

*Кутлиев Р.Р.,
студент,
факультет «технологии и переработки каучуков и эластомеров»
Казанский химико-технологический институт
Россия, г. Казань*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БУТЕН-1

***Аннотация:** В статье рассмотрены экологические и энергосберегающие технологии производства бутен-1 полимеризационной чистоты, включая димеризацию этилена, дегидрирование *n*-бутана и разделение C4-фракций нефтехимических производств. Проанализированы особенности каталитических систем, методы повышения селективности и чистоты продукта, а также вызовы по снижению примесей. Особое внимание уделено новым подходам, направленным на повышение экономической эффективности и экологической безопасности производства бутен-1.*

***Ключевые слова:** бутен-1, димеризация этилена, дегидрирование *n*-бутана, каталитические системы, энергосбережение, экологическая безопасность, полимеризационная чистота.*

***Annotation:** This article reviews ecological and energy-saving technologies for producing polymerization-grade 1-butene, including ethylene dimerization, *n*-butane dehydrogenation, and separation from C4 fractions of petrochemical processes. The features of catalytic systems, methods to enhance selectivity and product purity, and challenges in impurity reduction are analyzed. Special attention is given to novel approaches aimed at improving economic efficiency and environmental safety of 1-butene production.*

Key words: *1-butene, ethylene dimerization, n-butane dehydrogenation, catalytic systems, energy saving, environmental safety, polymerization grade.*

Введение

Бутен-1 представляет собой важный α -олефин, широко используемый как со-мономер при производстве линейного полиэтилена низкой плотности (ЛПНП), улучшающего свойства полимера, такие как гибкость и ударная вязкость. Растущий спрос на высококачественный бутен-1 требует развития производственных технологий, которые являются экономически выгодными и экологически устойчивыми. Традиционные методы производства, включая димеризацию этилена, дегидрирование н-бутана и извлечение из C4-фракций нефтехимии, сталкиваются с проблемами высокого энергопотребления, образования нежелательных побочных продуктов и экологических воздействий, таких как выбросы парниковых газов. Поэтому существует острая необходимость в "зеленых" технологиях, снижающих экологический след и повышающих эффективность **Экологические технологии производства**

Современные экологические подходы ориентированы на минимизацию отходов, снижение токсичных выбросов и повышение устойчивости катализаторов.

- Технология AlphaButol компании Axens — это передовой процесс димеризации этилена с использованием гомогенного никель-фосфинового катализатора при мягких условиях (50-90°C и давление 3-5 МПа). Метод обеспечивает селективность >99% по бутен-1, значительно снижая образование вторичных олефинов, таких как бутилен-2, что приводит к уменьшению выбросов и отходов катализатора. Регенерация катализатора обеспечивает замкнутый цикл, соответствующий принципам зеленой химии.
- Извлечение из C4-потоков нефтехимии включает селективную фракционировку и комплексную очистку через этерификацию,

олигомеризацию и дистилляцию, давая бутен-1 полимеризационной чистоты (>99,9%) с содержанием примесей <0,0005%. Это снижает экологическое воздействие, связанное с загрязнением продукта и последующей переработкой.

- Прямое дегидрирование н-бутана на хромовых катализаторах при повышенных температурах (550-650°C) оптимизировано для баланса конверсии и энергозатрат. Применяются системы рекуперации тепла для снижения углеродного следа процесса.

Энергосбережение и интеграция процессов

Повышение энергоэффективности критически важно для устойчивого производства бутен-1.

- Низкотемпературный режим димеризации (80-120°C) при умеренном давлении (0,3-0,5 МПа) снижает тепловые энергозатраты на 15-25% по сравнению с традиционными процессами.

- Интеграция теплообменников между реакторами и установками очистки, включая мембранные разделения вместо дистилляции, позволяет рекуперировать и повторно использовать тепловую энергию, сокращая расход пара до 40%.

- Новые каталитические формулы с титановыми и циркониевыми промоторами повышают селективность при более низких температурах, способствуя энергосбережению.

- Использование систем процесс-контроля с ИИ и аналитикой в реальном времени динамически оптимизирует условия реакции, минимизируя энергопотребление и максимизируя выход продукта.

Сравнительные характеристики технологий производства бутен-1

Технология	Температура, °С	Селективность, %	Энергозатраты, т пара/т	Содержание примесей, %
AlphaButol (димеризация)	50–90	>99	5–10	<0,0005
Из C4-фракций	15–25	99,9	0,01	0,0005
Дегидрированное н-бутана	550–650	85–90	10–15	0,01

Проблемы и перспективы развития

Несмотря на прогресс, остаются вызовы:

- Улучшение стабильности катализаторов и их регенерации для предотвращения потери активности и загрязнения окружающей среды.
- Разработка биоразлагаемых или более benign промоторов для снижения использования опасных химикатов.
- Углубленная интеграция ИИ для предиктивного обслуживания и управления энергией.
- Исследование циркулярных моделей производства с утилизацией отходов и снижением выбросов углерода.

Будущие исследования должны сосредоточиться на междисциплинарных стратегиях, сочетающих химическую инженерию, науку о катализе и цифровые технологии для достижения безотходного производства и углеродной нейтральности.

Заключение

Экологические и энергосберегающие технологии производства бутен-1 необходимы для устойчивого роста нефтехимической отрасли. Внедрение передовых каталитических методов, интегрированного теплового менеджмента и цифровизации процессов приводит к значительному улучшению выхода, чистоты и экологического следа. Эти технологии позволят отрасли удовлетворить будущие потребности, поддерживая глобальные экологические цели.

Использованные источники:

1. Состояние промышленных технологий получения бутен-1... CyberLeninka. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-promyshlennyh-tehnologiy-polucheniya-butena-1-polimerizatsionnoy-chistoty> (дата обращения: 02.03.2025).
2. Технология получения бутена-1... Dissercat. URL: <https://www.dissercat.com/content/tekhnologiya-polucheniya-butena-1-polimerizatsionnoi-chistoty> (дата обращения: 02.03.2025).
3. Axens поставит БХК технологию... Plastinfo.ru. URL: https://plastinfo.ru/information/news/46291_22.09.2020/ (дата обращения: 04.12.2025).