве и производительности:

1. Количество тяжелых фракций в дистилляте резко понижается при повышении КПД с 35 до 45%. При КПД более 55% график выходит на плато, содержание тяжелых фракций минимально.

2. Выход бензина с повышением КПД понижается. При КПД 55% с минимальным содержанием тяжелых фракций в дистилляте, выход бензина составляет 59,5 тонн.
3. С повышением КПД повышается выход отбензиненой нефти, однако повышается и количество легких фракций в ней. Для более эффективного отделения легкой фракции от отбензиненой нефти стоит варьировать также температуру и давление.

Изменение температуры куба колонны

На представленной диаграмме изображена зависимость качества разделения и производительности при изменении температуры куба колонны (Рис. 6).

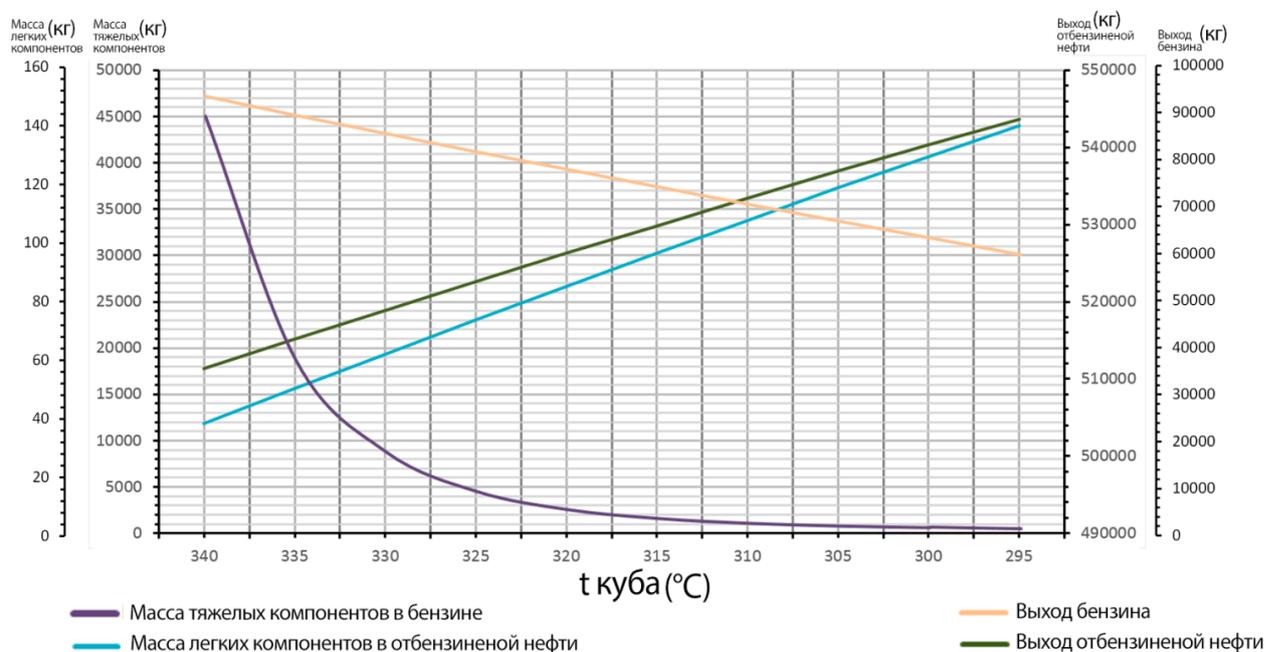


Рис. 6. Зависимость качества разделения и производительности от t куба колонны.

При изменении температуры в кубе колонны происходят следующие изменения в качестве и производительности:

1. С понижением температуры с 340 до 325°C Количество тяжелых фракций в дистилляте резко понижается. При дальнейшем понижении

температуры до 315°C график выходит на плато, содержание тяжелых фракций минимально.

2. Выход бензина с понижением температуры понижается линейно. При температуре куба 325°C с минимальным содержанием тяжелых фракций в дистилляте, выход бензина составляет примерно 60 тонн.
3. С понижением температуры повышается выход отбензиненой нефти, однако повышается и количество легких фракций в ней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы были решены поставленные задачи, направленные на модернизацию ректификационной колонны К-1 блока атмосферной перегонки нефти.

1. Проведен анализ научной литературы, позволивший выявить современные тенденции и методы модернизации ректификационных колонн, включая применение математического моделирования и оптимизацию технологических параметров.

2. Разработана математическая модель узла колонны К-1 с использованием современного программного обеспечения, учитывающая требования технологического регламента. Модель позволила проанализировать ключевые параметры процесса, такие как температуры, давления и флегмовое число.

3. Проведена проверка адекватности модели, подтвердившая ее соответствие реальным процессам. Определены оптимальные рабочие параметры, обеспечивающие стабильную и экономически выгодную эксплуатацию установки.

Температура куба колонны: 325°C

Температура ввода сырья: 250°C

Флегмовое число: 3.0 – 3.5

Число теоретических тарелок: 30 – 32

Замена контактных устройств на более эффективные приводит к улучшению разделения.

Оптимизация данных параметров приводит к

Увеличение выхода целевых фракций на 8-10%