

С. Ю. Шавшукова (д.т.н., доц.), С. Д. Грачев (асп.)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра общей, аналитической и прикладной химии
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: sshavshukova@mail.ru

S. Yu. Shavshukova, S. D. Grachev

THE STATUS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE SYNTHETIC LUBRICATING OILS PRODUCTION

Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str., 450064, Ufa, Russia; e-mail: sshavshukova@mail.ru

Проанализированы данные по видам, свойствам и современным научным разработкам в области получения синтетических смазочных материалов. Охарактеризовано мировое и отечественное производство моторных масел на основе поли- α -олефинов. Показано, что благодаря таким свойствам, как высокий индекс вязкости, низкие температуры застывания, экологическая безопасность и др., синтетические смазочные материалы становятся все более востребованными. В настоящая время сдерживающим фактором расширения их производства является более высокая стоимость по сравнению с минеральными (нефтяными) маслами.

Ключевые слова: катализаторы; моторные масла; олигомеризация; поли- α -олефины; полиалкиленгликоли; синтетические смазочные материалы; эфиры.

Производство двигателей нового поколения и создание технических узлов и механизмов, эксплуатируемых в различных, часто экстремальных температурных и технологических режимах, требует постоянного улучшения качественных характеристик смазочных материалов. Традиционно применяемые минеральные (нефтяные) масла уже не всегда соответствуют требованиям эксплуатации новой техники. Одним из подходов к достижению требуемого качества смазочных материалов является применение присадок, разработка которых превратилась в отдельную область нефтехимии. На современном этапе технологического развития, сопровождающемся ужесточением экологических норм, востребованы инновационные подходы к созданию многофункциональных смазочных материалов, что открывает новые возмож-

The data on the types, properties and scientific researches in the field of synthetic motor oils are analyzed. The global and domestic production of synthetic motor oils based on poly- α -olefins is characterized. It is shown that synthetic lubricants are becoming more and more in demand due to such properties as a high viscosity index, low pour point, environmental safety, etc. Currently, the limiting factor in the expansion of their production is higher cost compared to mineral (petroleum) oils.

Key words: α -olefins; catalysts; esters; motor oils; oligomerization; polyalkylene glycols; synthetic lubricants.

ности для их производства, а конкуренция на рынке вынуждает производителей использовать научные подходы в совершенствовании технологий производства и повышении качества конечного продукта.

Наметившаяся в последние десятилетия устойчивая тенденция увеличения производства синтетических смазочных материалов связана не столько с сокращением запасов нефти, сколько с развитием парка новой техники, эффективно работающей только с применением синтетического масла, а также техники, предназначенной для работы в суровых климатических условиях. Современная зарубежная реактивная авиация использует для обслуживания двигателей только синтетические масла.

По оценкам специалистов, на мировом рынке в последующее десятилетие ожидается устойчивое повышение спроса на синтетические смазоч-

Дата поступления 03.12.23

ные материалы, которое в денежном выражении к 2029 году превысит 38.9 млрд долл. США по сравнению с 24.2 млрд долл. в 2020 году ¹.

Несмотря на более высокую стоимость синтетических смазочных материалов по сравнению минеральными маслами, спрос на эту продукцию растет, и такая тенденция сохранится, вероятно, до масштабного расширения производства масел по технологии GTL (переработка природного газа в жидкие углеводородные продукты).

Российский объем потребления смазочных материалов (в совокупности минеральных, синтетических и полусинтетических) в настоящее время оценивается специалистами в 1.5 млн т. К 2030 году прогнозируется увеличение роста до 1.6–1.8 млн т. Эксперты также отмечают растущий спрос на синтетические продукты на внутреннем рынке ².

Синтетические моторные масла по сравнению с минеральными обладают следующими преимуществами ³:

- увеличенный рабочий ресурс;
- пониженный расход топлива (на 5–10 % в зависимости от типа двигателя и условий его эксплуатации);
- пониженное значение температуры застывания;
- хорошие смазочные свойства;
- высокая термостабильность;
- низкая летучесть;
- экологическая безопасность.

Среди недостатков синтетических аналогов отмечается, прежде всего, их более высокая стоимость по сравнению с минеральными гидрокрекингowymi маслами (в 2–2.5 раза), а также агрессивность некоторых типов масел по отношению к материалам уплотнения.

В качестве основы синтетических масел используются, главным образом, соединения следующих классов:

- олигомеры олефинов;
- алкилированные ароматические углеводороды;
- эфиры двухосновных кислот;
- полиоловые эфиры;
- полиалкиленгликоли;
- эфиры фосфорной кислоты;
- фторуглеводороды;
- полиорганосилоксаны.

Установлена взаимосвязь между химической структурой базового масла и его смазочными свойствами (температурой застывания, вязкостью и вязкостно-температурной характеристикой). Так, у насыщенных алифатических углеводородов вязкость возрастает по мере увеличения длины цепи. Такая же зависимость прослеживается для температуры застывания и индекса вязкос-

ти. Положение боковых цепей в молекуле углеводорода также влияет на свойства смазочных материалов: более низкими температурами застывания характеризуются продукты на основе углеводородов с разветвлением в середине цепи, а длинные боковые цепи улучшают вязкостно-температурные характеристики ⁴.

Поли- α -олефиновые масла

В ряде научных исследований ^{5, 6} проведено сопоставление характеристик синтетических масел, полученных на основе соединений различной природы, и показано, что продукт на основе поли- α -олефинов (ПАОМ) обладает высоким индексом вязкости и отличными низкотемпературными свойствами (не теряет свойств при температурах до минус 60 °С), стойкостью к окислению в присутствии ингибиторов, экологически безопасен. При сравнении с другими углеводородными маслами (диалкилбензолами, полибутенами) ПАОМ характеризуется лучшими реологическими свойствами и термоокислительной стабильностью.

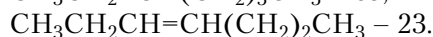
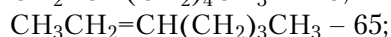
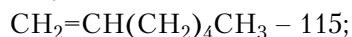
По классификации *API (American Petroleum Institute)* поли- α -олефиновые масла с повышенной окислительной стабильностью и увеличенным индексом вязкости (> 130) относятся к IV группе. Один из основных качественных показателей масла – индекс вязкости – характеризует сохранение вязких свойств при температурных колебаниях.

Поли- α -олефины широко используются в качестве основы моторных, авиационных, гидравлических, трансмиссионных, компрессорных, холодильных, вакуумных масел и пластичных смазок ⁷.

ПАОМ не содержит гетероатомных примесей, имеет максимально однородную молекулярную структуру. Из минусов следует отметить, что растворяющая способность таких масел ограничена по отношению к некоторым присадкам, что преодолевается добавлением небольших количеств сложных эфиров. ПАОМ можно использовать в качестве базового компонента, в сочетании с синтетическими сложными эфирами или с нефтяными маслами, или в смеси и с теми, и с другими.

Сырьем для получения ПАОМ являются непредельные углеводороды с числом атомов углерода более 5 и менее 20 и размещением двойной связи у первого атома углерода. Обнаружено, что для достижения комплекса важнейших свойств синтетических масел: высокого индекса вязкости, низкой температуры застывания и высокой температуры вспышки подходит ограниченное число индивидуальных α -олефинов или их технических смесей. Вовлечение в синтез олефинов с внутренней двойной связью нежелательно, поскольку приводит к резкому снижению их индекса вязкос-

ти, что видно из зависимости «алкен – индекс вязкости»⁸:



Линейные α -олефины (ЛАО) в промышленности получают в процессе термического крекинга парафинов или олигомеризации этилена, которая, в свою очередь, осуществляется в одно-, двух- и трехстадийных процессах.

Проведенные исследования зависимости физико-химических свойств ПАОМ от природы исходного α -олефина показали, что оптимальным сырьем для производства ПАОМ является децен-1 ($\text{CH}_2=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$) или деценовая фракция C_8-C_{14} ⁹. В табл. 1 приведен углеводородный состав фракции C_8-C_{14} , полученной разными способами.

На основе олигомеров α -олефинов в зависимости от условий процесса и типа катализатора получают ПАОМ разной вязкости. Классическим примером является олигомеризация этилена в присутствии катализатора $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$. Процесс осуществляется при температуре 90–200 °С и давлении 8–20 МПа. Для получения маловязких ПАОМ процесс проводят при температуре 40 °С и давлении 0.4–0.6 МПа с катализатором BF_3 . При получении средневязких ПАОМ используют AlCl_3 . Для получения высоковязких ПАОМ используют растворители, температуру олигомеризата поддерживают в диапазоне от минус 10 до минус 60 °С¹⁰.

Существует экономичный способ термической полимеризации олефинов. Олефины C_6-C_{12} превращают в масла при температуре до 500 °С в присутствии газов (CO и H_2) или циклических углеводородов (алкилциклогексанов, алкилбензолов и т. п.) при очень коротком времени пребывания в реакторе. Получают масла с индексом вязкости до 150, низкой испаряемостью и повышенной окислительной и термостабильностью⁴.

В двухстадийном процессе линейные α -олефины получают в результате парофазного крекинга парафинов, газойля или нефтяных дистиллятов селективной очистки. В результате полиме-

ризации первой ступени фракции C_5-C_{20} в течение 2 ч при 315 °С и давлении 1.3–2.7 МПа образуются масла, которые после удаления непрореагировавших олефинов имеют индекс вязкости 56. Из них на второй ступени термической полимеризации после гидроочистки и депарафинизации получают масла с индексом вязкости >100.

В трехстадийном процессе на первой стадии получают α -олефины под давлением 200 атм и температуре до 200 °С, на второй стадии проводят олигомеризацию α -олефинов под вакуумом ~50 мм рт. ст. Третья стадия представляет собой гидрирование полученных продуктов на стандартных катализаторах.

Поскольку олигомеры α -олефинов представляют интерес не только как основа для масел, но также используются для получения большого числа различных химических продуктов, проводятся активные научные исследования, направленные на совершенствование процесса их получения и увеличение выхода олигомеров. В этих целях испытываются новые катализаторы и технологические режимы.

В качестве катализаторов процесса олигомеризации используются BF_3 , AlCl_3 , TiCl_4 , ZrCl_4 , $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$, алкилалюминийхлорид и другие. Гетерогенные катализаторы на основе мезопористых алюмосиликатов и цеолитов позволяют получать продукты с заданными свойствами за счет модифицирования поверхности различными металлами и соединениями для создания необходимых кислотных характеристик и повышения селективности процесса^{11, 12}.

В зарубежных производствах используются, как правило, многокомпонентные катализаторы, включающие BF_3 . Недостатками такого типа катализаторов является их коррозионная активность, высокая летучесть и токсичность.

Предложено применение в процессе олигомеризации наноструктурированных кислотных катализаторов, которые оказались эффективны для переработки не только низших олефинов, но и тяжелых, в том числе ненасыщенных углеводородов $\text{C}_{10}-\text{C}_{30}$. У катализаторов с наноструктурой отсутствуют недостатки традиционных катализа-

Таблица 1
Средний углеводородный состав фракции C_8-C_{14} , полученной разными способами, % мас.⁸

Углеводороды	Крекинг парафинов	Процесс олигомеризации этилена		
		1-стадийный	2-стадийный	3-стадийный
ЛАО	83.0 – 85.0	91.0 – 97.0	86.0 – 97.0	96.0 – 97.5
Разветвленные алкены	2.0 – 4.0	1.6 – 7.8	1.9	1 – 3
Алкены с внутренней двойной связью	5.0 – 7.0	1.6 – 7.8	0.6 – 5.0	1.0 – 2.4
Алканы	6 – 10	1.4	0.1 – 0.9	< 0.1
Диены	3 – 6	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Арены	0.2 – 0.4	< 0.1	< 0.1	< 0.1

торов, такие как сложность отделения от продуктов реакции (например, металлокомплексных), невозможность повторного использования, коксообразование, высокая токсичность и коррозионная активность ¹³.

Разработан процесс катионной олигомеризации олефинов с использованием высокодисперсного алюминия (0.1–40 мкм) и хлорорганических соединений. Применение разработанной каталитической системы и специально созданного реактора олигомеризации позволяет регулировать фракционный состав и строение полученных продуктов, получать основу низкозастывающих экологически чистых масел ПАОМ-2, ПАОМ-4, ПАОМ-6, ПАОМ-8, ПАОМ-10 ¹⁴.

Недавние исследования по применению новых цирконоценовых катализаторов – комплексов Zr (IV) в процессах олигомеризации α -олефинов показали высокую эффективность в повышении селективности процесса и увеличении выхода целевых продуктов до 90% ^{15, 16}.

В основе промышленной технологии получения ПАОМ лежит каталитическая олигомеризация α -олефинов, обеспечивающая получение олигомеров с заданным молекулярно-массовым рас-

пределением. Область применения ПАОМ зависит от вязкости (табл. 2) ¹⁷.

Технология получения ПАОМ состоит из следующих основных стадий:

- каталитическая олигомеризация;
- нейтрализация катализатора;
- ректификация олигомеризата;
- гидрирование ПАО;
- ректификация гидрогенизата.

Принципиальная технологическая схема производства ПАОМ на основе децена-1 представлена на рис. 1 ¹⁰.

По схожей схеме получают синтетические масла на основе линейных олефинов с двойной связью не в α -положении (полиинтраолефиновые масла – ПИОМ), а также полибутеновые масла. Последние получают олигомеризацией бутан-бутеновой, изобутан-изобутеновой или бутен-изобутеновой фракции на катализаторе $AlCl_3$ или BF_3 ¹⁰. Полиизобутены с молекулярной массой 300–1500 используют в качестве присадок, улучшающих индекс вязкости. Применение таких масел ограничено из-за низкой стойкости к окислению: при температурах выше 200 °С они деполимеризуются с образованием газообразных про-

Таблица 2

Применение некоторых видов ПАОМ

Вид	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	Область применения
ПАОМ-2	1.7 – 2.0	Гидравлические жидкости, буровые растворы, вакцинные масла
ПАОМ-4-6	3.8 – 6.5	Синтетические и полусинтетические моторные масла
ПАОМ-7-9	6.8 – 9.2	Трансмиссионные масла
ПАОМ-10-13	9.8 – 14.0	Компрессорные, промышленные, вакуумные, холодильные масла, пластичные смазки

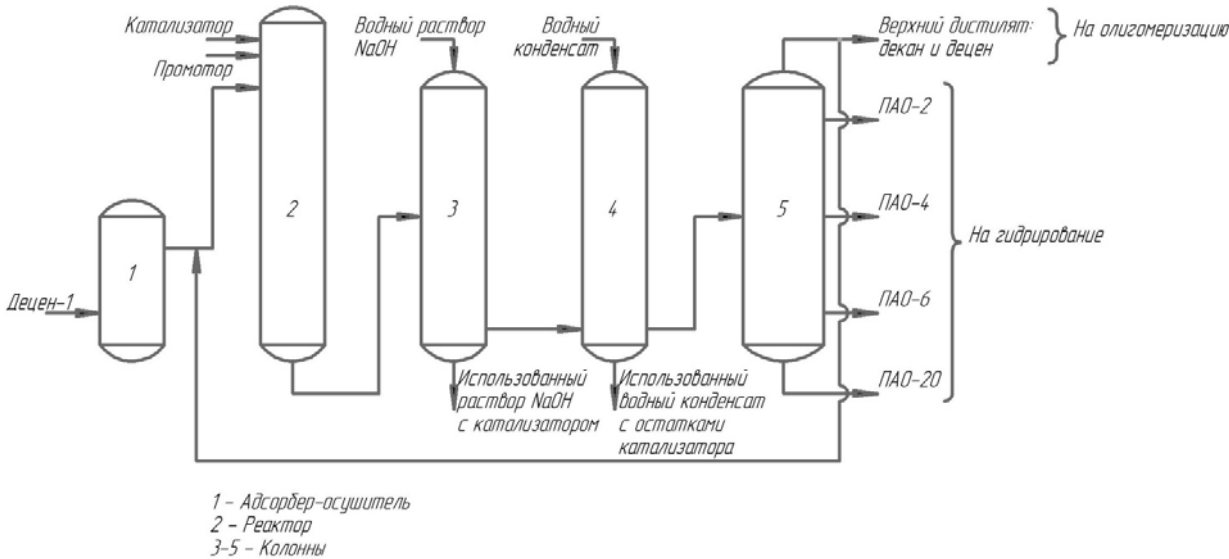


Рис 1. Стандартная схема производства ПАОМ

дуктов. Полиизобутены используют также в качестве базового компонента специальных пластичных смазок.

В целях расширения отечественного производства синтетических масел предлагаются улучшенные технологические схемы получения ПАОМ различного уровня вязкости с применением новых каталитических систем ¹⁸.

Разработана технология получения ПАОМ-20 в проточном реакторе на основе отечественной промышленной октеневой фракции α -олефинов. Найдено, что при олигомеризации октеневой фракции соблюдаются основные закономерности, установленные для фракций C_{10} и C_8-C_{14} ¹⁹.

Основы промышленных технологий и результаты научных исследований олигомеризации этилена в высшие линейные α -олефины представлены в работах ^{20, 21}.

В производство синтетических масел также вовлекаются α -олефины, полученные из растительных масел низкой пищевой ценности ²².

Мировые мощности по производству олефинов представлены в табл. 3. Специалисты отмечают, что мировой спрос на ПАОМ растет ежегодно примерно на 7.5%. Российские потребности в ПАОМ, которые оцениваются в среднем в 15 тыс. т/год, удовлетворяются за счет импорта как поли- α -олефинов, так и товарных масел ²³, поэтому актуальность развития отечественного производства синтетических масел не вызывает сомнений. В настоящее время в России действует только одно производство ПАОМ на предприятии ООО «ТАИФ-СМ» (бренд *Taif Lubricants*), продукция которого не уступает, а по ряду показателей превосходит зарубежные аналоги ²⁴.

Компания Газпромнефть заявила о запуске комплекса производства синтетических масел на заводе смазочных материалов в Омске. Производство планируется осуществлять по трехступенчатой системе, обеспечивающей качество продукции на уровне мировых стандартов ²⁵.

Таблица 3
Мировые мощности по производству α -олефинов для ПАОМ ⁴

Страна	Производственные мощности, тыс. т/год
США	1450
Бельгия	300
Великобритания	270
Канада	250
ЮАР	177
Саудовская Аравия	150
Япония	105
Россия	38

Другие виды синтетических масел

Одним из перспективных направлений развития отрасли синтетических смазочных материалов является их производство на основе сложных эфиров. Смазки, полученные на сложноэфирной основе, более стабильны при высоких температурах, чем ПАОМ, и все чаще используются в реактивных двигателях, а также в трансмиссиях, поршневых компрессорах и гидравлических узлах.

Сложные эфиры получают при взаимодействии двухосновных кислот с одноатомными спиртами или одноосновных кислот с многоатомными спиртами. Диэфиры имеют более разнообразную структуру, чем поли- α -олефины, они хорошо смешиваются с минеральными маслами.

Преимуществами диэфирных масел по сравнению с минеральными являются термостабильность и высокие индексы вязкости, способность растворять отложения, образованные другими смазочными материалами. Для обеспечения окислительной стабильности и предотвращения гидролиза диэфиров в масла добавляют присадки.

Полиоловые эфиры или полиолы – соединения, молекулы которых содержат две (2,2-диметил-1,3-диол), три (2-этил-2-(гидроксиметил)-пропан-1,3-диол), четыре (2,2-бис(гидроксиметил-1,3-диол) спиртовые группы. Эти продукты обладают хорошей термической стабильностью и лучше противостоят гидролизу, по сравнению с диэфирами. Дополненные соответствующими присадками полиоловые эфиры характеризуются большей окислительной стабильностью, чем диэфиры и поли- α -олефины.

Общим недостатком диэфирных и полиоловых синтетических масел является их способность вызывать набухание резиновых уплотнений.

Разработана технология получения новых типов синтетических масел на базе эфиров алкенилэфирных кислот. Полученные масла по своим эксплуатационным характеристикам не уступают, а по некоторым показателям превосходят промышленные сложноэфирные синтетические масла. Отличительной особенностью полученных эфиров в качестве основ синтетических масел явилась их структурная особенность, т. е. наличие двойной углерод-углеродной связи в алкенильном радикале, что позволяет вводить в молекулу эфира различные функциональные группы ²⁶.

Перспективными на рынке смазочных материалов являются масла на основе полиалкиленгликолей (ПАГ) – полимеров окиси алкиленов. Свойства масла и характеристики отдельных ПАГ зависят от использованных в синтезе мономеров, молекулярной массы и вида конечного продукта. ПАГ обладают хорошей стабильностью при высокой температуре и высоким индексом вязкости,

могут использоваться в широком диапазоне температур, обладают низкой склонностью к образованию отложений и способны стабилизировать продукты собственного разложения.

ПАГ масла используются для смазки компрессоров, промышленного оборудования, а также некоторых типов двигателей, часто применяются в пищевом производстве, металлообработке. Они могут успешно использоваться в системах, где высокие температуры и напряженные условия эксплуатации могут привести к быстрому разрушению минеральных моторных масел. Также большим преимуществом ПАГ является их биоразлагаемость.

До 2022 года в России этот вид масел не производился, спрос удовлетворялся за счет импорта. Необходимость импортозамещения способствовала созданию производства ПАГ на предприятии «Нижнекамскнефтехим» компании СИБУР. Мощность производства в настоящее время составляет 1300 т/год. Специалисты оценивают потребности российского рынка в этом продукте в 5–6 тыс. т/год, поэтому в планах компании увеличение объема производства ²⁷.

Синтетические алкилированные ароматические углеводороды по термоокислительной и термической стабильности заметно превосходят нефтяные масла равной вязкости. Оптимальными для масляной основы физико-химическими свойствами обладают диалкилбензолы. В целом, выбор алкилбензольной основы осуществляют в зависимости от назначения производимого продукта. Для производства масел, предназначенных для работы в условиях крайне низких температур, требуются диалкилбензолы с алкильным радикалом, содержащим 12–13 атомов углерода в цепи ²⁸.

Производство синтетических алкилароматических масел осуществляется на совмещенной установке дегидрирования парафиновых фракций и синтеза диалкилбензолов. Дегидрирование проводят на алюмоплатиновом катализаторе в среде водорода при температуре 450–500 °С. Полученные олефины после отделения легких фракций поступает в реактор алкилирования нафталина на катализаторе HF.

Алкилнафталиновые масла получают алкилированием нафталина α -олефинами при температуре 90–100 °С в присутствии катализатора $AlCl_3$.

Разработана принципиальная технологическая схема процесса получения моно- и полиалкилбензолов (ПАБ) с использованием оригинальных каталитических систем катионного алкилирования бензола, толуола, дифенила и нафталина децен-1 и другими олефинами в высшие алкилароматические углеводороды. Каталитическая сис-

тема включают высокодисперсный алюминий, активатор алюминия и сокатализатор – галоидорганическое соединение RCl , где R – первичный, вторичный или третичный алкил, аллил, бензил ²⁹.

Создана каталитическая система на основе Со-модифицированного природного бентонита, и разработан эффективный способ алкилирования ароматических углеводородов α -олефинами C_8 – C_{24} ³⁰.

Определены оптимальные соотношения реагентов процесса алкилирования бензола α -олефинами C_{10} – C_{12} в присутствии катализаторного комплекса на основе $AlCl_3$, позволяющие одновременно получать востребованные в производстве моющих средств линейные алкилбензолы и синтетическое масло с температурой застывания не выше минус 55 °С, температурой вспышки не ниже 190 °С и индексом вязкости 119–148 ³¹.

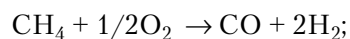
Разработан процесс получения низкозастывающей основы синтетического смазочного масла с повышенной температурой вспышки, стойкостью к высокотемпературному окислению, заключающийся в алкилировании толуола и моноалкилтолуолов олефинами фракции C_{10} – C_{14} в присутствии катализатора $AlCl_3$. Полученный продукт может быть использован в качестве основы моторных, трансмиссионных и других смазочных масел, работающих в различных режимах тепловых нагрузок и физико-химических процессов ³².

В табл. 4 приведена сравнительная характеристика наиболее распространенных видов синтетических смазочных материалов и минерального масла ³³.

Процесс GTL

Процесс производства синтетических масел из природного газа – метана по технологии GTL состоит из следующих стадий:

- получение из очищенного от примесей метана и кислорода синтез-газа (процесс Фишера-Тропша):



- каталитическая конверсия синтез-газа в жидкие углеводороды (парафины):



- гидрокрекинг жидких углеводородов.

В результате получают различные нефтепродукты, в том числе около 15–20 % мас. базового масла IV группы ¹⁰.

В 2012 году компания *Shell* в партнерстве с *Qatar Petroleum* запустила в Катаре завод по производству синтетических углеводородов по техно-

Физико-химические и эксплуатационные свойства минерального и синтетических масел

Показатели	Минеральное масло	Основа синтетического масла				
		Диэфиры	Эфиры неопентил-полиолов	Полигликоли	Олигомеры α -олефинов	Алкил-бензолы
Индекс вязкости	100	140–175	80–140	100–200	50–180	98–120
Температура застывания, °С	-18	от -37 до -73	от -34 до -59	от -23 до -56	от -40 до -80	от -29 до -62
Температура вспышки, °С	-221	204–246	232–260	150–260	136–270	182–232
Термическая стабильность	удовлетворительная	хорошая	отличная	от удовлетворительной до хорошей	хорошая	хорошая
Стабильность к окислению с ингибитором	удовлетворительная	хорошая	отличная	плохая	хорошая	хорошая
Испаряемость	удовлетворительная	от удовлетворительной до хорошей	хорошая	от удовлетворительной до хорошей	удовлетворительная	хорошая
Смазывающие свойства	хорошие	хорошие	отличные	хорошие	удовлетворительные	хорошие
Приемистость к присадкам	удовлетворительная	отличная	от хорошей до отличной	удовлетворительная	удовлетворительная	отличная
Совместимость с минеральным маслом	хорошая	отличная	от хорошей до отличной	плохая	отличная	отличная
Влияние на резиновые уплотнения	практически не влияет	сильное	сильное	слабое	практически не влияет	слабое

логии GTL. Мощность завода составляет около 1 млн т/год базовых масел. В настоящее время это единственное промышленное производство синтетических смазочных материалов по данной технологии.

Смазочные материалы, полученные по технологии GTL, обладают отличной стойкостью к окислению, высокой температурой вспышки и низкой испаряемостью. Их можно использовать в высоконагруженных малообъемных моторах легковых автомобилей, имеющих высокую мощность.

Несмотря на актуальность производства синтетических углеводородов по GTL-технологии, массового распространения она пока не получила, что связано с высокими капиталовложениями в строительство и эксплуатацию производства и его высоким энергопотреблением. В России прово-

дится большое число научных исследований, направленных на снижении затрат энергетических и материальных ресурсов данной технологии. В большинстве работ процесс получения жидких углеводородов из метана осуществляется через стадию образования метанола или диметилового эфира^{34–36}.

Научные исследования по созданию эффективных промышленных технологий получения синтетических масел, соответствующих потребностям современного рынка, активно продолжают, поскольку увеличение объема производства качественных синтетических моторных масел имеет важное значение как для обеспечения российского рынка, чтобы свести к минимуму зависимость от импорта, так и для роста экспортных поставок.

Литература

1. Статистика рынка синтетических смазочных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://exactitudeconsultancy.com/ru/отчеты/4233/рынок-синтетических-смазочных-материалов/> [Дата обращения 24.03.2024].
2. Рынок синтетических масел в поисках рецептов, сырья и технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://magazine.sibur.ru/publication/trends/rynok-sinteticheskikh-masel-v-poiskakh-retseptov-syrya-i-tekhnologiy/?sphrase_id=1648220

References

1. Synthetic lubricants market statistics: <https://exactitudeconsultancy.com/ru/отчеты/4233/rynok-sinteticheskikh-smazochnyh-materialov/> (accessed 24.03.2024)
2. Synthetic oils market in search of recipes, raw materials and technologies: https://magazine.sibur.ru/publication/trends/rynok-sinteticheskikh-masel-v-poiskakh-retseptov-syrya-i-tekhnologiy/?sphrase_id=1648220&ysclid=lvs4qe6syf581642284 (accessed 24.03.2024)

&ysclid=lv4qe6syf581642284 [Дата обращения 24.03.2024].

3. Рахманкулов Д.Л., Долматов Л.В., Ольков П.Л., Аглиуллин А.Х. Товароведение нефтяных продуктов. Том 3. Моторные масла. – М.: Интер, 2006. – 312 с.
4. Макарян И.А., Седов И.В. Рыночный потенциал промышленных технологий получения синтетических основ моторных масел // Рос. хим. ж. – 2020. – Т.64, №1. – С.93-112.
5. Белов П.С., Виппер А.Б., Заворотный В.А., Корнев К.Д., Лашхи В.Л. Производство и применение моторных масел на синтетической основе. – М.: ЦНИИ-ИТЭнефтехим, 1979. – 45 с.
6. Chamberlin W.B. Performance of Synthetic Engine Oils // Lubrication Engineering. – 1979. – V.35, №2. – Pp.80-87.
7. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение / под ред. В.М. Школьников. – М.: Техинформ, 1999. – 596 с.
8. Цветков О.Н., Чагина М.А., Школьников В.М. Полиальфаолефиновые масла. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1985. – 67 с.
9. Цветков О.Н. Технология полиальфаолефиновых масел // Мир нефтепродуктов. – 2003. – №2. – С. 24-26.
10. Капустин В.М., Тонконогов Б.П., Фукс И.Т. Технология переработки нефти. Ч.3. Производство нефтяных смазочных материалов. – М.: Химия, 2014. – 328 с.
11. Wang X.-H., Yu T.-Y., Huang Y.-Q., Sui X., Zhang U., Gao F. Production of lubricating base oil using a moist $\text{SiO}_2/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst // Petroleum Science and Technology. – 2007. – V.25. – Pp.891-897.
12. Peratello S., Molinari S., Belussi G., Perego C. Olefins oligomerization: thermodynamics and kinetics over a mesoporous silica-alumina // Catalysis Today. – 1999. – V.52, №2-3. – Pp.271-277.
13. Максимов А.Л., Куликов А.Б., Пугачева А.А., Вилесов А.С., Смирнов М.Б., Галкина Е.В., Решетников Д.М., Дзюбенко А. А. Олигомеризация высших α -олефинов на катализаторах, содержащих перфторированный сополимер Ф-4СФ // Нефтехимия. – 2014. – Т.54, №2. – С.122-130.
14. Матковский П.Е., Старцева Г.П., Чуркина В.Я., Кнерельман Е.И., Давыдова Г. И. Олигомеризация децена-1 под действием каталитических систем Al-активатор алюминия-RCl, Al-RCl // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2008. – Т.50, №11. – С.2001-2015.
15. Nifant'ev I.E., Vinogradov A.A., Vinogradov A.A., Bezzubov S.I., Ivchenko P.V. Catalytic oligomerization of α -olefins in the presence of two-stage activated zirconocene catalyst based on 6,6-dimethylfulvene 'dimer' // Mendelev Comm. – 2017. – V.27, №1. – Pp.35-37.
16. Nifant'ev I., Vinogradov A., Vinogradov A., Karchevsky S., Ivchenko P. Experimental and Theoretical Study of Zirconocene-Catalyzed Oligomerization of 1-Octene // Polymers. – 2020. – V.12, №7. – P.1590.
17. Мамедьяров М.А. Химия синтетических масел. – Л.: Химия, 1989. – 240 с.
18. Цветков О.Н., Топорищева Р.И., Колесова Г.Е., Черемискин А.Л. Оработка синтеза полиальфаолефинов в опытном реакторе проточного типа // Мир нефтепродуктов. – 2011. – №7. – С.19-22.
3. Rakhmankulov D.L., Dolmatov L.V., Ol'kov P.L., Agliullin A.H. *Tovarovedenenie nefityanykh produktov. Tom 3. Motornye masla* [Commodity science of petroleum products. Volume 3. Engine oils]. Moscow, Inter Publ., 2006, 312 p.
4. Makaryan I.A., Sedov I.V. *Rynochnyi potentsial promyshlennykh tekhnologiy polucheniya sinteticheskikh osnov motornykh masel* [The market potential of industrial technologies for the production of synthetic motor oil bases]. *Ros. khim. zh.* [Ros. chem. zh.], 2020, vol.64, no.1, pp.93-112.
5. Belov P.S., Vipper A.B., Zavorotnyi B.A., Korenev K.D., Lashkhi V.L. *Proizvodstvo i primenenie motornykh masel na sinteticheskoy osnove* [Production and application of synthetic-based motor oils]. Moscow, CNIITeneftkhim Publ., 1979, 45 p.
6. Chamberlin W.B. [Performance of Synthetic Engine Oils]. *Lubrication Engineering*, 1979, vol.35, no.2, pp.80-87.
7. Shkol'nikov V.M. *Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie* [Fuels, lubricants, technical fluids. The range and application. Guide]. Moscow, Tekhinform Publ., 1999, 596 p.
8. Tsvetkov O.N., Chagina M.A., Shkol'nikov V.M. *Polial'faolefinovye masla* [Polyalphaolefin oils]. Moscow, CNIITeneftkhim Publ., 1985, 67 p.
9. Tsvetkov O.N. *Tekhnologiya polial'faolefinovykh masel* [Technology of polyalphaolefin oils]. *Mir nefteproduktov* [The world of petroleum products], 2003, no.2, pp.24-26.
10. Kapustin V.M., Tonkonogov B.P., Fuks I.T. *Tekhnologiya pererabotki nefiti. Ch.3. Proizvodstvo nefityanykh smazochnykh materialov* [Oil refining technology. P.3. Production of petroleum lubricants]. Moscow, Khimiya Publ., 2014, 328 p.
11. Wang X.-H., Yu T.-Y., Huang Y.-Q., Sui X., Zhang U., Gao F. [Production of lubricating base oil using a moist $\text{SiO}_2/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst]. *Petroleum Science and Technology*, 2007, vol.25, pp.891-897.
12. Peratello S., Molinari S., Belussi G., Perego C. [Olefins oligomerization: thermodynamics and kinetics over a mesoporous silica-alumina]. *Catalysis Today*, 1999, vol.52, no.2-3, pp.271-277.
13. Maksimov A.L., Kulikov A.B., Pugacheva A.A., Vilesov A.S., Smirnov M.B., Galkina E.V., Reshetnikov D.M., Zvinchuk A.A. [Oligomerization of higher α -olefins over catalysts containing an f-4sf perfluorinated copolymer]. *Petroleum Chemistry*, 2014, vol.54, no.2, pp.120-127.
14. Matkovskiy P.E., Startseva G.P., Churkina V.Ya., Knerel'Man E.I., Davydova G.I., Vasil'eva L.P., Yarullin R.S. [Oligomerization of 1-decene under the action of catalytic systems based on al-aluminum activator-rcl and Al-RCL]. *Polymer Science, Series A*, 2008, vol.50, no.11, pp.1175-1186.
15. Nifant'ev I.E., Vinogradov A.A., Vinogradov A.A., Bezzubov S.I., Ivchenko P.V. [Catalytic oligomerization of α -olefins in the presence of two-stage activated zirconocene catalyst based on 6,6-dimethylfulvene 'dimer']. *Mendelev Communications*, 2017, vol.27, no.1, pp.35-37.
16. Nifant'ev I., Vinogradov A., Vinogradov A., Karchevsky S., Ivchenko P. [Experimental and Theoretical Study of Zirconocene-Catalyzed Oligomerization of 1-Octene]. *Polymers*, 2020, vol.12, no.7, p.1590.

19. Цветков О.Н., Максимов А.Л., Топорищева Р.И., Колесова Г.Е., Черемискин А.Л. Катионная олигомеризация октеновой фракции в проточных условиях // Нефтехимия. – 2019. – Т. 59, №6. – С. 719-724.
20. Белов Г.П. Каталитический синтез высших олефинов из этилена // Катализ в промышленности. – 2014. – №3. – С.13-19.
21. Белов Г.П., Матковский П.Е. Технологии получения высших линейных α -олефинов // Нефтехимия. – 2010. – Т.50, №4. – С.296-302.
22. Зарипов И.Р., Шепелин В.А., Саяхов М.Д., Харлампи Х.Э. Развитие сырьевой базы каталитических процессов получения синтетических масел на основе высших α -олефинов // Каучук и резина. – 2017. – Т.76, №6. – С.398-401.
23. Матковский П.Е., Алдошин С.М., Троицкий В.Н., Старцева Г.П., Чуркина В.Л., Яруллин Р.С. Смирнов М.Н., Борисов А.А. Получение биодизельного топлива, глицерина и децена-1 из растительных масел. – Казань: ООО «Издательско-полиграфический центр Экспресс», 2006. – 72 с.
24. Taif Lubricants: стать лидером в премиум-сегменте синтетических масел России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://realnoevremya.ru/articles/277283-ooo-taif-sm---edinstvennyy-v-rf-proizvoditel-polialfaolefinovyh-masel?erid=Pb3XmBtzt6BWnsP3KLrEo8GpstK3GF7mc1oCpea&ysclid=lvmc1b8qv8461904067> [Дата обращения 24.03.2024].
25. «Газпром нефть» перейдет на полный цикл производства российских синтетических масел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-pereydet-na-polnyy-tsikl-proizvodstva-rossiyskikh-sinteticheskikh-masel/> [Дата обращения 24.03.2024].
26. Алиева Ф.Х., Мамедъяров М.А. Химическая модификация эфиров алкенилтантарных кислот // Процессы нефтехимии и нефтепереработки. – 2008. – №3-4 (35-36). – С.154-163.
27. Сибур начал выпуск уникальной малотоннажной химии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://magazine.sibur.ru/publication/prod_and_services/sibur-nachal-vypusk-unikalnoy-malotonnazhnoy-khimii/ [Дата обращения 24.03.2024].
28. Плаксунова С.Л., Иванова Е.К., Серебряков Б.Р., Школьников В.М. Синтетические смазочные масла на основе алкилбензолов // Химическая промышленность. – 1983. – №6. – С.328-332.
29. Матковский П.Е., Старцева Г.П., Чуркина В.Я., Алдошин С.М., Троицкий В.Н., Савченко В.И., Ханнанов Р.Г., Демидов М.А., Шамсутдинов В.Г., Ильясов Г.Л., Яруллин Р.С., Михайлович Дж., Иотанович К., Матковский П.Е. Научные основы и технологическое оформление процесса получения синтетических олигоденовых масел для автомобильного транспорта // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005. – Т.13, №6. – С.787-791.
30. Мустакимов Э.Р., Чиркунов Э.В., Харлампи Х.Э. Алкилирование ароматических углеводородов высшими α -олефинами на модифицированной природной глине // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. – 2003. – Т.46, №1. – С.53-56.
17. Mamed'yarov M.A. *Khimiya sinteticheskikh masel* [The world of petroleum products]. Leningrad, Khimiya Publ., 1989, 240 p.
18. Tsvetkov O.N., Toporishcheva R.I., Kolesova G.E., Cheremiskin A.L. *Otrabotka sinteza polial'faolefinov v opytnom reaktore protochnogo tipa* [Working out the synthesis of polyalphaolefins in an experimental flow-type reactor]. *Mir nefteproduktov* [The world of petroleum products], 2011, no.7, pp.19-22.
19. Tsvetkov O.N., Maksimov A.L., Toporishcheva R.I., Kolesova G.E., Cheremiskin A.L. [Cationic oligomerization of octene fraction under flow conditions]. *Petroleum Chemistry*, 2019, vol.59, no.11, pp.1264-1268.
20. Belov G.P. *Kataliticheskiy sintez vysshikh olefinov iz etilena* [Catalytic synthesis of higher olefins from ethylene]. *Kataliz v promyshlennosti* [Catalysis in industry], 2014, no.3, pp.13-19.
21. Belov G.P., Matkovsky P.E. [Processes for the production of higher linear α -olefins]. *Petroleum Chemistry*, 2010, vol.50, no.4, pp.283-289.
22. Zaripov I.R., Shepelin V.A., Sayakhov M.D., Kharlampidi Kh.E. *Razvitie syr'evoy bazy kataliticheskikh protsessov polucheniya sinteticheskikh masel na osnove vysshikh α -olefinov* [Development of the raw material base of catalytic processes for the production of synthetic oils based on higher α -olefins]. *Kauchuk i rezina* [Caoutchouc and rubber], 2017, no.6, pp.398-401.
23. Matkovskiy P.E., Aldoshin S.M., Troietskiy V.N., Startseva G.P., Churkina V.L., Yarullin R.S. Smirnov M.N., Borisov A.A. *Poluchenie biodizel'nogo topliva, glitserina i detsena-1 iz rastitel'nykh masel* [Production of biodiesel, glycerin and decene-1 from vegetable oils]. *Kazan, Ekspress Publ.*, 2006, 72 p.
24. *Taif Lubricants: stat' liderom v premium-segmente sinteticheskikh masel Rossii* [Taif Lubricants: to become a leader in the premium segment of synthetic oils in Russia]. <https://realnoevremya.ru/articles/277283-ooo-taif-sm---edinstvennyy-v-rf-proizvoditel-polialfaolefinovyh-masel?erid=Pb3XmBtzt6BWnsP3KLrEo8GpstK3GF7mc1oCpea&ysclid=lvmc1b8qv8461904067> (accessed 24.03.2024).
25. «Gazprom нефть» перейдет на полный цикл производства российских синтетических масел [Gazprom Neft will switch to a full production cycle of Russian synthetic oils]. <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-pereydet-na-polnyy-tsikl-proizvodstva-rossiyskikh-sinteticheskikh-masel/> (accessed 24.03.2024)
26. Alieva F.H., Mamed'yarov M.A. *Khimicheskaya modifikatsiya efirov alkenilyantarnykh kislot* [Chemical modification of alkenylantarc acid esters]. *Protsessy neftekhimii i neftepererabotki* [Petrochemical and refining processes], 2008, no.3-4 (35-36), pp.154-163.
27. *Sibur nachal vypusk unikal'noy malotonnazhnoy khimii* [Sibur has launched the production of unique low-tonnage chemicals]. https://magazine.sibur.ru/publication/prod_and_services/sibur-nachal-vypusk-unikalnoy-malotonnazhnoy-khimii/ (accessed 24.03.2024)
28. Plaksunova S.L., Ivanova E.K., Serebryakov B.R., Shkol'nikov V.M. *Sinteticheskie smazochnye masla na osnove alkilbenzolev* [Synthetic lubricating oils based on alkylbenzenes]. *Khimicheskaya promyshlennost'* [Chemical industry], 1983, no.6, pp.328-332.

31. Патент №2209201С1 РФ. Способ совместного получения линейных алкилбензолов и синтетического масла. / Серебряков Б.Р., Плаксунова С.Л., Мехтиева В.Л., Плаксунов Т.К. // Оpubл. 27.07.2003.
32. Патент №2184768 РФ. Способ получения низкозастывающей основы синтетического смазочного масла / Аптекман А.Г., Беклемышев В.И., Болгов В.Ю., Махонин И.И., Крянев Д.Ю., Селезнев А.Г., Юрьев В.М. // Оpubл. 10.07.2002.
33. Кузнецов Н.А. Повышение качества моторных масел. – М.: ВНИИ НП, 1988. – 95 с.
34. Лачугин И.Г., Шевцов А.П., Маринченко А.Г., Аристов И.В., Ендовицкий Д.А., Попов В.Н., Хохлов В.Ю., Хохлова О.Н., Семенов В.Ф. GTL-производство: основы и перспективы // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2011. – №2. – С.27-36.
35. Мордкович В.З., Синева Л.В., Кульчаковская Е.В., Асалиева Е. Ю. Четыре поколения технологии получения синтетического жидкого топлива на основе синтеза Фишера-Тропша // Катализ в промышленности. – 2015. – №5. – С.23-45.
36. Данилов А.Д., Антонюк С.Н. Зарождение и развитие технологий переработки природного газа в химические продукты // Нефтегазохимия. – 2023. – №3-4. – С.15-21.
29. Matkovskii P.E., Startseva G.P., Churkina V.Ya., Aldoshin S.M., Troitskiy V.N., Savchenko V.I., Khannanov R.G., Demidov M.A., Shamsutdinov V.G., Il'yasov G.L., Yarullin R.S., Mikhaylovich Dzh., Iotanovich K., Matkovskiy P.E. *Nauchnye osnovy i tekhnologicheskoe oformlenie protsessa polucheniya sinteticheskikh oligodecenovykh masel dlya avtomobil'nogo transporta* [Scientific foundations and technological design of the process of obtaining synthetic oligodecene oils for motor transport]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for sustainable development], 2005, vol.13, no.6, pp.787-791.
30. Mustakimov E.R., Chirkunov E.V., Kharlampidi Kh.E. *Alkilirovanie aromaticeskikh uglevodorodov vysshimi α -olefinami na modifitsirovannoy prirodnoy gline* [Alkylation of aromatic hydrocarbons with higher α -olefins on modified natural clay]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Chem Chem Tech], 2003, vol.46, no.1, pp.53-56.
31. Serebryakov B.R., Plaksunova S.L., Mekhtieva V.L., Plaksunov T.K. *Sposob sovmestnogo polucheniya lineynykh alkilbenzovol i sinteticheskogo masla* [A method for the joint production of linear alkylbenzenes and synthetic oil]. Patent RF no.2209201C1, 2003.
32. Aptekman A.G., Beklemyshev V.I., Bolgov V.Yu., Makhonin I.I., Kryanev D.Yu., Seleznev A.G., Yuryev V.M. *Sposob polucheniya nizkozastyvayushchey osnovy sinteticheskogo smazochnogo masla* [A method for obtaining a low-hardening base of synthetic lubricating oil]. Patent RF, no.2184768, 2002.
33. Kuznetsov N.A. *Povyshenie kachestva motornykh masel* [Improving the quality of motor oils]. Moscow, VNT NC Publ., 1988, 95 p.
34. Lachugin I.G., Shevtsov A.P., Marinchenko A.G., Aristov I.V., Endovitskiy D.A., Popov V.N., Khokhlov V.Yu., Khokhlova O.N., Selemenev V.F. *GTL-proizvodstvo: osnovy i perspektivy* [GTL-production: fundamentals and prospects]. *Vestnik VGU, Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Vestnik VGU, Series: Chemistry, Biology, Pharmacy], 2011, no.2, pp.27-36.
35. Mordkovich V.Z., Sineva L.V., Kul'chakovskaya E.V., Asalieva E.Yu. *Chetyre pokoleniya tekhnologii polucheniya sinteticheskogo zhidkogo topliva na osnove sinteza Fishera-Tropsha* [Four generations of technology for producing synthetic liquid fuels based on Fischer-Tropsch synthesis]. *Kataliz v promyshlennosti* [Catalysis in industry], 2015, no.5, pp.23-45.
36. Danilov A.D., Antonyuk S.N. *Zarozhdenie i razvitie tekhnologiy pererabotki prirodnogo gaza v khimicheskie produkty* [The origin and development of technologies for processing natural gas into chemical products]. *Neftegazokhimiya* [Petrochemistry], 2023, no.3-4, pp.15-21.