УДК 66.066

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ИЗОБУТАНА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

INTENSIFICATION OF THE ISOBUTANE SEPARATION PROCESS AT THE TOP OF THE DISTILLATION COLUMN

Сабирова Полина Андреевна
студент,
Казанский национальный исследовательский технологический университет

Гарифуллина Эльвира Валерьевна
кандидат технических наук,
доцент кафедры «ХТПНГ»,
Казанский национальный исследовательский технологический университет
garifullinaev@kstu.ru

Мусенко Александра Александровна
студент,
Казанский национальный исследовательский технологический университет
21b.musenkoaa@fnnh.ru

Бронская Вероника Владимировна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «ПАХТ»,
Казанский национальный исследовательский технологический университет
dweronika@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам интенсификации процесса ректификации бутановой фракции в колонне С-1. В ходе исследования проведен комплексный анализ технологической схемы и выявлены критические параметры, определяющие чистоту целевого изобутана. Установлено, что эффективность разделения лимитируется балансом термодинамических условий и материальных потоков. Выявлено, что наиболее эффективными рычагами интенсификации являются увеличение кратности орошения, а также целенаправленное снижение рабочего давления и температуры верха колонны для повышения относительной летучести компонентов.

Ключевые слова: бутановая фракция, колонна разделения бутанов С-1, выделение изобутана, чистота продукта, управление процессом.

Sabirova Polina Andreevna
Student,
Kazan National Research Technological University

Garifullina Elvira Valeryevna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Department of «HTPNG»,
Kazan National Research Technological University
garifullinaev@kstu.ru

Musenko Alexandra Alexandrovna
Student,
Kazan National Research Technological University
21b.musenkoaa@fnnh.ru

Bronskaya Veronika Vladimirovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of «PAHT»,
Kazan National Research Technological University
dweronika@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the issues of intensifying the process of precise rectification of the butane fraction in the C-1 column. The study conducted a comprehensive analysis of the technological scheme and identified critical parameters that determine the purity of the target isobutane. It was found that the separation efficiency is limited by the balance of thermodynamic conditions and material flows. It was revealed that the most effective intensification levers are increasing the ratio of the spraying, as well as purposefully reducing the operating pressure and temperature of the top of the column to increase the relative volatility of the components.

Keywords: butane fraction, C-1 butane separation column, isobutane isolation, product purity, process control.

Введение

В современной нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности процесс четкой ректификации бутановой фракции играет определяющую роль, так как изобутан является ценным сырьем для установок алкилирования, производства метил-трет-бутилового эфира и синтетического каучука. Качество конечных высокооктановых компонентов моторных топлив напрямую зависит от чистоты изобутана, получаемого в колоннах. Однако эффективное разделение смеси изомеров бутана осложнено близостью их физико-химических свойств, что требует значительных энергетических затрат и поддержания прецизионного технологического режима. Необходимость увеличения содержания изобутана в верхнем продукте диктуется как ужесточением экологических требований к топливам, так и стремлением предприятий к снижению операционных издержек. В связи с этим актуальным становится поиск методов оптимизации работы ректификационных колонн за счет регулирования давления, температурного профиля и флегмового числа, а также анализа точки подачи сырья. [2, 5]

Поставленные задачи

В настоящей работе на основе моделирования в цифровой платформе РТСИМ.Карьера проведен анализ текущих режимов эксплуатации колонны, а также рассмотрены оптимальные режимы для обеспечения стабильной высокой концентрацию изобутана в верхнем продукте. На примере колонны разделения бутанов С-1, были рассмотрены следующие сценарии:

– снижение температуры верха колонны С-1;
– увеличение расхода орошения;
– снижение давления в колонне.

Целью моделирования стало выявление ключевых управляющих параметров, влияющих на содержание изобутана в верхней части ректификационной колонны. На рисунке 1 изображена принципиальная схема процесса разделения бутанов.

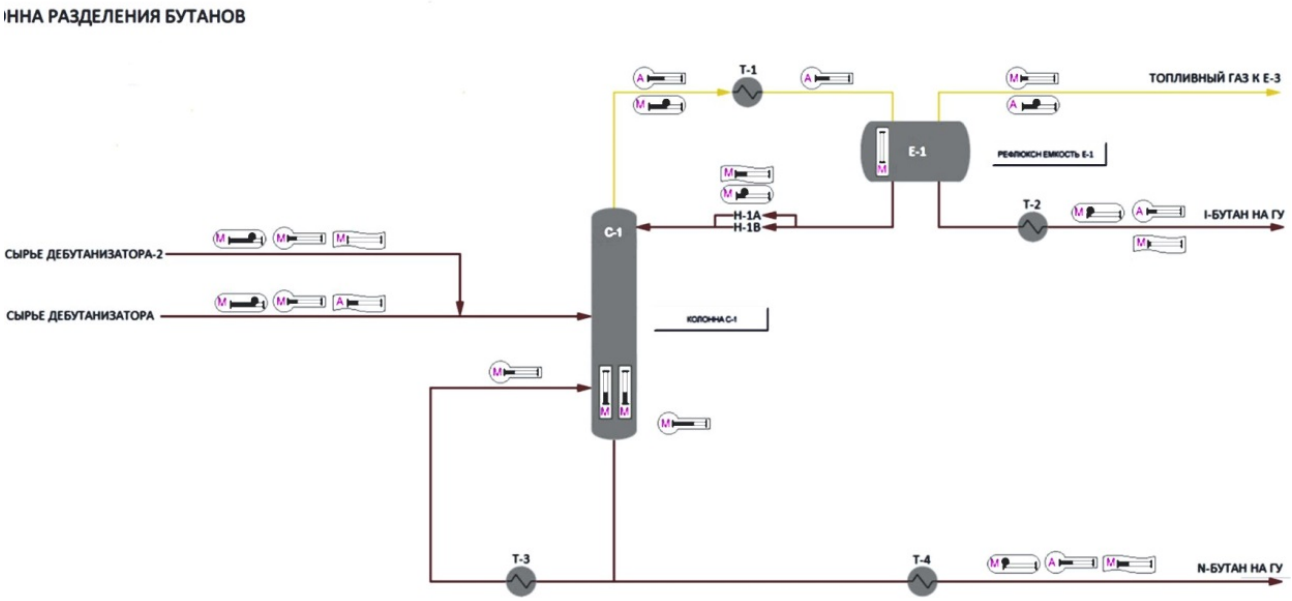

Рисунок 1 – Принципиальная схема процесса разделения бутанов

Методы и материалы

Визуализация показателей приборов до и после изменения температуры представлена на рисунках 2 и 3 соответственно. Динамика концентрации изобутана при изменении расхода орошения отражена на рисунках 4 и 5, а при снижении давления в колонне – на рисунках 6 и 7.

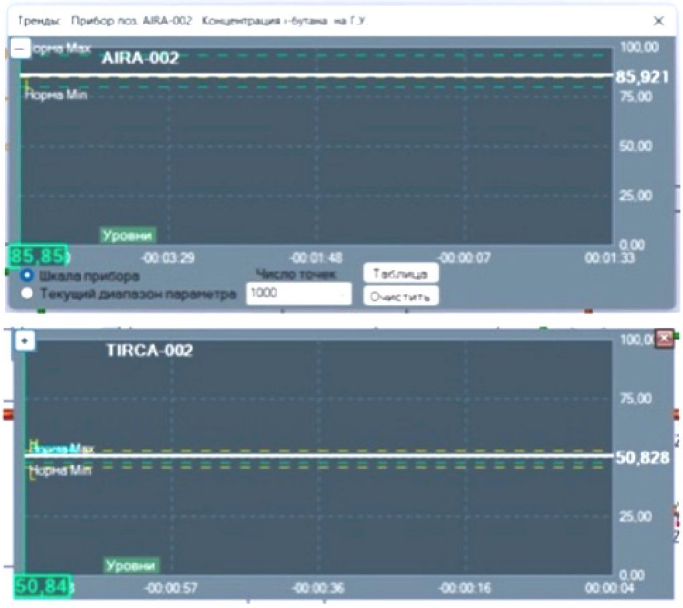

Рисунок 2 – Показатели приборов до изменения температуры

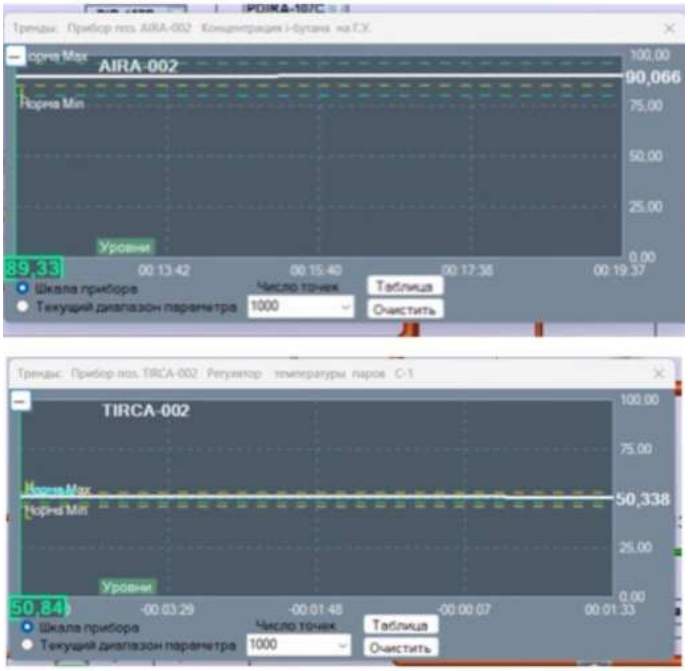

Рисунок 3 – Показатели приборов после изменения температуры

Рисунок 4 – Концентрация изобутана до изменения расхода орошения

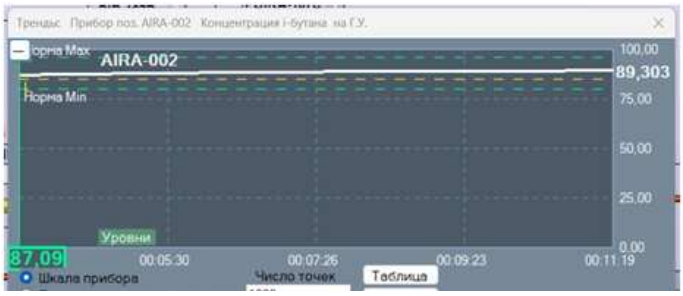

Рисунок 5 – Концентрация изобутана после изменения расхода орошения

Рисунок 6 – Концентрация изобутана до снижения давления в колонне

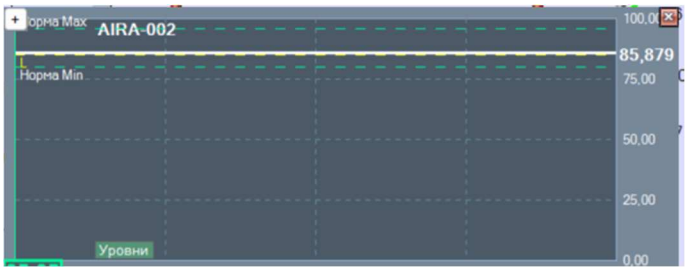

Рисунок 7 – Концентрация изобутана после снижения давления в колонне

Таблица 1 – Сводная таблица результатов эксперимента

Параметр	Датчик	Ед. изм.	Значение до измен. параметра	Значение после измен. параметра	Норма
Температура верха колонны	TIRCA-002	°C	85,921	90,066	> 85%
Расход орошения	FIRC-003	кг/ч	85,856	89,303	> 85%
Снижение давления в колонне	PIRCA-001	кПа	85,846	85,879	> 85%

Полученные результаты

● *Снижение температуры верха колонны как основной параметр управления процессом разделения бутановой фракции*

Анализ работы узла ректификации показал, что чистота изобутана находится в прямой зависимости от температурного профиля верха колонны. В рамках оптимизации процесса было проведено поэтапное снижение температуры верха (контролируемое параметром TIRCA-002) с 50,8 °C до нижней границы технологической нормы. Приращение расхода охлаждающего агента (через открытие клапана TV-001) обеспечило условия для более четкого разделения бутановой фракции. Экспериментально подтверждено, что при снижении температуры до 50,3 °C содержание изобутана в дистилляте достигло 90,066 %. Улучшение качественных показателей объясняется термодинамическими особенностями смеси: при более низких температурах разность давлений насыщенных паров изобутана и н-бутана увеличивается. Это повышает селективность процесса на контактных устройствах, минимизируя унос н-бутана в паровую фазу и концентрируя целевой изобутан в верхнем продукте. [3]

● *Изменение концентрации изобутана в верхнем продукте при увеличении расхода орошения*

Технологическая схема процесса предусматривает управление возвратом орошения из конденсатора Т-1 в колонну С-1 через регулирующий клапан FV-003. Наращивание расхода флегмы напрямую влияет на эффективность работы тарелок, увеличивая поверхность межфазного контакта и градиент концентраций по высоте аппарата. Данный метод интенсификации позволил более эффективно концентрировать изобутан в верхней части колонны, одновременно минимизируя унос тяжелого компонента с дистиллятом. Результатом данных управляющих воздействий является повышение чистоты целевого продукта, регистрируемое прибором контроля качества AIRA-002.[1]

● *Снижение давления в колонне как один из факторов интенсификации процесса ректификации*

В ходе исследования выполнена оценка работы регулятора давления PIRCA-001 и его влияния на точность разделения бутановой фракции. Воздействие на клапаны PV-001/002, приводящее к снижению давления в колонне С-1, формирует благоприятные изменения физико-химических свойств разделяемой среды.

● *Практическая значимость результатов для промышленной эксплуатации*

Разработанные в рамках исследования подходы и подготовленные рекомендации являются ценным производственным ресурсом, применимым для модернизации технологического режима работы установок. Внедрение предлагаемых методов управления температурными и барическими условиями, а также флегмовым числом в колонне С-1, обеспечит повышение качества изобутана. Кроме того, это создаст условия для уменьшения удельных затрат при его выпуске за счет оптимизации процессов разделения и минимизации потерь

Выводы

Моделирование, проведенное в цифровой среде РТСИМ.Карьера, показало, что снижение температуры в верхней части колонны С-1 с 50,8 °C до 50,3 °C – фактор интенсификации процесса. Данное технологическое воздействие обеспечило селективную конденсацию тяжелых фракций и позволило достичь максимальной концентрации изобутана в дистилляте – 90 %. Установлено, что оптимизация давления способствует росту коэффициента относительной летучести в системе «изобутан – н-бутан».

Список литературы:

1. Анисимов И.В. Автоматическое регулирование процесса ректификации. – М. : Гостоптехиздат, 1961. – 180 с.
2. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие. – Уфа : Гилем, 2002. – 672 с.
3. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: в 2 книгах. – М. : Химия, 1981. – Кн. 1. – 812 с.
4. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. В 2 частях. Часть 2. Массообменные процессы и аппараты: учебник для вузов. – 2-е изд. – М. : Химия, 1995. – 400 с.
5. Лапидус А.Л., Голубева И.А., Жагфаров Ф.Г. Газохимия: учебное пособие. – М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. – 446 с.

List of references

1. Anisimov I.V. Automatic Control of the Rectification Process. – M. : Gostoptekhizdat, 1961. – 180 p.
2. Akhmetov S.A. Deep Oil and Gas Processing Technology: A Textbook. – Ufa : Gilem, 2002. – 672 p.
3. Gelperin N.I. Basic Processes and Equipment of Chemical Engineering: In 2 Books. – M. : Chemistry, 1981. – Book 1. – 812 p.
4. Dytnersky Yu.I. Processes and Equipment of Chemical Engineering. In 2 Parts. Part 2. Mass Transfer Processes and Equipment: A Textbook for Universities. – 2nd Edition. – M. : Chemistry, 1995. – 400 p.
5. Lapidus A.L., Golubeva I.A., Zhagfarov F.G. Gas chemistry: a tutorial. – M. : Center-LitNefteGaz, 2008. – 446 p.