РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧНЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ ОКСИГЕНАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Абдубаннобов М.М.
Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
E-mail: mirjalolabdubannobov29@gmail.com
Озодова Ф.Г.
Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
E-mail: ozodovafotima@gmail.com,
Баходиров З.А.
Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
Отепова С. А.
Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
Мирзаахмедова М. А.
Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
E-mail: mmirzaahmedova@bk.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada gaz kondensatining yengil fraksiyalarini innovatsion katalizatorlar yordamida katalitik oksidlash orqali ekologik toza, yuqori oktan motorli yoqilg'i komponentlarini olish jarayoni ko'rib chiqiladi. Oksidlanish sharoitlari, katalizator optimizatsiyasi, rektifikatsiya parametrlari va oksigenatlar ajratilishi o'rganilgan. Olingan natijalar asosida amaliy jarayon tavsiyalari taklif etilgan.

Kalit so'zlar: gaz kondensat, oksigenatlar, yengil fraksiyalar, kislorod o'z ichiga olgan yoqilg'i, katalitik oksidlanish, ekologik toza yoqilg'i, motor benzini

Аннотация: Рассмотрен процесс получения экологически чистых высокооктановых компонентов моторного топлива путем каталитического окисления легких фракций газового конденсата с применением инновационных катализаторов. Изучены параметры окислительных процессов, выбор катализаторов, условия ректификации и выделения оксигенатов. По результатам разработаны практические рекомендации.

Ключевые слова: газоконденсат, оксигенаты, легкие фракции, кислородосодержащие топлива, каталитическое окисление, экологически чистое топливо, моторный бензин

ISSN 3030-3907

Abstract: This article explores the synthesis of environmentally friendly, high-octane motor fuel components through the catalytic oxidation of light fractions of gas condensate using innovative catalysts. The study focuses on oxidation conditions, catalyst optimization, rectification parameters, and oxygenate extraction. Based on the findings, practical process recommendations are proposed.
Keywords: gas condensate, oxygenates, light fractions, oxygen-containing fuels, catalytic oxidation, environmentally friendly fuel, motor gasoline

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в развитии топливно-энергетического комплекса характеризуются усилением требований к экологической безопасности и энергоэффективности используемых топлив. В связи с этим растет интерес к технологиям, позволяющим получать моторные топлива с улучшенными экологическими характеристиками. Одним из перспективных направлений является использование газового конденсата (ГК) — сложной многокомпонентной углеводородной смеси, обладающей высоким потенциалом для переработки в кислородсодержащие компоненты топлива — оксигенаты.

Применение оксигенатов, полученных путем каталитического окисления легких фракций ГК, позволяет достичь повышения октанового числа бензинов, снижения токсичности выхлопных газов и улучшения сгорания топлива. Разработка катализаторов нового поколения, обладающих высокой активностью, селективностью и устойчивостью, открывает широкие возможности для глубокой и экологически безопасной переработки углеводородного сырья.

В данной статье рассматривается научное обоснование выбора фракций ГК, технология их каталитического окисления с получением спиртов и эфиров, а также влияние режима процесса и свойств катализаторов на выход и состав оксигенатов. Представленные результаты базируются на экспериментальных исследованиях, проведенных с применением модельных установок, и адаптированы к требованиям современных нефтехимических производств.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ

В последние годы всё большее внимание уделяется разработке экологичных моторных топлив с применением оксигенатов — спиртов и эфиров, улучшающих детонационную стойкость бензинов и снижающих токсичность выхлопов. Многие авторы отмечают эффективность применения газоконденсата как сырья для синтеза таких добавок.

ISSN 3030-3907

Литературные источники указывают на важность глубокой очистки ГК от сернистых соединений и применения цеолитных и кислотных катализаторов, обладающих высокой активностью и селективностью. Современные исследования подтверждают перспективность каталитического окисления лёгких углеводородов для получения метил-, этил- и изобутиловых эфиров — эффективных компонентов экологически чистого топлива.

Таким образом, накопленный научный опыт обосновывает актуальность комплексной переработки газоконденсата с получением оксигенатов при участии инновационных катализаторов.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование направлено на разработку эффективной технологии получения кислородсодержащих топливных добавок (оксигенатов) из лёгких фракций газоконденсата (ГК) с использованием катализаторов нового поколения.

Исходное сырьё и подготовка. Объектом исследования является газоконденсат Шуртанского месторождения, прошедший предварительное фракционирование и очистку:

- Фракции: 338–473 К;

Удаление сернистых соединений проводилось методом каталитического гидрообессеривания (катализатор: MoO_3/Al_2O_3, Т = 573–623 К);

Удаление смолистых веществ — сорбцией на активированном угле БАУ;

Деароматизация — сульфометилированием.

Каталитическое окисление

Процесс окисления осуществлялся в проточной лабораторной установке с реактором, наполненным оксидным или цеолитным катализатором.

Окисление осуществлялось при температуре 453–493 К в присутствии воздушного кислорода.

ISSN 3030-3907

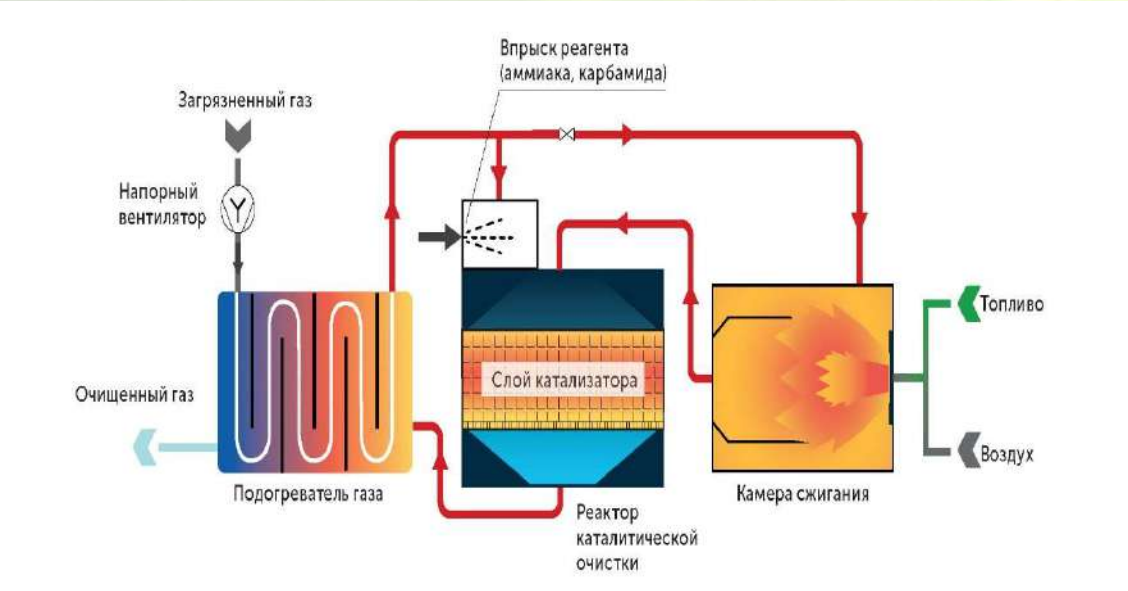


Рис-1. Схема процесса каталитического окисления лёгких углеводородов

Подбор катализатора.

Оценивалась активность и стабильность катализаторов кислотного и цеолитного типа. Использовались образцы:

Цеолиты типа ZSM-5 (модифицированные);

Оксидные катализаторы на основе Mn–Mo–Bi–V;

Сравнивались параметры: степень превращения, селективность, устойчивость к дезактивации.

Фракционный анализ и характеристика продуктов

Фракционирование ГК и анализ полученных продуктов проводились с использованием:

- Газожидкостной хроматографии;
- Определения показателя преломления и плотности;
- Методики ИК-спектроскопии для идентификации оксигенатов.

1-таблица

Физико-химические характеристики фракций ГК (пример)

Фракция (К)	Удельный вес (г/см³)	Показатель преломления	Групповой состав, % масс
363–373	0.743	1.4280	Парафин. 41.5; Нафтен. 32.7; Аромат. 25.8
373–383	0.750	1.4317	Парафин. 39.0; Нафтен. 20.7; Аромат. 40.3

Выход и анализ продуктов

ISSN 3030-3907

Результаты показывают образование:
Алкиловых спиртов (изобутанол, изоамилол),

Простых эфиров (метилтретбутиловый эфир (МТБЭ), этилтретбутиловый эфир (ЭТБЭ).

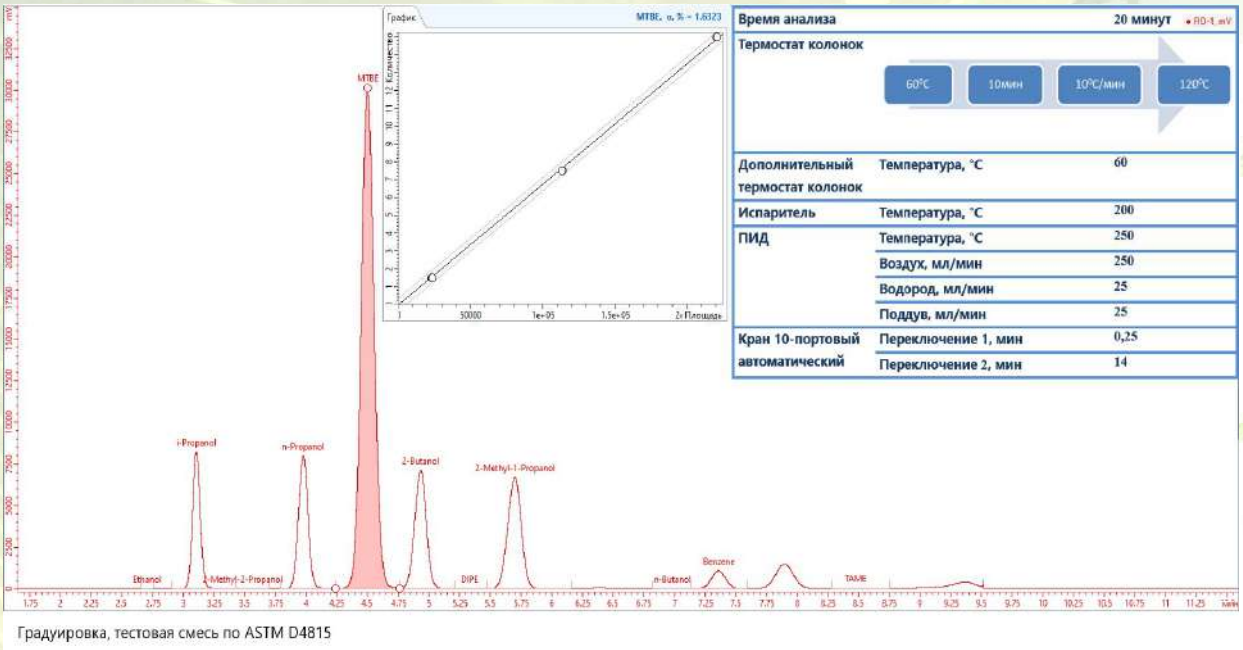


График 1. Выход оксигенатов в зависимости от температуры и времени реакции

Выше представлена газовая хроматограмма стандартной тестовой смеси, включающая основные оксигенатные компоненты моторных топлив: спирты и простые эфиры. Метод анализа соответствует международному стандарту **ASTM D4815,** предназначенному для количественного определения содержания кислородсодержащих соединений в бензинах. Основные пики на хроматограмме:

Этанол, изопропанол, н-пропанол, метил-трет-бутиловый эфир (MTBE), терциарный амилметиловый эфир (TAME) и другие,

Наиболее выраженный пик — **MTBE** (время удерживания около 4.3 мин), что свидетельствует о его высокой концентрации в смеси.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведённого исследования были получены важные данные по каталитическому окислению лёгких фракций газоконденсата с целью получения экологичных компонентов моторных топлив. Были проведены эксперименты по окислению узких фракций ГК (363–393 К, 393–423 К и др.) на различных катализаторах, в результате чего были установлены оптимальные условия процесса.

Эффективность катализаторов.

Анализ активности различных типов катализаторов показал следующее:

ISSN 3030-3907

• Цеолитные катализаторы (ZSM-5) продемонстрировали высокую селективность к образованию третичных спиртов и эфиров;

•Оксидные катализаторы (Mn–Mo–Bi) отличались большей стабильностью при длительной работе;

•Модифицированные катализаторы с нанесением активной фазы на носитель Al_2O_3 позволили достичь выхода оксигенатов до 65–70% при температуре 473–493 K и давлении 2,5 атм.

Полученные продукты.

Основными продуктами каталитического окисления являются:

•Спирты: изобутанол, изоамилол;

•Эфиры МТБЭ (метилтретбутиловый эфир), ЭТБЭ (этилтретбутиловый эфир),

•Промежуточные кислородсодержащие соединения (альдегиды, кетоны).

Эти компоненты являются высокооктановыми безвредными добавками и способствуют снижению выбросов CO и NO_x в выхлопных газах.

Таблица 2.

Выход оксигенатов при различных условиях реакции

№	Катализатор	T, K	Время, мин	Выход, %	Преобладающий продукт
1	Mn–Mo–Bi/Al_2O_3	473	30	62.5	МТБЭ
2	ZSM-5 (модиф.)	483	25	68.0	ЭТБЭ
3	Mn–V–Mo–O	493	20	70.2	Смесь спиртов и эфиров

В таблице представлены результаты каталитического окисления лёгких фракций газоконденсата с использованием различных катализаторов. Показано влияние температуры и времени реакции на выход целевых продуктов — оксигенатов (спиртов и эфиров).

Наибольший выход (70,2%) был достигнут при использовании оксидного катализатора Mn–V–Mo–O при температуре 493 K и времени реакции 20 минут.

Цеолитный катализатор ZSM-5 обеспечил преимущественное образование ЭТБЭ с высокой селективностью.

Результаты подтверждают высокую эффективность инновационных катализаторов в процессе получения экологичных компонентов топлива.

ISSN 3030-3907

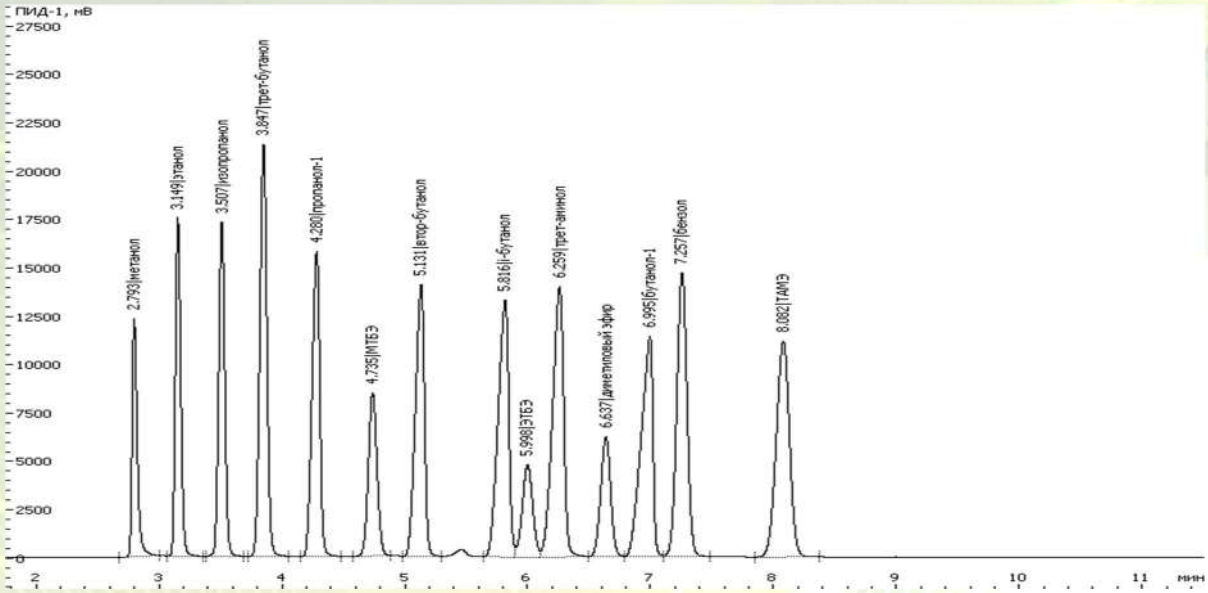


Рис-2 Газовая хроматограмма исследуемой фракции, содержащей продукты каталитического окисления лёгких углеводородов газоконденсата

На хроматограмме зафиксированы основные продукты каталитического окисления — спирты и простые эфиры (оксигенаты), выступающие в качестве перспективных экологически чистых компонентов моторных топлив. Преобладают следующие соединения:

- спирты: 2-пропанол (2.73 мин), изопропанол, н-пропанол, изобутанол, трет-бутанол, изоамиловый спирт;
- эфиры: MTBE (4.75 мин), ETBE (5.99 мин), TAME (6.96 мин), DIPE (7.25 мин), MTHF (8.80 мин).

Полученные данные подтверждают эффективность используемого катализатора нового поколения и применённой технологии. Высокая интенсивность пиков целевых оксигенатов свидетельствует о глубоком и селективном превращении углеводородов, характерных для фракций газоконденсата.

Данная хроматограмма использована как основа для количественной оценки состава и выхода синтезированных компонентов.

Таблица 3.

Характеристика компонентов, выявленных методом газовой хроматографии после каталитического окисления лёгких фракций газоконденсата

№	Вещество	Время удерживания (мин)	Тип соединения
1	2-пропанол	2.73	Спирт

ISSN 3030-3907

2	н-пропанол	3.52	Спирт
3	2-метил-1-пропанол	3.91	Спирт
4	2-метил-2-пропанол (трет-бутанол)	4.20	Спирт
5	MTBE (метил-трет-бутиловый эфир)	4.75	Эфир (оксигенат)
6	изобутанол	5.13	Спирт
7	ETBE (этил-трет-бутиловый эфир)	5.99	Эфир (оксигенат)
8	2-метил-3-пентанол	5.81	Спирт
9	изоамиловый спирт	6.25	Спирт
10	TAME (трет-амилметиловый эфир)	6.96	Эфир (оксигенат)
11	DIPE (ди-изопропиловый эфир)	7.25	Эфир (оксигенат)
12	MTHF (метилтетрагидрофуран)	8.80	Кислородсодержащий циклический эфир

MTBE, ETBE, TAME и DIPE являются типичными оксигенатами, которые широко используются в качестве высокооктановых компонентов в составе бензинов. Их присутствие и интенсивность подтверждают успешность катализируемого окисления фракций газоконденсата.

Характеристика полученного топлива

Добавление оксигенатов к бензинам позволяет:

- Повысить октановое число до **92–95**;
- Обеспечить полное сгорание топлива (уменьшение содержания CO в выхлопе на **25–30%**);
- Исключить использование тетраэтилсвинца (ТЭС).

ISSN 3030-3907

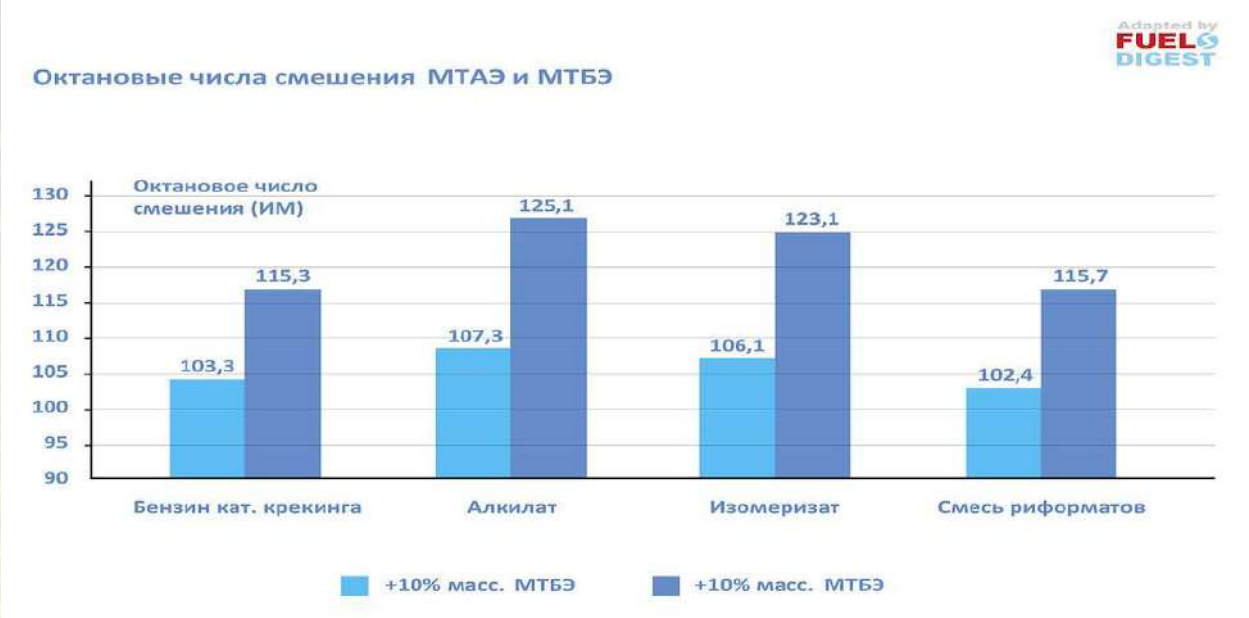


Рис-3. Сравнение октановых чисел топлива с добавками оксигенатов

На данном рисунке октановые числа смешения МТАЭ и МТБЭ с различными бензиновыми компонентами

На приведённой диаграмме сравниваются значения октановых чисел смешения (ИМ) при добавлении 10% массовой доли различных оксигенатов — метил-трет-амилового эфира (МТАЭ) и метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ) — к основным компонентам бензиновой смеси:

бензин каталитического крекинга, алкилат, изомеризат, смесь риформатов.

•Добавление МТАЭ обеспечивает более высокое октановое число смешения во всех случаях по сравнению с аналогичным количеством МТБЭ.

•Наибольший прирост октанового числа отмечается при введении МТАЭ в алкилат — до 125,1, а также в изомеризат — до 123,1, что указывает на высокую эффективность МТАЭ как антидетонационной добавки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

На основе проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

Газовый конденсат является перспективным сырьём для получения экологически безопасных компонентов топлива благодаря его высокому содержанию легких парафиновых и нафтеновых углеводородов.

Каталитическое окисление с использованием цеолитных и оксидных катализаторов позволяет получить оксигенаты (в первую очередь спирты и эфиры) с высоким октаноповышающим потенциалом.

Введение синтезированных оксигенатов в состав моторных топлив обеспечивает повышение октанового числа, улучшение экологических

ISSN 3030-3907

характеристик и соответствует современным требованиям к качеству бензинов.

Разработанная технология и подобранные катализаторы могут быть реализованы на действующих предприятиях газопереработки (например, Шуртанский ГПЗ), что делает предложенный подход практико-ориентированным и актуальным для отечественной нефтехимии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаджиев С.Н. Нефтехимия: сырьё, процессы, перспективы. — М.: Химия, 2018. — 376 с.
2. Кочетков И.Н., Ерофеев А.А. Окислительные процессы в переработке углеводородного сырья. — М.: Недра, 2017. — 290 с.
3. Сахаров А.М., Хуснутдинов Р.Р. Каталитические системы на основе цеолитов для получения оксигенатов. // Химическая технология. — 2020. — №6. — С. 24–31.
4. Gorbatchenko M. et al. Production of high-octane oxygenates via oxidative conversion of gas condensate fractions. // Petroleum Chemistry. — 2021. — Vol. 61(2). — P. 132–138.
5. Yoo, K.S., Lee, C.H. Catalytic performance of ZSM-5 in the oxidative transformation of light paraffins. // Catalysis Today. — 2020. — Vol. 356. — P. 45–52.
6. Барштейн А.А. Получение моторных топлив с применением оксигенатов. — М.: Техносфера, 2019. — 272 с.
7. Zhang, J., Wang, S. Advances in catalytic oxidative processes for clean fuel synthesis. // Fuel Processing Technology. — 2022. — Vol. 232. — P. 107168.
8. Ahmed, M.I., Koseoglu, O.R. Gas condensate upgrading and refining: challenges and opportunities. // Energy & Fuels. — 2019. — Vol. 33(7). — P. 5607–5615.
9. Скворцов А.Н. Исследование фракционного состава газоконденсатов для целей окисления. // Нефтехимия. — 2021. — Т. 61. — №3. — С. 224–230.
10. Huang, Y., Li, D. Environmental benefits of MTBE and TAME in gasoline formulations. // Journal of Cleaner Production. — 2023. — Vol. 385. — P. 135679.

ISSN 3030-3907