

## Получение синтетических низкозастывающих дизельных топлив: технологии и перспективы

*В.Г. Бакун, Р.Е. Яковенко, А.Н. Салиев, С.И. Сулима, Н.Д. Земляков,  
С.В. Некроенко*

*Южно-Российский политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова*

**Аннотация:** Охарактеризованы технологии получения низкозастывающих, зимних и арктических дизельных топлив из нефтяного сырья и способы их реализации в Российской Федерации. Показано, что перспективной альтернативой нефтяным топливам является получение синтетических и смесевых композиций моторных топлив на основе GtL технологии из природных газов. Рассмотрены технологии переработки продуктов синтеза углеводородов по методу Фишера-Тропша в дизельные низкозастывающие синтетические и смесевые топлива и возможности для получения топлив при интегрировании синтеза и облагораживания углеводородов в однореакторном варианте процесса.

**Ключевые слова:** дизельное топливо, низкозастывающее, зимнее и арктическое; получение, нефть, природные газы, технология GtL, синтез Фишера-Тропша, продукты, переработка.

Дизельное топливо является одним из наиболее востребованных видов топлива в экономике Российской Федерации [1]. В 2015 г. было произведено 76,1 млн. т дизельного топлива, что составляет 39% от общего объема производства топлив. В объеме продаж зимние сорта дизельных топлив достигают 31 % [2]. Однако доля их производства в последние годы находится на уровне 15% [3], а для регионов Крайнего Севера и Арктики, даже в условиях новых геополитических, ресурсно-сырьевых и транспортно-логистических задач по освоению этих территорий, не превышает 2% [4, 5]. Кроме того, значительная часть катализаторов нефтехимии являются импортными продуктами [6], что сказывается на формировании рынка топлив.

Стандартами на нефтепродукты регламентируются физико-химические, технологические, эксплуатационные и прочие свойства топлив, которые связаны с химическим и фракционным составом. Важнейшими показателями качества зимнего и арктического видов дизельного топлива являются

---

плотность, цетановое число и низкотемпературные реологические свойства (прежде всего, температура помутнения и предельная температура фильтруемости, при которых в процессе охлаждения происходит нарушение функционирования топливных систем). Они определяются содержанием *n*-парафиновых углеводородов с высокими температурами плавления, изопарафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов. Взаимовлияние состава и механизм кристаллизации углеводородов подробно рассмотрены в работе [7]. Для достижения требуемого качества низкозастывающего топлива необходимо снижение содержания *n*-парафинов  $C_{18+}$ , обеспечение их оптимального соотношения с *n*-парафинами  $C_{10} - C_{15}$ , углеводородами изостроения и ароматическими углеводородами [2, 8].

Как правило, в Российской Федерации зимнее и арктическое дизельное топливо производят путем корректировки состава продуктов переработки нефти. Нефть большинства отечественных месторождений является парафинистой – с высоким содержанием *n*-парафинов и парафинов малоразветвленного строения [2]. Для выработки топливных продуктов ограничивают температуру кипения углеводородных фракций и разбавляют топливо, смешивая с более легкими фракциями, вводят присадки, используют различные способы депарафинизации – экстрактивную кристаллизацию из растворов, карбамидную, адсорбционную и т.п., а также каталитические процессы депарафинизации, изодепарафинизации, изомеризации [9]. Но основным промышленным способом получения зимних видов дизельного топлива в нефтепереработке считается карбамидная депарафинизация [10], а перспективными – каталитические процессы гидро- и изодепарафинизации, при этом процесс гидродепарафинизации (даже при меньшем выходе продуктов) отличается низкими эксплуатационными издержками и является в России более востребованным [11].

---

Процессы изучены в теоретическом и практическом плане, но остаются предметом исследований, включая патентование разработок, заявленных, например, как способы получения дизельных низкозастывающих, зимних и арктических топлив. В этой сфере за последние 20 лет Россия располагает практически только национальными патентами по технологии топлив, в основном с использованием методов гидроочистки и введения присадок. Число разработок в виде вариантов каталитической депарафинизации нефтепродуктов, в том числе совместно с гидроочисткой, не превышает 15%.

Однако наличие экологических проблем, связанных с использованием нефтяных топлив, обостряющихся в холодных и арктических климатических условиях, ограниченность запасов нефти и нестабильность уровня цен на это сырье, обуславливают применение альтернативных видов моторных топлив. Альтернативные топлива классифицируют как ненефтяные, например, из природных газов, растительных масел и т.д.; синтетические, полученные из различных видов углеродсодержащего сырья, и смесевые, содержащие компоненты ненефтяного и нефтяного происхождения.

Перспективным направлением решения всего комплекса проблем может являться использование технологий синтеза углеводородов, в том числе фракций моторных топлив, по методу Фишера-Тропша (ФТ), которые используют в качестве первичного сырья – уголь (CtL), природный и попутно-нефтяные газы (GtL), биомассу (BtL) [12, 13]. Изучение динамики развития современного производства и потребления таких топлив [4] подтвердило, что одним из наиболее востребованных является синтетическое моторное топливо из природных газов. Как и во многих странах мира, в России, располагающей значительными запасами природного и попутного нефтяного газов, активнее развиваются исследования по

---

адаптации GtL процесса, имеющего более серьезные перспективы для коммерциализации на отечественном топливном рынке.

В отличие от нефтяных, синтетические топлива практически не содержат ароматических моно- и полициклических соединений и органических соединений серы и азота. Поэтому в выхлопных газах автотранспорта, использующего синтетическое топливо, полученное методом ФТ, практически отсутствуют сернистые соединения, содержание загрязняющих углеводородов снижается на треть, оксида углерода - в 2 раза, оксидов азота - на 8%, твердых частиц - на 31% [14]. В случае перехода на синтетическое топливо не потребуются вносить существенных изменений в устройство автомобилей, имеющуюся инфраструктуру хранения и реализации топлив.

Цель данной работы – оценить современное состояние и перспективы технологии получения синтетического низкозастывающего дизельного топлива из природных газов методом ФТ и возможность реализации процесса в условиях совмещения этапов синтеза и облагораживания продуктов.

Решение задачи получения компонентов дизельного топлива для холодных и арктических климатических условий непосредственно в процессе синтеза ФТ очевидно потребует создания эффективного катализатора с широкими функциональными возможностями и соответствующей организации синтеза. Необходимым в этой связи представляется и изучение различных аспектов проблемы интегрирования стадий синтеза и облагораживания продуктов ФТ.

Технология моторных топлив ФТ, наряду с этапами конверсии и кондиционирования газообразного сырья, включает превращение синтез-газа преимущественно в алифатические углеводороды с широким диапазоном молекулярных масс, а затем, как и при получении топлив из нефтяного

---

сырья, в товарные продукты синтеза путем гидроконверсии или гидрообработки. Разработки в этой сфере [15] велись многими компаниями и реализованы на практике, например, Sasol совместно с Chevron Shell и Exxon Mobil.

Обычно процесс осуществляется в присутствии катализатора на основе металлов VIII группы, на практике - в высокотемпературном (HTFT) и низкотемпературном (LTFT) процессах с Fe или Co катализатором, хорошо известен специалистам в этой области. Условия проведения синтеза – со стационарным, псевдооживленным и суспензионным слоем катализатора, определяют состав получаемых продуктов [16]. Продуктами LTFT-процесса, например, при минимальном содержании серы и азота в основном являются *n*-парафины, *n*-олефины и кислородсодержащие компоненты. Высокомолекулярными длинноцепочечными (линейными и разветвленными) и основными продуктами синтеза являются *n*-парафиновые воски, насыщение которых возрастает с увеличением количества углеродных атомов в молекуле [17, 18].

Топливные продукты ФТ отличают высокое содержание *n*-парафинов, цетановое число (для синтеза LTFT со стационарным или суспензионным слоем катализатора 75-80) [18] и присутствие кислородсодержащих соединений, которые неблагоприятно воздействуют на устойчивость топлива к окислению. Кроме того, молекулы длинноцепочечных парафинов склонны к кристаллизации, что затрудняет использование углеводородов в качестве компонентов низкозастывающих топлив [7]. Поэтому в любом варианте приготовление моторных топлив включает последующее облагораживание и изменение состава углеводородных продуктов. В технологических схемах используются комбинации процессов фракционирования, гидроочистки, гидроизомеризации, гидрокрекинга и т.д. Известные технологии GtL и варианты решения стадий синтеза и облагораживания продуктов, в том числе

---

имеющие практическое воплощение, например, компаний Shell и Sasol описаны в [19, 20] и др.

Для получения компонентов топлив в одnoreакторном процессе ФТ необходимо обеспечение условий, приемлемых для совместного проведения процессов синтеза и преобразования углеводородных продуктов, в том числе давления, температуры, состава реакционной среды. Сопоставление условий реализации и катализаторов, используемых в процессах синтеза ФТ и облагораживания углеводородов, показывает перспективность совмещения этих стадий в процессе получения дизельных топлив.

Такого рода исследования были выполнены в [21] на примере комбинации Co, Fe катализаторов ФТ и Pt катализаторов гидрооблагораживания на основе цеолитов в форме двухслойной физической смеси. Систематизация разработанных для одностадийного получения синтетической нефти каталитических систем приведена в [22]. Наряду с традиционными пропиточными, авторы выделили группы капсулированных, композитных и катализаторов в виде физических смесей при их послойной загрузке и смешении.

Цель одnoreакторного получения дизельных топливных продуктов ФТ заявлена в некоторых работах с Co катализаторами. Так, характеризуя свою разработку, авторы патента [23] указывают на возможность получения дизельного топлива с выходом до 90% и конверсией CO выше 65% непосредственно в реакторе синтеза ФТ (более 65% углеводородов C<sub>9</sub>-C<sub>23</sub>, менее 10% восков) при низком давлении от (200 бар/см<sup>2</sup> и ниже), как и перспективность применения способа на небольших малотоннажных установках. Процесс рассчитан на несколько вариантов конверсии газов (природного, попутный нефтяного и т.п.) и синтеза со стационарным или суспендированным слоем катализатора. Продукты пригодны для смешения с

---

нефтяным топливом. Однако подобные разработки не предназначены для получения зимнего и арктического дизельного топлива.

Подтвержден потенциал объединения реакций с этой целью в одном реакционном аппарате при температурах 230-300 °С. Определено, что реакции изомеризации доминируют над реакциями крекинга при 200-230 °С, вторичного крекинга – происходят при температуре выше 250 °С и увеличивают селективность по  $\text{C}_n\text{H}_m$  [21]. Соотношение  $\text{H}_2/\text{CO}$  на входе в реактор в свою очередь оказывает влияние на распределение углеводородных продуктов, поскольку  $\text{CO}$  снижает дегидрирующую способность катализатора и замедляет реакции крекинга изомеров. Продукты интегрированного гидрооблагораживания также характеризуются недостаточным выходом низкозастывающей дизельной фракции углеводородов, что, по мнению авторов, требует корректировки рецептуры и свойств катализаторов к реакционным условиям синтеза ФТ.

При сравнении известных технологий были рассмотрены и патентные решения, разработанные для получения дизельных низкозастывающих, зимних и арктических топлив из природного и попутного нефтяного газов методом ФТ, а также смесей углеводородов ФТ и нефти. Вариантов получения топлив в одnoreакторном синтезе ФТ не обнаружено, и, можно предположить, что компании, проводящие исследования в этой сфере, ограничивают доступ к своим разработкам. Аналогичное заключение было сделано в [11, 24]. Более половины доступных материалов, как было отмечено в обзорах патентной литературы по тематике GtL процесса [16, 20], посвящено вопросам переработки продуктов ФТ в компоненты топлив и масел.

Изучение технических решений, предназначенных для получения топлив на основе продуктов ФТ, показало, что разработчики, преимущественно компании США (Exxon, Exxon Mobil, Chevron, The Procter

---

& Gamble) и ЮАР (Sasol), в отличие от российских, позиционируя свои разработки для синтетических и смесевых топлив, в названии работ, как правило, не указывают на возможность использования в зимних и арктических условиях, не считая, видимо, эту задачу актуальной. Варианты переработки углеводородов базируются на процессах, известных в нефтехимии и адаптированных для стадии облагораживания продуктов ФТ в зависимости от состава сырья и топлива (синтетического или смесевое), и некоторые из типичных способов представлены ниже. Отметим, что приготовление смесевых композиций из продуктов ФТ и фракций нефти является известным приемом получения таких топлив и синтетические углеводороды рассматриваются в качестве универсальной экологической добавки [25].

Так, синтетические топлива получают, смешивая дизельные и легкокипящие фракции продуктов ФТ - в работе [26] дизельную (ниже 340 °С) и керосиновую (ниже 270 °С). Продукты предварительно гидрируют и соотношение *изо*- и *n*-парафинов в дизельной фракции находится в пределах 2-5. Готовые авиационное и дизельное топлива без добавок имеют соответственно температуры - застывания ниже минус 47 °С и предельной фильтруемости ниже минус 9 °С. Возможно комбинирование с сырой нефтью.

Во многих случаях продукты ФТ подвергают гидроочистке - улучшение низкотемпературных свойств топлива связано с превращением *n*-парафинов в изопарафины и гидрированием кислородсодержащих соединений. Для приготовления базового дизельного топлива из синтетической нефти используются средняя (150-360 °С) и тяжелая (360 °С и выше) фракции углеводородов. В варианте [27] после очистки фракции (150-360 °С), на 90% или более состоящей из углеводородов C<sub>9</sub>-C<sub>21</sub>, содержание углеводородов C<sub>8+</sub> на возрастает на 3-9% и, по заключению авторов, связано с

---



тем, что гидроочистка стимулирует изомеризацию *n*-парафинов  $C_{15+}$ . Катализатор на основе металлов VIII группы (Ni, Pt или Pd) включает кислотный носитель в смеси со связующим. Для снижения диффузионных ограничений и создания системы мезопор основной компонент носителя модифицируют. Возможно смешение средней фракции с богатой изопарафинами средней фракцией, полученной при гидроочистке тяжелой фракции, или средней фракцией после гидроизомеризации.

Гидроизомеризация парафинов в присутствии бифункциональных катализаторов также является стандартным приемом улучшения низкотемпературных свойств дизельных топлив ( $C_{10}-C_{20}$ ) и масел ( $C_{20+}$ ) [28]. Использование процесса для продуктов ФТ может быть проиллюстрировано примером получения дизельного топлива и смесевых композиций [25]. После выделения из продуктов синтеза углеводородов фракции  $C_{5+}$  -  $371^{\circ}C$ , часть фракции  $C_{5+}$  -  $260$  ( $316$ ) $^{\circ}C$  не подвергают, а часть (в основном спирты  $C_{12+}$ ) и основную фракцию углеводородов  $371^{\circ}C$  и выше подвергают гидроизомеризации, что приводит к увеличению количества сильноразветвленных изомеров. После объединения компонентов топливо (не менее 95% *изо*- и *n*-парафинов в соотношении 0,3-3,0) удовлетворяет требованиям стандартов по температурам текучести и помутнения [29].

Эффективными каталитическими процессами, используемыми для получения топлив, являются гидрокрекинг (мягкий крекинг в режиме гидрообработки, например, с  $Co/Al_2O_3$ ) и крекинг (жесткий процесс с Pt, Pd на алюмосиликате, цеолите) высокомолекулярных углеводородов ФТ. При этом, наряду с реакциями гидрокрекинга, происходит ряд других реакций, в том числе, изомеризация части линейных парафиновых углеводородов (промежуточные продукты процессов гидрокрекинга и гидроизомеризации на бифункциональных катализаторах одинаковы, а образованию крекированных продуктов предшествует этап изомеризации [30]). Поэтому

---

компоненты легкой фракции продуктов ФТ можно не подвергать гидроочистке и смешивать с дизельной составляющей, выделенной из углеводородов тяжелой фракции после каталитического гидрокрекинга [31, 32]. Полученное топливо (дизельное и реактивное) содержит до 50% парафинов ниже  $C_{16}$  и более 50% разветвленных изопарафинов, имеет высокое цетановое число и хорошие низкотемпературные свойства (предельная температура фильтруемости до минус 37 °С), что связано со значительной степенью изомеризации фракции 270-370 °С [31].

В сравнении с процессом гидроочистки, процесс гидрокрекинга [33], проводится в условиях повышенной температуры и давления, при большем объемном отношении водородсодержащего газа к сырью и меньшем расходе сырья [34]. Для гидроочистки и гидрокрекинга средних и тяжелых дистиллятов чаще используют реактор с послойной загрузкой различных катализаторов. Кроме того, в последнее время было установлено, что более выгодным является использование синтеза ФТ для получения высокомолекулярных углеводородов с температурой кипения выше, чем у средних дистиллятов, а затем проведение гидрокрекинга с получением компонентов топлива. В этом случае продукты синтеза подвергают гидрированию в условиях, при которых практически не происходят изомеризация и гидрокрекинг, а затем подвергают гидрокрекингу [35].

В варианте [36] средние дизельные фракции продуктов синтеза ФТ подвергают изомеризации, воски – термическому крекингу или гидрокрекингу с последующим смешением легких и средних фракций с продуктами крекинга и изомеризации. Технологические схемы предусматривают и однореакторные подходы к получению средних дистиллятов, включая перераспределение жидкого компонента между слоями катализатора. Кроме того [37], синтез ФТ (при гидрокрекинге/гидроизомеризации длинноцепочечных  $\alpha$ -олефинов и

---

парафинов) можно рассматривать и как источник для получения концентрированной топливной добавки, введение которой позволяет улучшить низкотемпературные характеристики (температура текучести до минус 47 °С) и готовить топливные композиции для дизельных и реактивных двигателей.

В процессе гидродепарафинизации протекают реакции гидрирования олефинов, гидроконверсии и изомеризации парафинов  $C_{12}$ - $C_{27}$  и циклизации изопарафинов, гидроконверсии нафтенов, гидрирования моно- и диароматических соединений, а также образование коксогенных структур [38]. При этом гидродепарафинизации и изомеризации подвергаются практически только парафины нормального и слаборазветвленного строения и не только высокомолекулярные [39]. Поэтому, например, при каталитической депарафинизации продуктов синтеза ФТ  $C_{5+}$  (порядка 60% дизельной фракции 149-371 °С) на катализаторе, включающем цеолит и  $Al_2O_3$  с Pt или Pd, получают углеводороды дизельной фракции с температурой помутнения минус 35 °С [40], но с выходом не более 64%. Таким образом, проведение только депарафинизации углеводородов является недостаточным для обеспечения высокого выхода дизельных продуктов [41].

В качестве варианта однореакторного получения топлива возможна организация многозонного процесса со стационарным слоем катализатора [42], в котором продукты ФТ сначала подвергают гидроизомеризации, затем каталитической депарафинизации. При этом фракция углеводородов 149 °С и выше в среде водорода или водородсодержащего газа поступает в первую реакционную зону из двух последовательных зон процесса изомеризации. Катализатор гидрообработки во второй зоне, выполняющий функцию депарафинизации, может являться катализатором, предназначенным для гидрокрекинга, гидроизомеризации и их смесью. Процесс может быть реализован и в отдельных реакционных аппаратах, а каждая или обе

---

реакционные зоны могут иметь один или несколько слоев катализатора. При этом дистиллятные продукты фракций 240-350 °С характеризуются предельной температурой фильтруемости до минус 40 °С. В качестве зимнего топлива или компонентов для смешивания используется весь или часть (10 и более %) углеводородного продукта после второй реакционной зоны.

Как отмечают авторы работы, такое сочетание катализаторов связано с их сходной активностью в конверсии и крекинге углеводородов и возможностью совместной реализации процессов в аналогичных условиях. При этом необходимый баланс активности достигается путем изменения количества и состава каждого из катализаторов в конкретной реакционной зоне или слое катализатора в условиях обеспечения соответствующего транспорта продуктов между зонами и слоями катализаторов.

Можно заключить, что получение низкозастывающих дизельных топлив и топливных композиций с высоким выходом при переработке высокомолекулярных продуктов синтеза ФТ и углеводородов синтетической нефти являются разными задачами. В целом, излагая последовательность технологических операций при приготовлении таких топлив, зарубежные авторы достаточно часто указывают на возможность реализации процессов в общеизвестных условиях и применения на этапах синтеза и гидрообработки продуктов ФТ коммерчески доступных катализаторов. Катализаторы используются в известных промышленных процессах, например, при гидроочистке, и могут быть выбраны с учетом их состава и качества, параметров процесса и т.п.

Отметим, что для создания производств синтетических моторных топлив в северных газодобывающих регионах Российской Федерации с экономической точки зрения наиболее перспективной представляется реализация GtL вариантов синтеза ФТ [43-45]. Разработки в этом

---

направлении стимулируются необходимостью сохранения состояния окружающей среды, ограничением доступа к зарубежным технологиям и наличием крупнейших в мире доказанных запасов природного газа с высоким коэффициентом добычи. Для обеспечения конкурентоспособности процесса, мощность такого производства может быть сокращена, что позволит вовлекать в переработку небольшие и нетрадиционные газовые месторождения [46, 47], которые имеются в холодной и арктической климатических зонах. Возможно использование попутного нефтяного, морского и других газов [17]. Проекты создания интенсивных технологий GtL и установок относительно небольшого масштаба для таких месторождений продолжают развиваться CompactGTL, Velocys, Chevron [48-50] и обсуждаться.

### **Выводы**

В Российской Федерации существует устойчивый дефицит низкозастывающих дизельных топлив. Действующие производства дизельного топлива базируются на переработке, как правило, высокосернистого нефтяного сырья. Использование топлива такого типа создает серьезные экологические проблемы в условиях интенсивного развития регионов Крайнего Севера и Арктики и требует появления новой топливной инфраструктуры и современных топливных производств.

Перспективным альтернативным вариантом, актуальным для отечественной топливной отрасли, является создание производств синтетических моторных топлив в рамках GtL технологии из природных газов, в том числе нетрадиционных месторождений, методом ФТ. Значительный опыт в изучении и практической реализации таких технологий накоплен компаниями США и ЮАР.

Известные технологии низкозастывающих дизельных топлив из нефтяного сырья, продуктов синтеза ФТ из природных газов включают

стадию облагораживания топливных продуктов. Развитие технологии GtL в направлении совмещения стадий получения и переработки продуктов ФТ может обеспечить создание конкурентоспособных производств синтетических топлив. В литературе имеются сведения о попытках совмещения стадий синтеза ФТ и облагораживания в одном технологическом процессе, однако они ограничены, исследования не носят системного характера и направлены на изучение частных аспектов процесса.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (договор № 10.2980.2017/ПЧ от «16» февраля 2017 г.).*

### Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // Экологический консалтинг № 1 (37), 2010. URL: [minenergo.gov.ru/node/1026](http://minenergo.gov.ru/node/1026) (дата обращения: 18.06.2017).
2. Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А., Валиев Д.З. Получение зимних сортов дизельного топлива с применением депрессорно-диспергирующих присадок на основе нефтехимического сырья // Вестник Казанского технологического университета. 2010. №10. С. 645-647.
3. Энергетический бюллетень / Под ред. Григорьева Л. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. 2017. №44. URL: [ac.gov.ru/files/publication/a/11725.pdf](http://ac.gov.ru/files/publication/a/11725.pdf).
4. Разманова С.В., Мачула И.А. Анализ конкурентных преимуществ производства синтетических жидких топлив: мировой опыт и отечественная практика // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. №Т.10. №4. С. 1-37.
5. Мещерин И.В., Жагфаров Ф.Г., Лapidус А.Л., Карпов А.Б., Василенко В.Ю. Нефтегазохимия – ключ к освоению Арктики // НефтеГазоХимия. 2015. №2. С. 16-20.



6. Обзор рынка катализаторов нефтепереработки в России. 3-е изд. М.: 2016. 190 с.
7. Улучшение низкотемпературных свойств дизельных топлив / Агаев С.Г., Глазунов А.М., Гультаев С.В., Яковлев Н.С., Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. 145 с.
8. Кинзуль А.П., Хандархаев С.В., Писаренко Н.О., Бурюкин Ф.А., Твердохлебов В.П. Совершенствование технологии производства низкозастывающих дизельных топлив // Мир нефтепродуктов. 2012. №8. С. 7-11.
9. Глаголева О.Ф., Капустин В.Ф. Технология переработки нефти (в 2-х частях). Часть 1. Первичная переработка нефти. М.: Химия, КолосС, 2006. 401 с.
10. Приваленко А. Н., Квашнин А.Б., Вингерт И.В., Дунаев С.В., Пуляев Н.Н. Исследование процесса кристаллизации нормальных парафинов в дизельных топливах в условиях отрицательных температур // Международный технико-экономический журнал. 2013. №4. С. 95-103.
11. Белинская Н.С. Совершенствование работы сопряженной системы "реактор – колонна стабилизации" процесса каталитической депарафинизации дизельных фракций нефти методом математического моделирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. Томск, 2015. 170 с.
12. Shivananda, Snehash and S, Dasappa. Biomass to liquid transportation fuel via Fischer Tropsch synthesis – Technology review and current scenario // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. №58. pp. 267-286.
13. Kang S.-H., Bae J. W., Sai Prasad P. S., Jun K.-W. Fischer–Tropsch Synthesis Using Zeolite-supported Iron Catalysts for the Production of Light Hydrocarbons // Catalysis Letters. 2008. V. 125. pp. 264-270.

14. Kessel I.B. Efficiency of GTL Industry Construction in JSC «Gazprom» // 23rd World Gas Conference. Amsterdam. 2006. URL: [members.igu.org/html/wgc2006/pdf/paper/add10257.pdf](http://members.igu.org/html/wgc2006/pdf/paper/add10257.pdf).

15. Мордкович В.З., Синева Л.В., Кульчаковская Е.В., Асалиева Е.Ю. Четыре поколения технологии получения синтетического жидкого топлива на основе синтеза Фишера - Тропша исторический обзор // Катализ в промышленности. 2015. Т. 15. № 5. С. 23-45.

16. Хасин А.А. Обзор известных технологий получения синтетических жидких углеводородов по методу Фишера-Тропша // Газохимия. 2008. №1. С. 28-36.

17. Todić Branislav, Ordonsky Vitaly V., Nikačević Nikola M., Khodakovc Andrei Y., Bukur Dragomir B. Opportunities for intensification of Fischer–Tropsch synthesis through reduced formation of methane over cobalt catalysts in microreactors // Catalysis Science & Technology. 2015. №5. pp. 1400-1411.

18. Dry Mark E. High quality diesel via the Fischer–Tropsch process – a review // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2002. V. 77. № 1. pp. 43-50.

19. Sudiro M., Bertucco A. Production of synthetic gasoline and diesel fuel by alternative processes using natural gas and coal: Process simulation and optimization // Energy. 2009. №34. pp. 2206–2214.

20. Хасин А.А. Обзор технологий получения СЖТ, разработанных компаниями Shell и Sasol // Газохимия. 2008. С. 38-48.

21. Mena Subiranas Alba, Schaub Georg. Combining Fischer-Tropsch (FT) and Hydrocarbon Reactions under FT Reaction Conditions: Model Compound and Combined-Catalyst Studies // International Journal of Chemical Reactor Engineering. 2009. №7. URL: [researchgate.net/publication/286375031](http://researchgate.net/publication/286375031).

---



22. Sineva L.V., Asalieva E.Yu, Mordkovich V.Z. The role of zeolite in the Fischer–Tropsch synthesis over cobalt–zeolite catalysts // Russian Chemical Reviews. 2015. №84(11). pp. 1176-1189.

23. Патент РФ на изобретение № 2487159 МПК C10G 2/00, C07C 1/04, C10L 1/08, B01J 23/75, B01J 23/889 (2006.01), Способ осуществления процесса Фишера-Тропша при низком давлении / АЯССЕ Конрад; заявитель и патентообладатель ВМ ГТЛ, ИНК. (US). № 2011130432/04; заявл. 21.12.2009; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 19.

24. Груданова А.И. Повышение эффективности производства низкозастывающих дизельных топлив регулированием состава катализаторов термогидрокаталитических процессов: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.07. М., 2016. 182 с.

25. Пат. 2160764 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C10L 1/08, C10G 2/00, C07C 5/27, C07C 1/04. Синтетическое дизельное топливо и способ его получения / Берловиц Пол Джозеф, Виттенбринк Роберт Джэй, Кук Брюс Рэндолл; заявитель и патентообладатель Экссон Рисерч энд Энджиниринг Компани (US). - № 98109584/04; заявл. 20.09.1996; опубл. 20.12.2000, Бюл. № 35.

26. Пат. US7390397 США, МПК<sup>7</sup> C10L1/08, C10L1/04, C10G2/00, B01D3/14. Low sulphur diesel fuel and aviation turbine fuel / Delanie Lamprecht, Petrus Nicolaas Johannes Roets; заявитель и патентообладатель Sasol Technology (Pty) Ltd (US). - № US 11/256,285; заявл. 19.10.2005; опубл. 24.06.2008.

27. Пат. 2419649 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C10G 45/10, C10G 45/12. Способ гидрирования синтетической нефти и способ изготовления базового топлива / Танака Юити, Такахаси Синя, Тиба Йосифуми; заявитель и патентообладатель НИППОН ОЙЛ КОРПОРЕЙШН (JP). – № 2008136837/04; заявл. 06.02.2007; опубл. 27.05.2011, Бюл. № 15.

---

28. Герасимов Д.Н., Фадеев В.В., Логинова А.Н., Лысенко С.В. Гидроизомеризация длинноцепочечных парафинов: механизм и катализаторы. Часть I // Катализ в промышленности. 2015. №1. С. 27-54.

29. Пат. 2160763 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C10L 1/08, C10G 2/00, C07C 5/27, C07C 1/04. Синтетическое дизельное топливо и способ его получения / Виттенбринк Роберт Джэй, Бауман Ричард Ф., Берловиц Пол Джозеф, Кук Брюс Рэндолл; заявитель и патентообладатель Экссон Рисерч энд Энджиниринг Компани (US). – № 98109451/04; заявл. 08.10.1996; опубл. 20.12.2000, Бюл. № 35.

30. Sartipi Sina, Makkee Michiel, Kapteijn Freek, Gascon Jorge. Catalysis engineering of bifunctional solids for the one-step synthesis of liquid fuels from syngas: A review // Catalysis Science & Technology. 2014. №4. pp. 893-907.

31. Пат. US7217852 США, МПК<sup>7</sup> C10L1/08, C10G1/00, C07C5/13, C10G7/00. Process for producing middle distillates and middle distillates produced by that process / Robert DeHaan, Luis Pablo Dancuart, Mark Jan Prins, Ewald Watermeyer DeWet; заявитель и патентообладатель Sasol Technology (Pty) Ltd (US). – № US 09/787,668; заявл. 17.09.1999; опубл. 15.05.2007.

32. Пат. US6656343 США, МПК<sup>7</sup> C10G65/12, C10L1/00, C10L10/14, C10L10/12, C10G69/14, C10G67/02, C10G2/00, C10L1/08, C10G65/14. Process for producing synthetic naphtha fuel and synthetic naphtha fuel produced by that process / Luis Pablo Dancuart; заявитель и патентообладатель Sasol Technology (Pty) Ltd (US). – № US 09/972,275; заявл. 5.10.2001; опубл. 2.12.2003.

33. Пат. US20060138024 США, МПК<sup>7</sup> C10G47/00, C10G69/00. Production of low sulfur, moderately aromatic distillate fuels by hydrocracking of combined Fischer-Tropsch and petroleum streams / Stephen Miller, Dennis O'Rear; заявитель и патентообладатель Chevron U.S.A. Inc. (US). – № US 11/019,455; заявл. 23.12.2004; опубл. 29.06.2006.

---

34. Климов О.В. Бифункциональные катализаторы в гидрогенизационных процессах нефтепереработки // Химия в интересах устойчивого развития. 2011. №1(19). С. 59-66.

35. Пат. EP0147873 США, МПК<sup>7</sup> B01J23/00, C10G69/02, C10G3/00, B01J23/74, C07C1/00, B01J23/86, C10G47/18, C10G2/00, C07C1/04, B01J23/75, C07C67/00, B01J23/85, Process for the preparation of middle distillates / Johannes Kornelis Minderhoud, Swan Tiong Sie; заявитель и патентообладатель Shell Internationale Research Maatschappij B.V. (US). – № EP19840201256; заявл. 30.08.1984; опубл. 10.07.1985.

36. Пат. US20060016727 США, МПК<sup>7</sup> C10G31/00. Gel assisted separation method and dewatering/desalting hydrocarbon oils / Ramesh Varadaraj; заявитель и патентообладатель Exxonmobil Research And Engineering Company (US). – № US 11/173,975; заявл. 1.07.2005; опубл. 26.01.2006.

37. Пат. 2228350 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C10L 1/02, C10L 1/18. Составы синтетического топлива для реактивных и дизельных двигателей и способы их получения / Коннор Дэниел Стедман, Беркетт-СТ. Лоран Джеймс Чарльз Теофил Роджер, Крайп Томас Энтони; заявитель и патентообладатель ДЗЕ ПРОКТЕР ЭНД ГЭМБЛ КОМПАНИ (US). – № 2002124570/04; заявл. 13.02.2001; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13.

38. Белинская Н.С., Францина Е.В. Кинетическая модель процесса производства дизельных топлив // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2013. №2 (6). С. 145-149.

39. Камешков А.В., Федоров В.И., Семикин К.В. Влияние режима гидродепарафинизации на низкотемпературные свойства дизельной фракции // Нефтепереработка и нефтехимия. 2016. №4. С. 3-7.

40. Пат. US6702937 США, МПК<sup>7</sup> C10G65/04. Process for upgrading Fischer-Tropsch products using dewaxing and hydrofinishing / David R. Johnson, Christopher A. Simmons, Donald H. Mohr, Stephen J. Miller, Stephen K. Lee;

---

заявитель и патентообладатель Chevron U.S.A. Inc. (US). № US 10/068,927; заявл. 8.02.2002; опубл. 9.03.2004.

41. Пат. 2493237 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C10G 65/00, B01J 32/00, B01J 23/42, B01J 29/85. Способ получения дизельного топлива из твердых синтетических углеводородов, полученных по методу Фишера-Тропша, и катализатор для его осуществления / Логинова Анна Николаевна, Свицерский Сергей Александрович, Потапова Светлана Николаевна, Фадеев Вадим Владимирович, Михайлова Янина Владиславовна, Лысенко Сергей Васильевич, Герасимов Денис Николаевич, Круковский Илья Михайлович, Аксенов Михаил Сергеевич; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "СинТоп" (RU). – № 2011131004/04; заявл. 26.07.2011; опубл. 10.02.2013, Бюл. № 26.

42. Пат. WO2001083641 США, МПК<sup>7</sup> C10G65/043. Winter diesel fuel production from a Fischer-Tropsch wax / Paul Joseph Berlowitz, Daniel Francis Ryan, Robert Jay Wittenbrink, William Berlin Genetti, Jack Wayne Johnson; заявитель и патентообладатель Exxonmobil Res & Eng Co (US). – № US2001/009903; заявл. 28.03.2001; опубл. 6.09.2002.

43. Gas to Liquids – Historical Development and Future Prospects // Oxfordenergy.org URL: doi.org/10.26889/9781907555848.

44. Mark E Dry The Fischer–Tropsch process: 1950–2000 // Catalysis Today. 2002. №71. pp. 227-241.

45. Bartholomew C.H., Farrauto R.J. Fundamentals of industrial catalytic processes. 2nd изд. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2006. 966 p.

46. Зубков И.Н., Салиев А.Н., Соромотин В.Н., Якуба Э.С., Яковенко Р.Е. Полноциклового пилотный комплекс переработки природного и попутного нефтяного газов в синтетическую нефть // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3944.

---

47. Нарочный Г.Б., Яковенко Р.Е., Савостьянов А.П. Исследование процесса теплопередачи в трубчатом реакторе в условиях интенсивного синтеза углеводородов из CO и H<sub>2</sub> // Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3308.
48. Официальный сайт компании CompactGTL. URL: compactgtl.com.
49. Официальный сайт компании Velocys. URL: velocys.com.
50. Kibby C., Jothimurugesan K., Das T., Lacheen H.S., Rea T., Saxton R.J. Chevron's gas conversion catalysis-hybrid catalysts for wax-free Fischer–Tropsch synthesis // Catalysis Today. 2013. №215. pp. 131–141.

### References

1. Energeticheskaya strategiya Russia na period do 2030 goda [The energy strategy of Russia for the period up to 2030]. Ekologicheskii konsalting № 1 (37), 2010. URL: minenergo.gov.ru/node/1026 (data obrashcheniya: 18.06.2017).
2. Kemalov A.F., Kemalov R.A., Valiev D.Z. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2010. №10. pp. 645-647.
3. Energeticheskii byulleten' [Energy Bulletin]. Pod red. Grigor'eva L. Analiticheskii tsentr pri pravitel'stve Rossiyskoy Federatsii. 2017. №44. URL: ac.gov.ru/files/publication/a/11725.pdf.
4. Razmanova S.V., Machula I.A. Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika. 2015. №V.10. №4. pp. 1-37.
5. Meshcherin I.V., Zhagfarov F.G., Lapidus A.L., Karpov A.B., Vasilenko V.Yu. NefteGazoKhimiya. 2015. №2. pp. 16-20.
6. Obzor rynka katalizatorov neftepererabotki v Russia [The review of the market of catalysts of oil refining in Russia]. 3-e izd. M.: 2016. 190 p.
7. Uluchshenie nizkotemperaturnykh svoystv dizel'nykh topliv [Improving the low-temperature properties of diesel fuels]. Agaev S.G., Glazunov A.M., Gul'tyaev S.V., Yakovlev N.S., Tyumen': TyumGNGU, 2009. 145 p.



8. Kinzul' A.P., Khandarkhaev S.V., Pisarenko N.O., Buryukin F.A., Tverdokhlebov V.P. Mir nefteproduktov. 2012. №8. pp. 7-11.
  9. Glagoleva O.F., Kapustin V.F. Tekhnologiya pererabotki nefti (v 2-kh chastyakh). Chast' 1. Pervichnaya pererabotka nefti [The technology of oil refining (in 2 parts). Part 1. Primary processing of oil]. M.: Khimiya, KolosS, 2006. 401 p.
  10. Privalenko A. N., Kvashnin A.B., Vingert I.V., Dunaev S.V., Pulyaev N.N. Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskii zhurnal. 2013. №4. pp. 95-103.
  11. Belinskaya N.S. Sovershenstvovanie raboty sopryazhennoy sistemy "reaktor - kolonna stabilizatsii" protsessa kataliticheskoy deparafinizatsii dizel'nykh fraktsiy nefti metodom matematicheskogo modelirovaniya [Improvement of the work of the conjugate system "reactor - stabilization column" of the process of catalytic dewaxing of diesel oil fractions by mathematical modeling]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.17.08. Tomsk, 2015. 170 p.
  12. Shivananda, Snehes and S, Dasappa. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. №58. pp. 267-286.
  13. Kang S.-H., Bae J. W., Sai Prasad P. S., Jun K.-W.. Catalysis Letters. 2008. V. 125. pp. 264-270.
  14. Kessel I.B. Efficiency of GTL Industry Construction in JSC «Gazprom». 23rd World Gas Conference. Amsterdam. 2006. URL: [members.igu.org/html/wgc2006/pdf/paper/add10257.pdf](http://members.igu.org/html/wgc2006/pdf/paper/add10257.pdf).
  15. Mordkovich V.Z., Sineva L.V., Kul'chakovskaya E.V., Asalieva E.Yu. Kataliz v promyshlennosti. 2015. V. 15. № 5. pp. 23-45.
  16. Khasin A.A. Gazokhimiya. 2008. №1. pp. 28-36.
  17. Todić Branislav, Ordonsky Vitaly V., Nikačević Nikola M., Khodakovc Andrei Y., Bukur Dragomir B.. Catalysis Science & Technology. 2015. №5. pp. 1400-1411.
  18. Dry Mark E. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2002. V. 77. № 1. pp. 43-50.
-

19. Sudiro M., Bertucco A. Energy. 2009. №34. pp. 2206–2214.
  20. Khasin A.A. Gazokhimiya. 2008. pp. 38-48.
  21. Mena Subiranas Alba, Schaub Georg. International Journal of Chemical Reactor Engineering. 2009. №7. URL: [researchgate.net/publication/286375031](http://researchgate.net/publication/286375031).
  22. Sineva L.V., Asalieva E.Yu, Mordkovich V.Z. Russian Chemical Reviews. 2015. №84(11). pp. 1176-1189.
  23. Patent RF na izobretenie № 2487159 MPK C10G 2/00, C07C 1/04, C10L 1/08, B01J 23/75, B01J 23/889 (2006.01), Sposob osushchestvleniya protsessa Fishera-Tropscha pri nizkom davlenii [The way the implementation process of the Fischer-Tropsch process at low pressure]. AYASSE Konrad; заявитель и патентообладатель VM GTL, INK. (US). № 2011130432/04; заявл. 21.12.2009; опubl. 10.07.2013, Byul. № 19.
  24. Grudanova A.I. Povyshenie effektivnosti proizvodstva nizkozastyvayushchikh dizel'nykh topliv regulirovaniem sostava katalizatorov termogidrokatalticheskikh protsessov [Increasing the production efficiency of low-solidification diesel fuels by regulating the composition of catalysts of thermo-hydrocatalytic processes]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.17.07. M., 2016. 182 p.
  25. Pat. 2160764 Rossiyskaya Federatsiya, MPK<sup>7</sup> C10L 1/08, C10G 2/00, C07C 5/27, C07C 1/04. Sinteticheskoe dizel'noe toplivo i sposob ego polucheniya [Synthetic diesel fuel and method for its production]. Berlovits Pol Dzhozef, Vittenbrink Robert Dzhey, Kuk Bryus Rendoll; заявитель и патентообладатель Eksson Riserch end Endzhiniring Kompani (US). № 98109584/04; заявл. 20.09.1996; опubl. 20.12.2000, Byul. № 35.
  26. Pat. US7390397 USA, MPK<sup>7</sup> C10L1/08, C10L1/04, C10G2/00, B01D3/14. Low sulphur diesel fuel and aviation turbine fuel. Delanie Lamprecht, Petrus Nicolaas Johannes Roets; заявитель и патентообладатель Sasol
-

Technology (Pty) Ltd (US). № US 11/256,285; заявл. 19.10.2005; opubl. 24.06.2008.

27. Pat. 2419649 Rossiyskaya Federatsiya, MPK<sup>7</sup> C10G 45/10, C10G 45/12. Sposob gidrirovaniya sinteticheskoy nefti i sposob izgotovleniya bazovogo topliva [Method for the hydrogenation of synthetic oil and a method of manufacturing the base fuel]. Tanaka Yuiti, Takakhasi Sinya, Tiba Yosifumi; заявитель i патентообладатель NIPPON OYL KORPOREYShN (JP). № 2008136837/04; заявл. 06.02.2007; opubl. 27.05.2011, Byul. № 15.

28. Gerasimov D.N., Fadeev V.V., Loginova A.N., Lysenko S.V. Kataliz v promyshlennosti. 2015. №1. pp. 27-54.

29. Pat. 2160763 Rossiyskaya Federatsiya, MPK<sup>7</sup> C10L 1/08, C10G 2/00, C07C 5/27, C07C 1/04. Sinteticheskoe dizel'noe toplivo i sposob ego polucheniya [Synthetic diesel fuel and method for its production] / Vittenbrink Robert Dzhey, Bauman Richard F., Berlovits Pol Dzhozef, Kuk Bryus Rendoll; заявитель i патентообладатель Eksson Riserch end Endzhiniring Kompani (US). – № 98109451/04; заявл. 08.10.1996; opubl. 20.12.2000, Byul. № 35.

30. Sartipi Sina, Makkee Michiel, Kapteijn Freek, Gascon Jorge. Catalysis Science & Technology. 2014. №4. pp. 893-907.

31. Pat. US7217852 USA, MPK<sup>7</sup> C10L1/08, C10G1/00, C07C5/13, C10G7/00. Process for producing middle distillates and middle distillates produced by that process. Robert DeHaan, Luis Pablo Dancuart, Mark Jan Prins, Ewald Watermeyer DeWet; заявитель i патентообладатель Sasol Technology (Pty) Ltd (US). № US 09/787,668; заявл. 17.09.1999; opubl. 15.05.2007.

32. Pat. US6656343 USA, MPK<sup>7</sup> C10G65/12, C10L1/00, C10L10/14, C10L10/12, C10G69/14, C10G67/02, C10G2/00, C10L1/08, C10G65/14. Process for producing synthetic naphtha fuel and synthetic naphtha fuel produced by that process. Luis Pablo Dancuart; заявитель i патентообладатель

---





Sasol Technology (Pty) Ltd (US). № US 09/972,275; zayavl. 5.10.2001; opubl. 2.12.2003.

33. Pat. US20060138024 USA, MPK<sup>7</sup> C10G47/00, C10G69/00. Production of low sulfur, moderately aromatic distillate fuels by hydrocracking of combined Fischer-Tropsch and petroleum streams. Stephen Miller, Dennis O'Rear; zayavitel' i patentoobladatel' Chevron U.S.A. Inc. (US). № US 11/019,455; zayavl. 23.12.2004; opubl. 29.06.2006.

34. Klimov O.V. Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 2011. №1(19). pp. 59-66.

35. Pat. EP0147873 USA, MPK<sup>7</sup> B01J23/00, C10G69/02, C10G3/00, B01J23/74, C07C1/00, B01J23/86, C10G47/18, C10G2/00, C07C1/04, B01J23/75, C07C67/00, B01J23/85. Process for the preparation of middle distillates. Johannes Kornelis Minderhoud, Swan Tiong Sie; zayavitel' i patentoobladatel' Shell Internationale Research Maatschappij B.V. (US). № EP19840201256; zayavl. 30.08.1984; opubl. 10.07.1985.

36. Pat. US20060016727 USA, MPK<sup>7</sup> C10G31/00. Gel assisted separation method and dewatering/desalting hydrocarbon oils. Ramesh Varadaraj; zayavitel' i patentoobladatel' Exxonmobil Research and Engineering Company (US). № US 11/173,975; zayavl. 1.07.2005; opubl. 26.01.2006.

37. Pat. 2228350 Rossiyskaya Federatsiya, MPK<sup>7</sup> C10L 1/02, C10L 1/18. Sostavy sinteticheskogo topliva dlya reaktivnykh i dizel'nykh dvigateley i sposoby ikh polucheniya [The compositions of synthetic fuels for jet and diesel engines and methods for their preparation]. Konnor Deniel Stedman, Berkett-ST. Loran Dzheymz Charl'z Teofil Rodzher, Krayp Tomas Entoni; zayavitel' i patentoobladatel' The Procter & Gamble company (US). № 2002124570/04; zayavl. 13.02.2001; opubl. 10.05.2004, Byul. № 13.

38. Belinskaya N.S., Frantsina E.V. Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve. 2013. №2 (6). pp. 145-149.

---

39. Kameshkov A.V., Fedorov V.I., Semikin K.V. Neftepererabotka i neftekhimiya. 2016. №4. pp. 3-7.

40. Pat. US6702937 USA, MPK<sup>7</sup> C10G65/04. Process for upgrading Fischer-Tropsch products using dewaxing and hydrofinishing. David R. Johnson, Christopher A. Simmons, Donald H. Mohr, Stephen J. Miller, Stephen K. Lee; zayavitel' i patentoobladatel' Chevron U.S.A. Inc. (US). № US 10/068,927; zayavl. 8.02.2002; opubl. 9.03.2004.

41. Pat. 2493237 Rossiyskaya Federatsiya, MPK<sup>7</sup> C10G 65/00, B01J 32/00, B01J 23/42, B01J 29/85. Sposob polucheniya dizel'nogo topliva iz tverdykh sinteticheskikh uglevodorodov, poluchennykh po metodu Fishera-Tropsha, i katalizator dlya ego osushchestvleniya [A method of obtaining diesel fuel from solid synthetic hydrocarbons obtained using Fischer-Tropsch process and catalyst for its implementation]. Loginova Anna Nikolaevna, Sviderskiy Sergey Aleksandrovich, Potapova Svetlana Nikolaevna, Fadeev Vadim Vladimirovich, Mikhaylova Yanina Vladislavovna, Lysenko Sergey Vasil'evich, Gerasimov Denis Nikolaevich, Krukovskiy Il'ya Mikhaylovich, Aksenov Mikhail Sergeevich; zayavitel' i patentoobladatel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "SinTop" (RU). № 2011131004/04; zayavl. 26.07.2011; opubl. 10.02.2013, Byul. № 26.

42. Pat. WO2001083641 USA, MPK<sup>7</sup> C10G65/043. Winter diesel fuel production from a Fischer-Tropsch wax. Paul Joseph Berlowitz, Daniel Francis Ryan, Robert Jay Wittenbrink, William Berlin Genetti, Jack Wayne Johnson; zayavitel' i patentoobladatel' Exxonmobil Res & Eng Co (US). № US2001/009903; zayavl. 28.03.2001; opubl. 6.09.2002.

43. Gas to Liquids – Historical Development and Future Prospects. Oxfordenergy.org URL: doi.org/10.26889/9781907555848.

44. Mark E Dry. Catalysis Today. 2002. №71. pp. 227-241.



45. Bartholomew C.H., Farrauto R.J. Fundamentals of industrial catalytic processes. 2nd izd. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2006. 966 p.
46. Zubkov I.N., Saliev A.N., Soromotin V.N., Yakuba E.S., Yakovenko R.E. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3944](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3944).
47. Narochnyy G.B., Yakovenko R.E., Savost'yanov A.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3308](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3308).
48. Ofitsial'nyy sayt kompanii CompactGTL [Official website of the company CompactGTL]. URL: [compactgtl.com](http://compactgtl.com).
49. Ofitsial'nyy sayt kompanii Velocys [Official website of the company Velocys]. URL: [velocys.com](http://velocys.com).
50. Kibby C., Jothimurugesan K., Das T., Lacheen H.S., Rea T., Saxton R.J. Catalysis Today. 2013. №215. pp. 131–141.