



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.021

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.037

EDN: GVDHXA

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА НА ОСНОВЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА

Наталья Ивановна Лосева

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
Ini99@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4671-459X>

Аннотация. В статье показана возможность модернизации действующей установки по производству метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ) с целью получения этил-трет-бутилового эфира (ЭТБЭ) как целевого продукта. ЭТБЭ обладает сходными физико-химическими и эксплуатационными свойствами в сравнении с МТБЭ, но является более экологичным продуктом и обладает рядом таких преимуществ, как более высокая теплотворная способность, меньшее давление насыщенных паров и гораздо меньшая гигроскопичность. Показано соответствие описываемой технологии производства ЭТБЭ, основанной на взаимодействии изобутилена с этанолом на кислотном сульфокатионитном катализаторе, основным критериям современного нефтехимического производства. Основное изменение в модернизированной технологии производства – замена метанола на этанол. Развитие данной отрасли позволит России выйти на зарубежный рынок производства присадок автомобильных бензинов, организовать экспорт и стать одной из лидирующих стран в этом сегменте нефтехимии. Использование установки для производства как МТБЭ, так и ЭТБЭ позволит осуществить своевременный переход от синтеза одного эфира к другому, удовлетворить потребности новых потребителей и поддерживать импортозамещение в России.

Ключевые слова: метил-трет-бутиловый эфир, этил-трет-бутиловый эфир, присадки к моторному топливу, модернизация установки, катализаторы производства эфиров.

Для цитирования: Лосева Н. И. Организация производства этил-трет-бутилового эфира на основе действующего производства метил-трет-бутилового эфира // Ползуновский вестник. 2026. № 2, С. 264–268. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.037. EDN: <https://elibrary.ru/GVDHXA>.

Original article

ORGANIZATION OF PRODUCTION OF ETHYL -TRET-BUTYL ETHER BASED ON CURRENT PRODUCTION OF METHYL TRET-BUTYL ETHER

Natalya I. Loseva

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
Ini99@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4671-459X>

Abstract. The article shows the possibility of upgrading the existing methyl tert-butyl ether (MTBE) production plant in order to produce ethyl tert-butyl ether (ETBE) as a target product. ETBE has similar physico-chemical and operational properties in comparison with MTBE, but it is a more environmentally friendly product and has a number of advantages such as higher calorific value, lower saturated vapor pressure and much less hygroscopicity. The described technology of ETBE production, based on the interaction of isobutylene with ethanol on an acid sulfocationite catalyst, is shown to meet the main criteria of modern petrochemical production. The main change in the upgraded production technology is the replacement of methanol with ethanol. The development of this industry will allow Russia to enter the foreign market for the production of gasoline additives, organize exports and become one of the leading countries in this segment of petrochemicals. The use of the plant for the production of both MTBE and ETBE will allow for a timely transition from the synthesis of one ether to another, meet the needs of new consumers and support import substitution in Russia.

Keywords: methyl tert-butyl ether, ethyl tert-butyl ether, additives to motor fuel, modernization of the plant, catalysts for the production of esters.

For citation: Loseva, N. I. (2026). Organization of production of ethyl -tret-butyl ether based on current production of methyl tret-butyl ether. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 264-268. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.037. EDN: <https://elibrary.ru/GVDHXA>.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА НА ОСНОВЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТИЛ-ТРЕТБУТИЛОВОГО ЭФИРА

ВВЕДЕНИЕ

Еще в 1979 году было найдено применение метил-трет-бутиловому эфиру (МТБЭ) как присадки к моторному топливу, которая существенно повышает его качество ввиду своих физико-химических свойств, и уже через несколько лет эфир доминировал на рынке по сравнению с другими присадками типа монометиланилина и метил-трет-амилового эфира [1].

МТБЭ в смеси с бензином улучшает антидетонационные свойства топлива, позволяет сократить расход топлива, снижает температуру запуска двигателя, образование отложений и нагара, и тем самым позволяет уменьшить износ деталей двигателя. В скором времени в США и Европе встала задача расширения применения биотоплива, что позволило бы отказаться от нефти и газа как источников энергии и перейти на возобновляемые виды топлива. Параллельно с этим свою роль сыграли недостатки МТБЭ. Низкая температура кипения и высокое давление насыщенных паров МТБЭ обуславливают понижение октанового числа моторного топлива в летнее время. Кроме того, доказано негативное влияние МТБЭ на экологию окружающей среды. Из-за возможных утечек эфира из резервуаров хранения происходит его миграция в водозаборные сооружения, и как следствие, образование токсичного метанола.

В 2018 г. в Финляндии произошла экологическая катастрофа – в результате схода с рельсов из российской железнодорожной цистерны в почву вылилось около 35 тыс. л МТБЭ. Из-за возможных экологических проблем в 1990 г. были пересмотрены требования к качеству и стандартам присадок моторного топлива.

Необходимость в альтернативе и развитие химической промышленности способствовали тому, что к концу XX века в США было налажено производство этил-трет-бутилового эфира (ЭТБЭ), который, сохраняя все достоинства МТБЭ, имел множество положи-

тельных отличий: более высокая доступность биоэтанола по сравнению с метанолом и отличная биоразлагаемость в естественных условиях. ЭТБЭ обладает схожими физико-химическими свойствами, что и МТБЭ, однако имеет более высокую теплотворную способность, меньшее давление насыщенных паров и гораздо меньшую гигроскопичность [2].

Цель данной работы – сравнительный анализ технологических схем производства МТБЭ и ЭТБЭ, включая каталитические системы, а также обоснование модернизации существующего производства МТБЭ с целью получения ЭТБЭ как целевого продукта.

МЕТОДЫ

Для производства ЭТБЭ нужен этанол. Производство технического этанола в 2023 году составило 2,0 миллиона баррелей в сутки, или 92 млн. тонн. Это составляет 7,5 % от объема спроса на автомобильный бензин. Мировой рынок этанола достиг около 100 миллионов тонн в 2021 году и, как ожидается, будет расти в среднем на 4,75 % в течение прогнозируемого периода до 2032 года [3]. Важными компаниями рынка этанола являются POET Biorefining, Archer Daniels Midland, Valero Energy, Green Plains LLC, Sao Martinho, SDIC Bio Co., Ltd., Flint Hills Resources LP, Atvos, COFCO Biochemical, The Andersons, Inc., Marquis Energy LLC и другие.

С точки зрения экономики переход с МТБЭ на ЭТБЭ практически никогда не диктуется прямыми рыночными преимуществами, а всегда является вынужденным решением под давлением экологических норм. МТБЭ остаётся более дешевым продуктом, но в условиях политики декарбонизации и регуляторных ограничений, переход на ЭТБЭ открывает доступ к премиальным рынкам и позволяет выполнить требования по сокращению углеродного следа. Сравнительная экономическая оценка перехода с МТБЭ на ЭТБЭ представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная экономическая оценка перехода с МТБЭ на ЭТБЭ

Table 1 – Comparative economic assessment of the transition from MTBE to ETBE

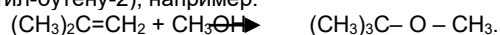
Критерий	МТБЭ	ЭТБЭ	Экономический вердикт
Сырье	метанол + изобутилен	этанол + изобутилен	МТБЭ (метанол дешевле этанола)
Капитальные затраты (CAPEX)	стандартная технология	ниже , так как возможна адаптация существующих установок МТБЭ	ЭТБЭ (модернизация дешевле нового строительства)
Операционные расходы (OPEX)	ниже (из-за низкой стоимости метанола)	выше , из-за более высокой стоимости этанола	МТБЭ
Экологические риски	высокие	низкие (безопаснее для окружающей среды)	ЭТБЭ (стоимость утилизации рисков несоизмерима)
Доступ к рынку	ограничен (не принимается на многих «бензиновых» рынках)	премиальный	ЭТБЭ (открывает доступ в страны строгой юрисдикции)
Соответствие «зеленой» повестке	низкое	высокое	ЭТБЭ

На сегодняшний день производство МТБЭ является устаревшим, не соответствующим европейским стандартам присадок моторных топлив. Страны АТР также переходят на производство и потребление ЭТБЭ, что требует модернизации производства и перехода к новым технологиям получения присадок и биотоплива для формирования конкурентоспособной позиции на рынке.

ЭТБЭ получают в аналогичных условиях и на том же оборудовании, что и МТБЭ. Условия синтеза ЭТБЭ из изобутилена и этилового спирта: температура ниже 100 °C и давление 1–2 МПа с кислотным катализатором [4].

Высокооктановые простые эфиры (МТБЭ, ЭТБЭ,

МТАЭ) в промышленности получают реакцией селективного присоединения спирта к третичному олефину (изобутилену или изоамилену: 2-метил-бутену-1 и 2-метил-бутену-2), например:



Условия проведения процесса достаточно мягкие (температура – 50÷80 °C, давление – 4÷12 атм) в зависимости от получаемого продукта [5].

Рассмотрим возможность модернизации производства МТБЭ с целью получения ЭТБЭ на примере Тобольской промышленной площадки ООО «ЗапСибНефтехим». Установка мощностью 155 тыс.

тонн в год МТБЭ с трубчатым реактором, трубки которого заполнены катализатором.

Технологические параметры работы установки – давление до 13 атм и температура синтеза до 60 °С в зоне реакции. При таких условиях реагенты находятся в жидком состоянии. Мольное соотношение метанола к изобутилену – $0,95\text{--}1,08 \div 1$. Отвод тепла осуществляется за счет циркуляции в межтрубном пространстве парового конденсата с температурой 10–50 °С.

После реакторного блока продуктовый поток попадает в узел разделения реакционной массы, представленный тарельчатой колонной ректификации (48 контактных устройств, давление до 6 атм, температура верха 40–60 °С, куба – 120–140 °С), колонны экстракции спирта и двух колонн ректификации водного раствора спирта. Непрореагировавший спирт возвращается в реактор.

Параметры колонны ректификации определяют качество выпускаемой продукции.

Для синтеза МТБЭ на ООО «ЗапСибНефтехим» используют макропористый сульфокатионит в Н-форме, ионообменный катализатор КУ-2-ФПП [6]. Это активный и стабильный катализатор для реакций с участием первичных спиртов, в том числе и этанола. [7].

Условная схема материальных потоков представлена на рисунке 1.

Синтез ЭТБЭ – гетерогенный каталитический процесс в жидкой фазе при избыточном давлении 6–12 атм и температурном режиме до 80 °С. Катализатор – сульфокатионитная смола – размещена на полках реактора. Время пребывания в реакторе 30–40 мин.

Так как метанол и этанол – гомологи, их химические свойства одинаковы. Теплота испарения этилового спирта чуть меньше, чем метилового. Плотности спиртов и эфиров также отличаются незначительно. Это позволяет предположить, что замены теплообменного оборудования не потребуется. И объемные расходы спирта практически не изменятся при той же производительности установки.

Таким образом, основное изменение в технологии для производства ЭТБЭ будет заключаться в замене метилового спирта на этиловый. При проектировании установки в теплообменное оборудование уже заложен некоторый запас по производительности, поэтому потребуются лишь только его перенастройка.

Технологическая схема производства ЭТБЭ будет включать те же основные стадии, что и для производства МТБЭ:

- 1) подготовка сырья;
- 2) собственно химическое превращение;
- 3) выделение целевого продукта;
- 4) утилизация непрореагировавших реагентов и направление их на рецикл.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сырьевые потоки бутан-бутиленовой фракции и этилового спирта нагревают в кожухотрубчатых теплообменниках до 60 °С и 50–60 °С соответственно. Если температура материальных потоков не превышает 200 °С, в качестве теплоносителя на заводах применяется водяной пар под давлением до 12 атм [4].

Целевой продукт синтеза – ЭТБЭ – содержит определенное количество примесей. Процесс очистки и разделения непрореагировавшего сырья проводят более дешевым, чем ректификация, методом сухой отпарки в тарельчатой колонне с кипятыльником. Смесь поступает вверх колонны, далее стекая вниз через контактные устройства, жидкость насыщается более высококипящим компонентом – ЭТБЭ. Пары этанола и углеводородов поднимаются вверх и поступают в куб ректификационного аппарата первой ступени, а из куба аппарата сухой отпарки выходит очищенный ЭТБЭ.

Физические свойства сырья и продуктов представлены в таблице 2. Полученный продукт ЭТБЭ охлаждают водой в теплообменнике и далее перекачивают в хранилище предприятия.

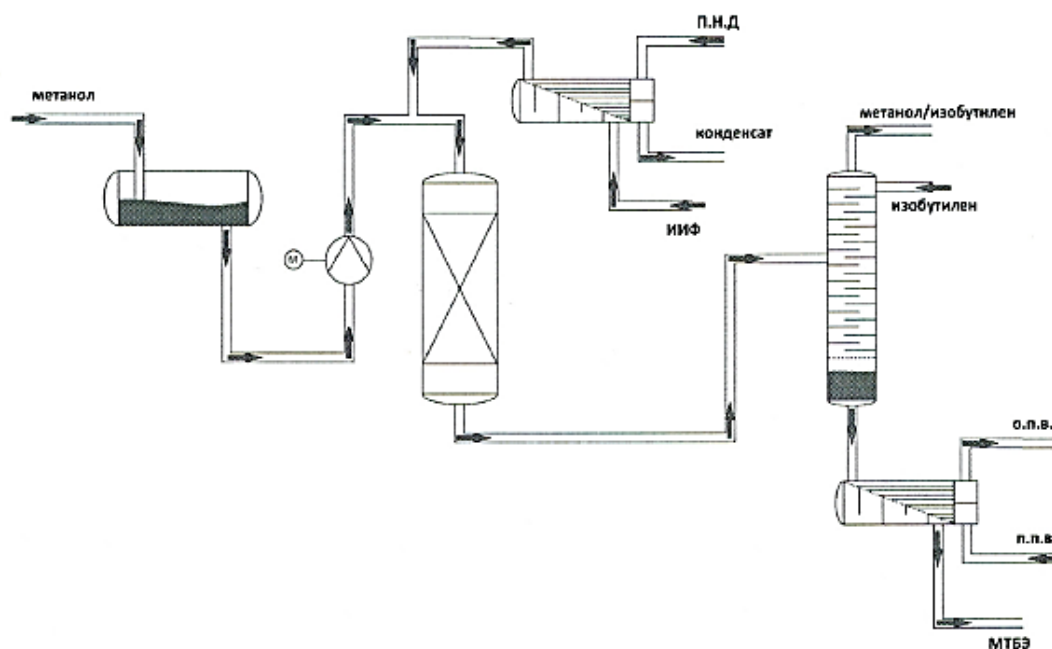


Рисунок 1 – Условная схема материальных потоков установки получения МТБЭ на ООО «ЗапСибНефтехим»

Figure 1 – Conditional flow diagram of the MTBE production facility at ZapSibNeftekhim LLC

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА НА ОСНОВЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТИЛ-ТРЕТБУТИЛОВОГО ЭФИРА

Таблица 2 – Физические свойства сырья и продуктов / Table 2 – Physical properties of raw materials and products

Характеристика	МТБЭ	Метанол	ЭТБЭ	Этанол
ИОЧ	118	116	118	120
Плотность, кг/м ³	746	810	750	794
Температура кипения, °С	55,3	64,7	72,8	78,3
Теплота сгорания, низшая кДж/л	26260	22700	26910	21285

Паровой поток, выходящий с верха колонны ректификации, содержит спирт, углеводородную фракцию, воду и небольшое количество ЭТБЭ. Пары этих веществ конденсируют в конденсаторе. Часть этого конденсата направляют на орошение колонны ректификации для поддержания температуры и соотношения материальных потоков. Разделение углеводородной фракции и водноспиртового раствора про-

водится совмещенным процессом экстракции и отстаивания в колонном аппарате. Контактные устройства могут быть разными, подбор их осуществляется с целью увеличения массообмена.

Затем ректификацией разделяют этанол и воду. Спирт идет на рецикл. Для эффективности целесообразно установить две емкости – для этанола, поступающего с парка хранения, и для полученного ЭТБЭ (рисунок 2).

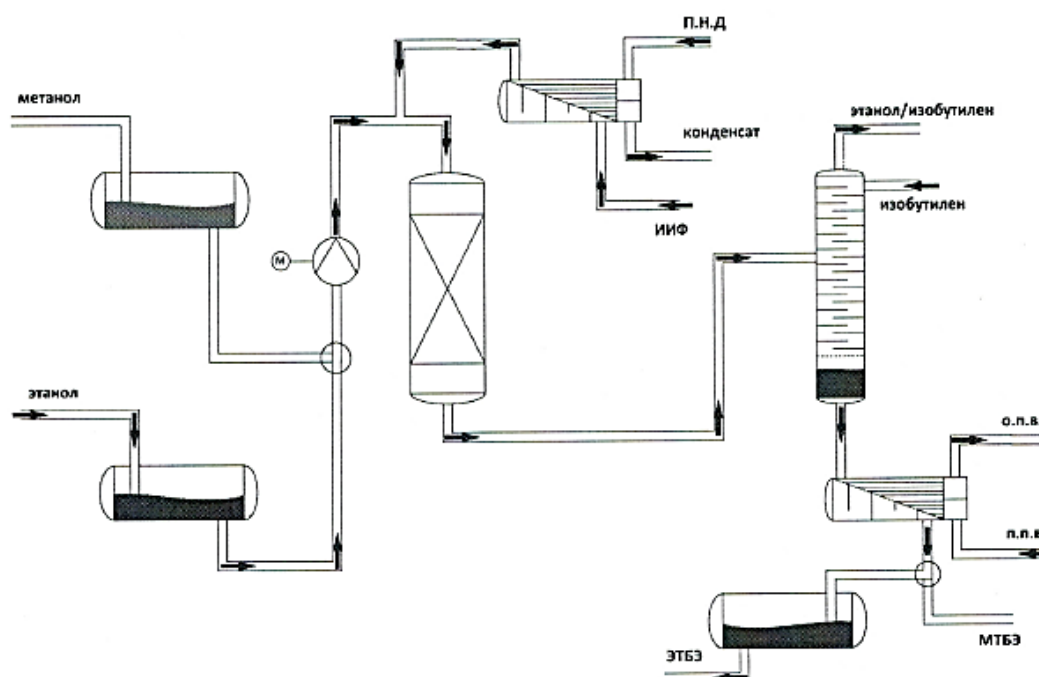


Рисунок 2 – Схема материальных потоков модернизированной установки

Figure 2 – Scheme of material flows of the upgraded installation

Для повышения эффективности производства ЭТБЭ необходимо продолжать поиск оптимальных каталитических систем и параметров технологического режима [8]. Наиболее эффективным аналогом зарубежного сульфокатионитного катализатора для производства МТБЭ и ЭТБЭ в настоящее время является КИФ-Т, сравнительная характеристика которого с катализатором КУ-2ФПП представлена в таблице 2 [9, 10].

ВЫВОДЫ

Для определения экономической эффективности производства каждой присадки необходимо учитывать такие факторы, как затраты на модернизацию и стоимость присадок на мировом рынке, а также цены на катализаторы и первоначальное сырье. С учетом затрат на приобретение технического этанола, можно сделать вывод, что разработка технологии для производства собственного биоэтанола является более выгодным вложением, которое быстро окупится в будущем [11].

Таким образом, технология производства ЭТБЭ реакцией изобутилена с этиловым спиртом на кислотном сульфокатионитном катализаторе характеризуется следующими критериями:

- обеспечивает эффективное производство ЭТБЭ из доступного сырья;
- гарантирует высокое качество производимой продукции;
- оптимально использует сырье и энергию;
- обеспечивает экологически безопасную работу производства.

Развитие данной отрасли позволит России выйти на зарубежный рынок производства присадок автомобильных бензинов, осуществить экспорт и стать одной из лидирующих стран в этом сегменте нефтехимии. Использование установки для производства как МТБЭ, так и ЭТБЭ позволит осуществить своевременный переход от синтеза одного эфира к другому, удовлетворить потребности новых потребителей и поддерживать импортозамещение в России.

Таблица 2 – Характеристика катализаторов КУ-2ФПП и КИФ-Т / Table 2 – Characteristics of KU-2FPP and KIF-T catalysts

Показатели	КУ-2ФПП			КИФ-Т	
	Марка А	Марка А1	Марка А2	Марка А1	Марка А2
Внешний вид гранул	цилиндр	кольцо		цилиндр	
Гранулометрический состав, мм					
- диаметр гранул	6–10	9–13	11–16	5–8	2,5–4,0
- длина	6–15	8–15	10–20	5–15	3–15
- диаметр отверстия	–	3–6	6–9	–	–
- толщина стенки, не менее	–	2,0	2,5	–	–
Полная статическая обменная емкость, мг-экв/г, не менее	2,5	2,5	5	4	4
Каталитическая активность, %, не менее	55	55	55	70	75
Насыпная плотность, не более, г/см ³	0,6	0,6	0,6	0,75	0,75
Массовая доля влаги, %, не более	30	30	30	30–60	30–60

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор. Метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ) / Агентство по охране окружающей среды США. URL : https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.bf6ae69b-678b9c98-3896be22-74722d776562/https/archive.epa.gov/mtbe/web/html/faq.html. (дата обращения: 17.01.2025).
2. Шевченко В.С. Топливные присадки: МТБЭ на пике потребления в России // Вестник химической промышленности : Интернет-портал. URL : <http://vestkhimprom.ru/posts/toplivnye-prisadki-mtbe-na-pike-potrebleniya-v-rossii>. (дата обращения: 17.01.2025).
3. Мировой рынок этанола. Сайт ПНХ. Поволжье нефтехим. <https://petrochemvr.ru/blog/spirity-i-rastvoriteli/mirovoy-rynok-etanola/> (дата обращения: 17.01.2025).
4. Кравченко, Н. А. Разработка технологии производства этил-трет-бутилового эфира на базе технологической схемы производства метил-трет-бутилового эфира / Н.А. Кравченко, А.Д. Морковкина, Н.А. Рахимова // Молодой ученый: Интернет-портал. URL : <https://moluch.ru/archive/179/46434/>. (дата обращения: 29.06.2024).
5. Техническая информация по технологиям производства высокооктановых эфиров ОАО НИИ «ЯРСИНТЕЗ». Ярославль, 2015. 14 с.
6. Способ получения метил-трет-бутилового эфира: пат. 2248344 Росс. Федерация № 2003132587/04; заявл. 06.11.2003; опубл. 20.03.2005, Бюл. № 8. 7 с.
7. Шукин Н.И. Действие катионообменной смолы КУ-2 на первичные спирты нормальной структуры / Н.И. Шукин, Н.А. Поздняк, Т.П. Добрынина // Russ Chem Bull 13, 1613–1614 (1964). <https://doi.org/10.1007/BF00846305>.
8. Производство этилтретбутилового эфира – перспективное направление использования биоэтанола в России / Ф.Ш. Вильданов [и др.] // Башкирский химический журнал. 2013. № 3. С. 145–149.
9. Способ определения каталитических свойств катионитных катализаторов синтеза метил-трет-бутилового эфира: пат. 2161302 Росс. Федерация № 99100522/28; заявл. 05.01.1999; опубл. 27.12.2000, 8 с.
10. Насырова Л.А. Исследование и модифицирование катализаторов синтеза эфиров – оксигенатов реформулированных бензинов : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Уфа, 1999, 23 с.
11. Эффективная практика глубокой переработки газового сырья в химическую продукцию на предприятиях ОАО «СИБУР Холдинг» и используемые технологические процессы / под общ. ред. канд. хим. наук Э.А. Майера. Томск : Издательский дом Томского государственного университета, 2014. 476 с.

Информация об авторах

Н. И. Лосева – кандидат химических наук, доцент кафедры «Общей и физической химии» Тюменского государственного университета.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 декабря 2025; одобрена после рецензирования 24 апреля 2026; принята к публикации 18 мая 2026.

The article was received by the editorial board on 17 Dec 2025; approved after editing on 24 Apr 2026; accepted for publication on 18 May 2026.

REFERENCES

1. Review. Methyl tert - butyl ether (MTBE) / United States Environmental Protection Agency (2025). Retrieved from https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.bf6ae69b-678b9c98-3896be22-74722d776562/https/archive.epa.gov/mtbe/web/html/faq.html. (In Russ.).
2. Shevchenko, V.S. (2016). Fuel additives: MTBE at the peak of consumption in Russia // Bulletin of the Chemical Industry. Retrieved from <http://vestkhimprom.ru/posts/toplivnye-prisadki-mtbe-na-pike-potrebleniya-v-rossii>. (In Russ.).
3. The global ethanol market. - PNH website. Volga Region-Neftekhim. Retrieved from <https://petrochemvr.ru/blog/spirity-i-rastvoriteli/mirovoy-rynok-etanola/>. (In Russ.).
4. Kravchenko, N.A. (2017). Development of technology for the production of ethyl tert-butyl ether based on the technological scheme for the production of methyl tert-butyl ether. Retrieved from <https://moluch.ru/archive/179/46434>. (In Russ.).
5. Technical information on the production technologies of high-octane ethers of JSC Scientific Research Institute YARSINTEZ. (2015). Yaroslavl. (In Russ.).
6. Shcherban, G.T., Li, V.A., Nikitin, V.M., Magsumov, I.A., Yerkhov, A.V. & Zhavoronkov, A.P. (2005). Method of obtaining methyl tert-butyl ether. *Pat. 2248344. Russian Federation, published on 20.03.2005. Bull. No. 8.* (In Russ.).
7. Shukin, N.I. The effect of KU-2 cation-exchange resin on primary alcohols of normal structure / N.I. Shukin, N.A. Pozdnyak, and T.P. Dobrynina // Russ Chem Bull 13, 1613–1614 (1964). <https://doi.org/10.1007/BF00846305>.
8. Wildanov, F.S. & [others]. (2013). Ethyltertbutyl ether production is a promising area of bioethanol use in Russia. *Bashkir Chemical Journal* (3), 145–149. (In Russ.).
9. Galimov, J.F., Nasyrova, L.A., Gazizov, M.H., Gibadullina, H.M., Kvitko, V.J. & Usmanov, M.R. A method for determining the catalytic properties of cationic catalysts for the synthesis of methyl tert-butyl ether. *Pat. 2161302. Russian Federation, published on 27.12.2000.* (In Russ.).
10. Nasyrova, L.A. (1999). Research and modification of catalysts for synthesis of ethers - oxygenates of reformed gasoline. Extended abstract of candidate's thesis. Ufa. (In Russ.).
11. Effective practice of deep processing of gas raw materials into chemical products at the enterprises of JSC SIBUR Holding and the technological processes used. (2014). Tomsk : Publishing House of Tomsk State University. (In Russ.).

Information about the authors

N.I. Loseva - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of General and Physical Chemistry at Tyumen Industrial University.