

УДК 665.753.4: 662.75

О ПРОИЗВОДСТВЕ И ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДИЗЕЛЯХ ЖИДКИХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ТОПЛИВ ИЗ УГЛЕЙ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ НЕФТЯНЫМ

Ведрученко В.Р., Краинов В.В., Жданов Н.В., Кокшаров М.В., Воропаева Е.С.

ФГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», Омск,
e-mail: ten@omgups.ru

Выполнен хронологический анализ научных и практических разработок как иностранных, так и отечественных ученых и практиков по проблеме синтеза жидких синтетических топлив (СЖТ) из углей разных месторождений. Проанализирован химический состав угольного сырья различного происхождения, принципиально пригодного для производства СЖТ. Рассмотрены технологические особенности процессов синтеза СЖТ по различным схемам. Рассмотрены моторные и теплотехнические свойства опытных марок СЖТ из отечественных бурых углей и некоторые результаты испытаний таких СЖТ в быстроходном судовом дизеле.

Ключевые слова: твердое топливо, синтетическое жидкое топливо, деструктивная гидрогенизация, каталитический синтез, метод Орлова-Фишера-Тропша

PRODUCTION AND PROSPECTS OF USE IN DIESEL ENGINES OF LIQUID SYNTHETIC FUELS FROM COAL, AS AN ALTERNATIVE TO OIL

Vedruchenko V.R., Krainov V.V., Zhdanov N.V., Koksharov M.V., Voropaeva E.S.

Omsk State Transport University, Omsk, e-mail: ten@omgups.ru

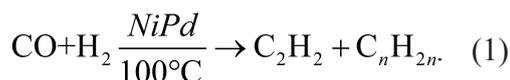
A chronological analysis of scientific and practical developments, both foreign and domestic scientists and practitioners on the problem of synthesis of liquid synthetic fuels (LSF) of coals from different fields is made. The chemical composition of coal raw material of different origin, principally suitable for the production of LSF is analyzed. Technological features of processes of synthesis of LSF on various schemes are considered. Motor and thermal properties of experienced brands LSF of domestic brown coal and some results of testing of such LSF in speed marine diesel engine are reviewed.

Keywords: solid fuel, synthetic liquid fuel, destructive hydrogenation, catalytic synthesis, a method of Orlova-Fischer-Tropsch

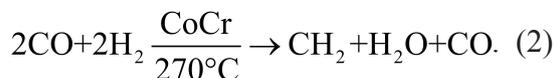
Создавая свой двигатель, Рудольф Дизель рассчитывал использовать угольную пыль как топливо. Однако, впоследствии керосин и дизельные топлива оказались технологичнее, экономичнее и вытеснили уголь как топливо для дизелей [2, 3, 7].

Первичными источниками жидких топлив, кроме нефти, могут быть: бурый и каменный уголь, сланцы, торф. Так, переработкой первичных бурогольных смол можно получить бензин, керосин, моторное топливо, парафин, асфальт [3, 6].

А.М. Бутлеров (1828-1886 гг.) создал искусственным (синтетическим) путем органическое соединение (глюкозу $C_6H_{12}O_6$). В 1908 г. профессор А.Е. Орлов впервые в мире провел реакцию синтеза сложных углеводородов путем каталитического процесса по схеме:



Вскоре немецкие химики, Ф. Фишер и Г. Тропш (по идее Орлова А.Е.) осуществили реакцию по такой схеме:



В результате были получены жидкие и твердые углеводороды.

Однако неуклонное истощение природных запасов и неизбежный рост цен на топливо для дизелей привели к тому, что одним из перспективных направлений широкого использования низкосортных углей является получение из них синтетических газовых и жидких топлив [1-3, 5, 7].

Ранее существовало два понятия: синтетическое жидкое топливо (СЖТ), получаемое из смеси водорода и окиси углерода и искусственное жидкое топливо (ИЖТ), получаемое гидрогенизацией угля. В настоящее время в литературе эти оба понятия объединяют в одно – СЖТ [6].

В 1908 г. немецкие химики Ф. Габер и К. Бош разработали технологию получения аммиака прямым синтезом из азота и водорода.

В 1913 г. немецкий химик Ф. Бергиус предложил и запатентовал метод промышленного производства продуктов гидрогенизации угля молекулярным водородом при температурах 450-470 °С и давлении 20 МПа. В годы первой мировой войны по этому методу в Германии получали 15-20% бензина от органической массы угля, при общем количестве жидких продуктов 50%.

Процесс был одностадийный и назывался «бергенизация».

В 1926 г. Ф. Фишер и Г. Тропш разработали и получили патент на более простой способ получения СЖТ, который проходил в присутствии катализатора при давлении 1,5–2,0 МПа и температуре 180–200 °С.

В 30-е годы прошлого столетия в Германии было построено шесть заводов по производству искусственного жидкого топлива, способных вырабатывать свыше 5 млн. т. моторного горючего. Прямой гидрогенизацией («бергинизацией») удастся превратить в жидкое топливо до 80% исходного угля, однако способ требует температуры 400–500 °С и давления до 70 МПа.

В период 1940–1943 гг. в Германии наблюдался наибольший подъем в производстве СЖТ. Однако стоимость СЖТ, получаемого в те годы, была в 3–5 раз выше добываемого естественного топлива из нефти [6].

В Германии Матиас Пир в 1923 году впервые синтезировал метанол, используя научные и технические данные Ф. Габера и К. Боша при разработке промышленного метода получения синтетического аммиака. Изучая механизм реакции синтеза метанола под высоким давлением, Матиас Пир пытался решить проблему каталитического гидрирования угля и смолы в углеводороды в промышленном масштабе [7].

В 1927 году на комбинате «Лейна» в Германии, было налажено производство бензина из угля, а в 1936 году основан завод по производству топлива и смазочных материалов синтезом углеводородов по методу Фишера-Тропша.

После второй мировой войны получение аммиака по методу Ф. Габера и К. Боша, а также синтез углеводородов под высоким давлением по способу Бергюса стали использоваться в ГДР [1, 4, 5, 6].

На базе исследований советских химиков (Н.Д. Зелинского, А.Ф. Добрянского, А.Д. Петрова и др.) был осуществлен процесс синтеза искусственной нефти. В 1937 г. была решена задача получения высокооктановых бензинов. В.А. Проскуряков и Н.А. Зеленин показали принципиальную возможность получения бензинов и дизельного топлива не только из угля, но и из сланцев [6].

В США в 1947 г. фирмы «Стандарт Ойл» и «Техас» начали выпускать синтетический бензин и дизельное топливо на двух заводах (1300 т/сут). В США были проведены испытания синтетических топлив и их смесей с нефтяными. В настоящее время в США построены три установки для сжигания и газификации углей мощностью

250–600 т/сут и одна установка в Германии (200 т/сут).

Анализ способов производства СЖТ

Искусственные жидкие топлива из углей стремятся получать в основном двумя основными способами: 1) газификацией угля, когда производится так называемый синтез-газ (смеси окиси углерода и водорода), используемый для синтеза смеси углеводородов, аналогичной определенному виду моторного топлива; 2) с помощью гидрогенизации угля, когда он в присутствии катализаторов взаимодействует с водородом при давлении в $(1-3)10^7$ Па и температуре около 500 °С.

В России исследования по получению синтетических жидких топлив из углей ведутся по двум направлениям: гидрогенизации угля и термическая обработка по способу высокоскоростного пиролиза угля [3, 4].

Результатом осуществления переработки Канско-Ачинского угля по этим процессам является сырой продукт – смола, который требует дополнительного облагораживания для получения качественного стабильного топлива.

В результате переработки углей получают моторные топлива: бензин, реактивное топливо, дизельное топливо, а также продукты для нефтехимической промышленности.

Качество жидких топлив зависит от технологии получения: первичные продукты переработки угля близких к сырой нефти, гидроочищенные продукты – к стандартным нефтяным топливам. Исследования направлены на поиск эффективных катализаторов процессов гидроочистки для улучшения характеристик СЖТ, в частности, снижения содержания в них ароматических углеводородов и повышения цетанового числа.

По данным [3] синтетическое топливо имело цетановое число – 43(46), вязкость при температуре 20 °С – 5,5(4,01) мм²/с, температура застывания – 15 (-27) °С, температура помутнения – 6(-14) °С, плотность при 20 °С – 863(839) кг/м³.

Деструктивной гидрогенизации могут подвергаться жидкие и твердые природные органические вещества (рис. 1). Деструктивная гидрогенизация в жидком состоянии технологически удобнее из-за лучшего контакта реагирующих веществ с гетерогенным катализатором. Поэтому с самого возникновения процесса деструктивной гидрогенизации твердого топлива последнее сначала переводят в жидкое состояние, а затем уже гидрируют.

В качестве твердого сырья используются угли как гумусового, так и сапропелитового происхождения.

Свойства и требования к исходному сырью

Различают две большие группы горючих ископаемых: гуммиты и сапропелиты. Первые получили свое название от слова гумус – перегной; а вторые от греческого слова сапрос – гнилой и пелос – ил. Имеется и третья, подчиненная группа – липтобиолиты (лейпо – оставаться, биос – жизнь, литос – камень). Это остатки наиболее стойких к различным биохимическим воздействиям веществ, входящих в состав растений. К ним относятся смолы, в частности – янтарь, воски – сложные эфиры высших насыщенных кислот и высших спиртов, оболочки спор, пробковая ткань коры и др. Липтобиолиты очень редко встречаются отдельно, обычно они включены в гуммиты.

Гуммиты произошли от высших растений, которые после отмирания превращались в торф, как это происходит сейчас. Затем по мере погружения в толщу земли, без доступа воздуха протекали сложные процессы восстановления, в результате которых выделялись вода, углекислый газ, метан, и простейшие углеводороды, а оставшийся материал обогащался углеродом. Поскольку высшие растения на 60-80% состоят из целлюлозы и лигнина (веществ, богатых кислородом), в процессе метаморфизма (превращения

исходного растительного материала в восстановительной среде в уголь) выделялось относительно много воды и оставшийся материал, обогащаясь углеродом, значительно обеднялся водородом.

Сапропелиты произошли из низших форм растений – одноклеточных водорослей, которые образуют планктон Мирового океана. Отмирая, микроводоросли оседают на дне водоемов, где разлагаются сначала при ограниченном контакте с воздухом, а затем без доступа воздуха. В исходном материале полностью отсутствует лигнин и целлюлоза, а количество углеводов (богатых кислородом веществ) около 30%, содержание в нем кислорода значительно меньше, чем в высших растениях. Поэтому в процессе метаморфизма образующийся продукт – сапропель значительно богаче водородом, чем гумус. В определенных условиях из этого материала образуются нефть и горючие сланцы.

Сапропелиты подвергаются гидрогенизации гораздо легче гуммитов, давая высокий выход жидких и газообразных продуктов.

К сырью предъявляют следующие требования. Угли должны быть малозольными (4-6% золы в каменных и до 12-13% в бурых углях), малосернистыми и сухими. Кроме того, они должны иметь определенный элементный и петрографический состав.

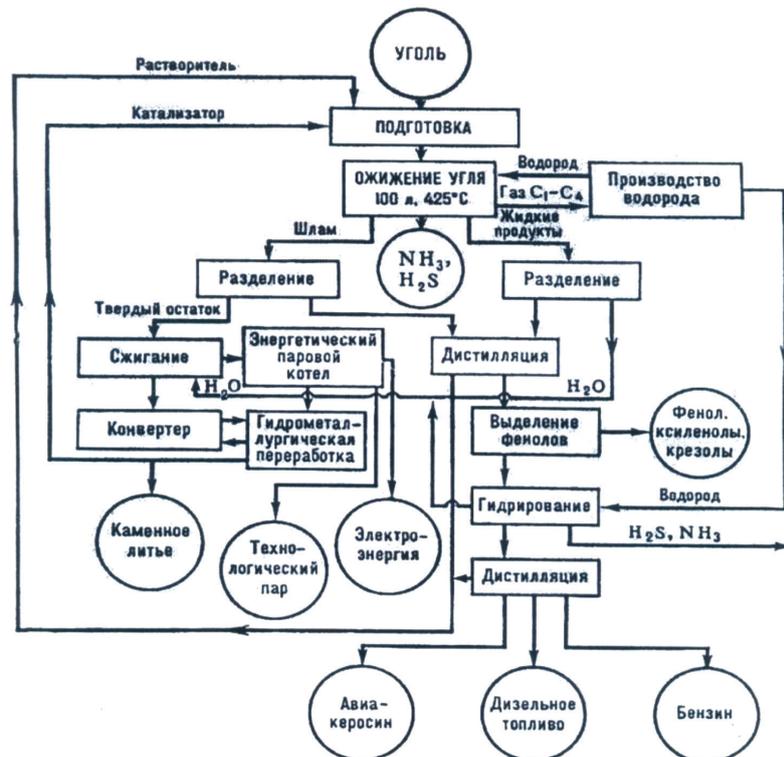


Рис. 1. Схема деструктивной гидрогенизации угля

Гидрогенизация более богатых водородом сапропелитовых и липтобиолитовых твердых горючих ископаемых протекает уже при 350-380°C и начальном давлении водорода 8,0-8,3 МПа. В этих условиях указанные угли полностью расплавляются и переходят в жидкое состояние, что благоприятствует процессу гидрирования.

Гумусовые угли в этих условиях только размягчаются. В зависимости от содержания углерода эти угли могут подвергаться деструктивной гидрогенизации в большей или меньшей степени. Хорошо гидрируются угли ранней или средней стадии зрелости: бурые, газовые, длиннопламенные, жирные и коксовые, содержание углерода в которых не превышает 90% углерода, гидрируются плохо или совсем не гидрируются.

На выход целевых жидких продуктов помимо содержания углерода влияет и входящий в состав угля кислород. Например, при гидрогенизации лигнитов и битуминозных углей низкой стадии зрелости, содержащих 73-77% углерода, образуется 57-65% жидких продуктов, тогда как при гидрогенизации более зрелых битуминозных углей, содержащих 80-88% углерода, было получено 84-90% жидких продуктов на органическую массу угля.

Задачей деструктивной гидрогенизации твердого топлива является получение бензина и других видов жидкого топлива. Для достижения этой цели необходимо сблизить химический состав угля и бензина, а они значительно различаются.

Состав СЖТ из углей

Бензин состоит из смеси углеводородов с незначительной примесью соединений, в которые входят сера, кислород и азот. Содержание водорода в бензине высокое – 17-18 мас. %, остальные – 82-83 мас.% практически полностью приходится на углерод. Следует иметь в виду, что углеводороды, входящие в состав бензина, содержат в молекуле от 6 до 12-15 атомов углерода.

Элементарный состав углей значительно разнообразнее: кроме углерода и водорода в них содержится в значительных количествах кислород (от 31 мас.% в молодых бурых углях до 1 мас.% в зрелых каменных углях), сера – от 0,5 до 2,5 мас.% и около 1 мас.% азота. В то же время содержание в углях водорода меньше, чем в бензине: от 9 до 3,5 мас.%, а в некоторых углях меньше и количество углерода – от 63 до 89 мас. %.

Вещество угля представляет собой в основной массе природный полимер нестереоупорядоченной структуры. Его химическое строение еще достоверно не установлено [6].

В отличие от бензина условная молекула угольного вещества содержит более 100 (а по данным некоторых исследователей и 200) атомов углерода. Поэтому чтобы получить из угля бензин, необходимо сначала разрушить исходное угольное вещество до более мелких, простых по строению осколков – радикалов, которые затем насытить водородом.

Поскольку кроме углерода и водорода в состав угля входят кислород, сера и азот, а также минеральные вещества, для расчёта необходимого при гидрогенизации количества водорода пользуются отношением водорода к углероду в гидрируемом продукте.

По этому показателю горючие ископаемые можно расположить в следующей последовательности: нефть – 14÷15, сапропелиты – 9÷12,5, бурые угли – 6,5÷9, каменные угли – 5,4÷9, тощие каменные угли – 5,4. У бензина это отношение равно 17÷18. Таким образом, для получения бензина из бурых и каменных углей необходимо добавить 12÷13 мас. % водорода.

Однако при определении пригодности углей к гидрогенизации такого формального подхода, основанного только на их элементарном составе, недостаточно.

Дело в том, что угли чрезвычайно разнообразны по своим свойствам и составу. Это связано с условиями их происхождения.

Основным исходным материалом, из которого произошли угли, являются высшие и низшие формы растений, произраставшие на земле или жившие в морских и пресноводных водоемах в отдаленные геологические эпохи.

Анализ схем и процессов производства СЖТ

Вплоть до конца 40-х – начала 50-х годов прошлого века, процесс деструктивной гидрогенизации углей интенсивно изучался в теоретическом плане и совершенствовалась технология его производства. Выход бензина был доведен до 60% при практически полном превращении угля в жидкие продукты [6].

Параллельно с процессами прямой гидрогенизации углей развивался другой процесс получения жидких топлив – каталитический синтез из окиси углерода и водорода по методу Орлова-Фишера-Тропша [4, 5, 8-10].

Основное достоинство этого процесса, которое обусловило значительный интерес к его реализации, заключается в возможности получения углеводородов практически из любого углеродсодержащего сырья (угля, торфа, природного газа, органических отходов и т.д.). Таким образом, стало возможным производство продуктов, ко-

торые традиционно получались из нефти и тем самым открылся путь к для реальной экономии нефтяных ресурсов.

Полная схема установки процесса Фишера-Тропша включает три стадии:

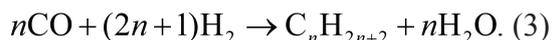
- получение синтез-газа;
- синтез углеводородов из синтез-газа (собственно процесс Фишера-Тропша);
- разделение газо-жидкостных продуктов с выделением целевых продуктов и их дальнейшая переработка с получением товарных продуктов, в т.ч. моторных топлив.

В случае получения моторных топлив из продуктов синтеза Фишера-Тропша третья стадия включает известные процессы нефтепереработки – гидрокрекинг, гидроизомеризация и т.д.

Капитальные затраты на действующих установках, использующих в качестве исходного сырья природный газ, распределяются примерно следующим образом: первая стадия – 60%; вторая – 25% и третья – 15%.

Это соотношение может меняться в зависимости от используемых технологий и процессов, особенно на третьей стадии, но, как правило, основные капитальные затраты связаны с первой стадией – получением синтез-газа, и поэтому основное внимание уделяется совершенствованию именно этой стадий.

Основная реакция, по которой протекает синтез по методу Фишера-Тропша, может рассматриваться как восстановительная олигомеризация оксида углерода по схеме [6]:



Синтез углеводородов из CO и H₂ является сложным каталитическим процессом, включающим большое число параллельных и последовательных реакций. Большое влияние на условия процесса и особенно на состав продуктов оказывают катализаторы, в качестве которых наиболее часто используются металлы VIII группы периодической таблицы Менделеева – железо (Fe), кобальт (Co) и рутений (Ru).

В промышленности практически используются только кобальтовые и железные катализаторы.

При полном превращении синтез-газа максимальный выход жидких продуктов составляет 208,5 г из 1 м³ (при нормальных условиях) смеси CO+2H₂.

Исследование теоретических основ процесса показало, что выход фракций углеводородов, соответствующих бензиновой (C₅-C₁₁) и дизельной (C₁₂-C₁₆), не может превышать 48 и 30% масс.

Особым достоинством продуктов процесса Фишера-Тропша, в отличие от продуктов, полученных из нефти, является практически полное отсутствие в их составе серо- и азотосодержащих соединений и незначительное содержание ароматических углеводородов, что устраняет образование токсичных оксидов серы и азота при сгорании таких моторных топлив в двигателях и тем самым решает экологические проблемы моторных топлив.

В зависимости от условий синтеза и видов катализатора из смеси окиси углерода и водорода можно получать бензин, дизельное топливо, парафин, церезин, а также метанол и высшие спирты, а при взаимодействии синтез-газа с олефинами – альдегиды и спирты.

С конца 40-х до начала 60-х годов двадцатого века имелись промышленные установки получения СЖТ. Потом в связи с низкими ценами на нефть они были переделаны для других целей. Изучение процессов образования СЖТ проводилось в теоретическом плане. Однако в последние годы в ряде стран приступили к промышленному оформлению этих процессов. В нашей стране интенсивно изучаются возможности получения СЖТ из дешевых Канско-Ачинских углей. В апреле 1981 г. в газете «Правда» было опубликовано решение о строительстве при шахте „Бельовская“ (Тульская обл.) завода по производству жидких продуктов из бурого угля.

Лидером в этой области является ЮАР, где к 1985 г. действовало 3 завода по производству СЖТ из угля по методу Фишера-Тропша суммарной мощностью 12000 т/сут. Кроме синтез-бензина на этих заводах получают дизельное топливо, полимер-бензин (алкилат), газоль, этанол, метанол, этилен, серу, смолы, парафин, аммиак, водород, и другие продукты.

В США к 2000 г. предполагалось увеличить добычу угля до 2150 млн.т. Треть этого количества предполагалось направить на получение СЖТ, из которого может быть получено до 180 млн. т. спирта (этанола C₂H₅OH и метанола CH₃OH), которые рассматривают как наиболее перспективное топливо для котельных, ТЭЦ, ТЭС и водного транспорта.

Однако производство синтетического жидкого топлива пока дорого [1-3]. Поэтому в настоящее время нигде в мире, кроме ЮАР, нет промышленных установок его получения. Однако из-за постоянного роста цен на нефть и понижение себестоимости угля при открытом способе его добычи можно предполагать, что производство СЖТ будет рентабельным и сможет конкурировать с нефтепереработкой [1-3].

Перспективные бурые угли Канско-Ачинского месторождения характеризуются низкой зольностью (4-8%), малым содержанием серы (0,3-0,72%) и высоким содержанием летучих соединений (48-51%). Этот уникальный по запасам и мощности пласта буроугольный бассейн расположен в Красноярском крае. Угли добываются открытым способом и являются самыми дешевыми. Однако из-за высокой влажности, а, следовательно, низкой теплотворной способности, они не могут транспортироваться в европейскую часть страны обычным способом. Уже сегодня российские фирмы предлагают на рынке технологии и установки для получения СЖТ из бурых углей Алтайских месторождений.

Возникает и решается проблема переработки этих углей на месте добычи в высококалорийные жидкие сорта топлива (бензины, дизельное топливо, мазуты).

Однако предложенные 50 и более лет назад технологические процессы не могут соответствовать современному уровню техники, прежде всего по производительности агрегатов и экономическим показателям. В связи с этим необходимо разрабатывать интенсивные экономические методы [2, 3, 6-9].

Так, технико-экономическая эффективность установок гидрогенезации зависит от успехов при поиске методов отделения зольной части от жидких продуктов, повы-

шения избирательности и производительности процесса создания дешевых катализаторов и различной аппаратуры. Опытные образцы синтетических топлив из угля прошли моторные испытания [2, 3, 7].

Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского (НИИ) предложил новый метод переработки Канско-Ачинских углей – энергохимический. Была разработана установка ЭГХ-175 [6]. В Подмосковном угольном бассейне московским Институтом горючих ископаемых (ИГИ) был сооружен комплекс для получения СЖТ из бурых углей.

В ООО ТЭК «Полипром» (г. Бийск Алтайского края, Россия) разработана и запатентована технология получения синтетического жидкого топлива (СЖТ) из бурых углей Мунайского месторождения методом высокоскоростного высокотемпературного пиролиза [9].

В настоящее время ведутся пуско-наладочные работы на опытной установке.

Производительность установки – 100 тонн готовой продукции в сутки.

Капитальные вложения (сметная стоимость) – 200 миллионов рублей.

Цена бурого угля 7500 руб/тонна была взята исходя из сложившейся на данный момент на разрезе «Мунайский» Алтайского края. Выпущена опытная партия СЖТ.

В табл. 1 приведены показатели, достигнутые на опытной установке.

Таблица 1

Ежемесячные показатели

| № п/п | Наименование | Кол-во | Всего выпущено | Цена за тонну |
|-------|---------------------------|-----------|----------------|---------------|
| 1 | Бензин из угля | 1728 тонн | 2880 тонн | 20 000 руб. |
| 2 | Дизельное топливо из угля | 864 тонн | | 20 000 руб. |
| 3 | Мазут из угля | 288 тонн | | 8 000 руб. |

Результаты испытаний СЖТ в судовом дизеле

В Ленинградском институте водного транспорта (ЛИВТ) на кафедре СДВС под руководством проф. В.А. Сомова [7] были проведены испытания новых видов жидких топлив из углей в судовых дизелях. В таблице 2 представлены физико-химические характеристики топлив из углей в сравнении со стандартным дизельным топливом марки «Л» (ГОСТ 305-82). Если фракционный состав (рис. 2) исследуемых топлив из углей и дизельного различается незначительно, то групповой состав – весьма существенно, а это в свою очередь, влияет на цетановое число (воспламеняемость).

Выводы

1. Производство синтетических углеводородов из угля (СЖТ) в развитых странах набирает все больший интерес, т.к. запасы нефти и газа истощаются.

2. В ЮАР с 1983 г. действуют 3 завода фирмы Сасол с суммарной производительностью около 33 млн. т/год по углю или 4,5 млн т/год по моторным топливам.

3. Китай планирует инвестировать 15 млрд. долл. до 2010÷2015 гг. в строительство заводов по производству синтетического топлива из угля [2].

4. В начале 2006 года в США рассматривались проекты строительства девяти заводов по непрямому сжижению угля сум-

марной мощностью 90÷250 тыс. баррелей в день.

5. Выполненные в нашей стране экспериментальные исследования по использованию СЖТ из подмосковных бурых углей на судовом быстроходном дизеле подтвердили техническую возможность использования СЖТ в дизелях.

Заключение

Сегодня трудно сказать, каким путем будет развиваться производство СЖТ: деструктивной гидрогенизацией угля или син-

тезом по Фишеру-Тропшу или др. Пока нет единого мнения об экономическом преимуществе одного метода перед другим. Многие исследователи считают, что деструктивная гидрогенизация углей экономичнее синтеза по Фишеру-Тропшу, так как в последнем случае добавляется стадия газификации углей, имеющая невысокий КПД. По-видимому, выбор схемы получения СЖТ может быть сделан исходя из конкретных условий, стоимости и качества угля, обеспеченности энергией, конъюнктуры рынка и др. [6].

Таблица 2

Физико-химические характеристики топлив из углей

| Показатель | Топливо | | |
|--|----------------|----------------|---------------------------|
| | C ₂ | C ₃ | Дизельное «А» ГОСТ 305-82 |
| Плотность при 20°C, кг/м ³ | 0,85 | 0,842 | 0,83 |
| Вязкость кинематическая при 20°C, см ² /с | 4,27 | 2,5 | 4,6 |
| Фракционный состав Температура, °C: начала кипения | 242 | 175 | 213 |
| при выкипании 10% | 250 | 196 | 236 |
| 20% | 260 | 211 | 249 |
| 30% | 264 | 225 | 262 |
| 40% | 269 | 240 | 274 |
| 50% | 275 | 252 | 286 |
| 60% | 280 | 266 | 298 |
| 70% | 289 | 280 | 310 |
| 80% | 299 | 295 | 328 |
| 90% | 314 | 315 | 350 |
| 96% | 335 | 340 | 370 |
| Групповой углеводородный состав, %: парафины | – | 34,0 | 45,1 |
| нафтены | – | 54,8 | 36,9 |
| ароматики | – | 45,2 | 18,0 |
| Температура, °C: вспышки | – | – | 71 |
| застывания | – | – | -10 |
| Содержание, %: серы | 0,03 | 0,03 | 0,2 |
| асфальтенов | – | – | – |
| Цетановое число | 50 | 38 | 55 |

Примечание. C₂ и C₃ – жидкие отечественные топлива из подмосковных бурых углей.

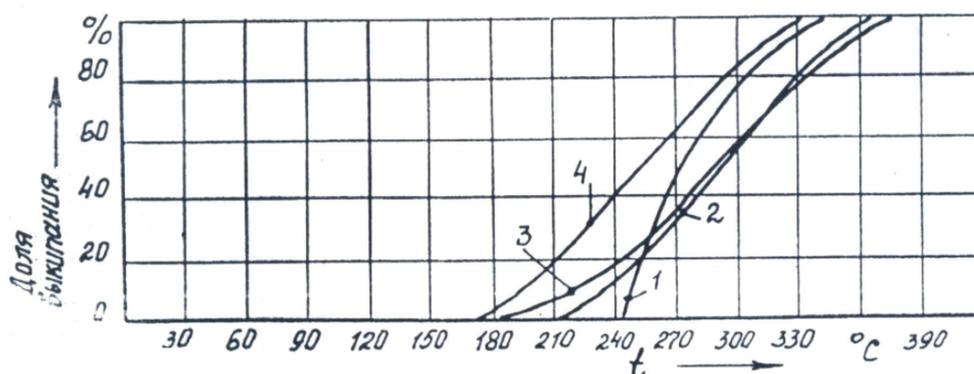


Рис. 2. Кривые фракционной разгонки синтетических топлив из углей разных месторождений: 1 – из Подмосковных бурых; 2 – топливо дизельное марки «Л» (для сравнения); 3 – из Подмосковных бурых (образец); 4 – из углей зарубежных месторождений

Список литературы

1. Емельянов В.Е. Альтернативные экологически чистые виды топлива для автомобилей: свойства, разновидности и применение [Текст] / В.Е. Емельянов, Н.Ф. Крылов. – М.: Астрель, 2004. 128 с.
2. Марков В.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах [Текст] / В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко. М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – 464 с.
3. Пахомов Ю.А. Топливо и топливные системы судовых двигателей. [Текст] / Ю.А. Пахомов, Ю.П. Коробков, Е.В. Дмитриевский, Г.Л. Васильев. – М.: Транслит, 2007. – 496 с.
4. Потехин В.М. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки [Текст] / В.М. Потехин. – СПб: Химиздат. 2005. – 226 с.
5. Ревель П. Среда нашего обитания. Энергетические проблемы человечества в 4-х книгах, книга 3-я; [Текст] / П. Ревель. – М.: МИР, 1995. – 196 с.
6. Розенталь Д.А. Бензин из угля [Текст] / Д.А. Розенталь. – Л.: Знание. 1983. – 32 с.
7. Сомов В.А. Особенности сгорания синтетических жидких топлив из углей в дизелях [Текст] / В.А. Сомов, А.А. Кричко, Ю.Г. Ищук // Двигателестроение. 1985. № 11. – С. 21-25.
8. Окружающая среда: Энциклопедический словарь-справочник [Текст]. – Издательская группа «Прогресс», 1993. – 332 с.
9. <http://tekpromsnab.ru/product/Sintietichieskoie-zhidkoie-toplivo>