

Топливо и энергетика

УДК 665.581

Карп И.Н., *акад. НАН Украины, докт. техн. наук, проф.*
Институт газа НАН Украины, Киев
ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: ingas@i.com.ua

О производстве синтетических моторных топлив

Рассмотрено состояние производства и разработок в области получения синтетических моторных топлив из углеводородного сырья. Как основной в последние годы рассматривается метод Фишера-Тропша. Показано, что создание в Украине производственных мощностей по получению жидких моторных топлив из угля, биомассы, твердых бытовых отходов и других углеродсодержащих видов сырья нецелесообразно. Существующее производство в ЮАР убыточно и дотируется государством. Небольшие производства в Китае существуют только благодаря низкой стоимости угля. Падение цен на нефть, которое может оказаться долгосрочным в случае дальнейшего подтверждения теории ее неорганического происхождения, сводит на нет все существующие планы строительства новых заводов синтетического топлива. Во многих странах выполняются исследовательские проекты по проблеме, рассчитанные на возможную перспективу. В Украине целесообразно начать исследования некоторых элементов процесса синтеза. *Библ. 17, рис. 1.*

Ключевые слова: синтез моторных топлив, уголь, биомасса, синтез-газ, комбинированные процессы.

На протяжении без малого 100 лет после изобретения технологии промышленниками и учеными уделяется большое внимание процессам получения жидких синтетических моторных топлив (СМТ) из угля, а в последние годы — и из других видов углеродсодержащего сырья, например, природного газа, биомассы, различных отходов. Этот интерес поддерживается предположениями об ограниченности запасов нефти на Земле и возможном их исчерпании уже в первой половине наступившего столетия. Нефтяной кризис 1970-х гг. ускорил разработку программ по развитию этого направления в Европе, США и Японии с целью более четкого определения подходящих технологий производства СМТ. Южно-Африканская Республика,

уже имевшая производство СМТ из угля, продолжала в те годы наращивание его мощности. При финансовой поддержке Европейского Сообщества угля и стали (European Coal and Steel Community — ECSC) и Европейского Союза были развернуты многочисленные масштабные исследовательские проекты для лучшего понимания различных процессов превращения угля в СМТ и его газификации. Основные исследования инициировались промышленными предприятиями Германии и Великобритании и поддерживались исследовательскими институтами и университетами всего ЕС. Несмотря на успехи в исследованиях, ни установки хотя бы пилотного масштаба, ни масштаба промышленных прототипов построены не были. В конце 1980-х

— начале 1990-х гг. цены на нефть были относительно невысокими, безопасность поставок нефти и природного газа не вызывала беспокойства политиков, в связи с чем финансирование дальнейших исследований и разработок было признано неоправданным. Исключение составило исследование производства водорода из угля для целей, не связанных с производством СМТ [1]. В последующие годы цена нефти колебалась, достигнув пика в середине 2008 г. — 147 долл./баррель, затем снизилась до 55 долл./баррель. Эти колебания, частичная зависимость и непредсказуемость поставок нефти из России, а также увеличение потребления нефти развивающимися экономиками Китая и Индии побуждают страны ЕС пополнять багаж знаний и поддерживать профессиональные научные коллективы в области производства СМТ, чтобы сохранять высокую готовность перехода при необходимости на производство СМТ из местных углей.

Цель статьи — изучить состояние проблемы получения СМТ из углеродсодержащего сырья в мире, оценить целесообразность и возможность реализации промышленных проектов в Украине, рассмотреть отношение к исследованиям и разработкам в условиях сложившейся топливной конъюнктуры. Такая цель не требует углубления в тонкости процессов, в их детальные химические и энергетические характеристики. Все же для дальнейшего изложения и достижения цели статьи следует в самых общих чертах описать существующие процессы.

Методы производства СМТ

Разработано множество методов получения СМТ. Их можно разделить на две принципиально различные группы: прямые (Direct Coal Liquefaction — DCL) и непрямые (Indirect Coal Liquefaction — ICL). К прямым относят гидрогенизацию, то есть прямое ожигание во-

дором смешанной с катализатором и смолой пульпы измельченной углеродсодержащей массы, и гидропиролиз. Ожигание осуществляется под давлением 250–300 атм и температуре 400–500 °С. К непрямым относится метод Фишера-Тропша (Fischer-Tropsch — FT), заключающийся в производстве на первой стадии синтез-газа кислородной или парокислородной газификацией (конверсией) сырья под давлением и последующем каталитическом синтезе из него дизельного топлива или бензина, а чаще и того, и другого, а также сопутствующих продуктов. Преимущества и недостатки DCL и ICL приведены в таблице [1].

Прямые методы производства СМТ

Синтетические моторные топлива из угля вырабатывались и использовались Германией во время второй мировой войны. Почти 80 % СМТ производилось гидрогенизацией угля, а около 10 % — методом FT. Их производство было прекращено сразу же по окончании войны в 1945 г. Улучшение в будущем технико-экономических параметров DCL связывают с применением более эффективных катализаторов для повышения степени конверсии и срока службы, углубленным исследованием и более качественным проектированием отдельных стадий процесса, исследованием концептуальных улучшений процесса за счет частичного использования биомассы и углеродсодержащих отходов. В отчете [1] (2009 г.) сообщалось о 22 исследовательских проектах, выполняемых по проблематике DCL в Великобритании за счет средств ЕС/ECSC, а также о 13 проектах в Германии, из которых 6 выполнялось за счет национальных контрактов и 7 за счет средств ЕС/ECSC. В этих проектах, кроме перечисленных выше, рассматривается широкий круг вопросов, относящихся к смежным задачам получения растворителей и других химических продуктов, а так-

Преимущества и недостатки прямого и непрямого ожигания угля

Непрямое ожигание (ICL)	Прямое ожигание (DCL)
Преимущества	
<ul style="list-style-type: none"> Гультрачистые продукты Возможность извлечения CO₂ Возможность совместного производства электроэнергии Может иметь меньшие операционные затраты по сравнению с DCL 	<ul style="list-style-type: none"> Концептуальная простота процесса Производится высокооктановый бензин Более высокая энергоэффективность по сравнению с ICL Более высокая энергетическая плотность получаемых продуктов по сравнению с ICL
Недостатки	
<ul style="list-style-type: none"> Концептуально большая сложность процесса по сравнению с DCL Меньшая энергоэффективность по сравнению с DCL Получается низкооктановый бензин Нефтепродукты имеют более низкую энергетическую плотность 	<ul style="list-style-type: none"> Высокое содержание ароматических углеводородов Низкое цетановое число получаемого дизельного топлива Возможны более высокие эксплуатационные расходы по сравнению с ICL

же возможность растворения угля в различных растворителях и множество других.

По нашему мнению, некоторые из этих тем не потеряли своей актуальности и в настоящее время. Так, представляет интерес близкая по тематике проектов разрабатываемая в Японии технология извлечения горючей массы из углей органическими растворителями — отходами коксохимического производства [2]. Получаемое в результате тяжелое жидкое топливо, называемое «гиперуголь», всего на 25 % дороже исходного сырья. Оно может служить прекрасным заменителем природного газа в промышленных печах, коммунальных и промышленных котельных установках.

В настоящее время известно только об одном промышленном производстве СМТ по технологии прямого ожижения угля DCL, созданном в Китае [3]. Завод расположен в провинции Внутренняя Монголия; его владельцем является компания Shenhua Coal Liquefaction. Мощность завода составляет 20 тыс. баррелей/сут (3200 м³/сут), или около 1 млн т/год СМТ, что не много по сравнению с традиционными НПЗ. Поучительным для энтузиастов немедленного строительства производств СМТ может служить подход к реализации проекта [4]. В 1998 г. Национальным Советом Китая для компании Шеньхуа (Shenhua) был выделен грант в 1,3 млрд долл. для развития производства СМТ. В 2002 г. департаментом Министерства энергетики США (DOE) и китайским правительством был подписан договор о сотрудничестве упомянутой китайской компании с Университетом Западной Вирджинии (West Virginia University — WVU). Фактическое сотрудничество было начато ранее. Университет был избран как партнер, имевший к тому времени наработки по технологии DCL. К проекту были также привлечены компании Германии и Японии. К этому времени вблизи Шанхая была построена крупная пилотная установка, воспроизводившая полный технологический цикл DCL и завершено так называемое «feasibility study», то есть изучение возможности производства. Что такое масштаб пилотной установки между опытной и полупромышленной, будет показано далее на другом примере. Основными целями отработки технологии на пилотной установке были снижение рабочих температур и давления в реакторе, поиск недорогого и высокоэффективного катализатора, достижение высокой степени превращения угля в СМТ — не менее 57 % в расчете на сухую беззольную массу, а также решались задачи охраны природной среды: достижение нулевого сброса воды, ре-

циклинга твердых отходов, сокращения выбросов CO₂. Строительство завода, начатое в 2004 г., завершено в 2009 г.

Предполагавшееся строительство аналогичного производства в США (штат Западная Вирджиния), лоббировавшееся некоторыми политиками штата и компанией TransGas Development Systems, запрещено решением администрации Барака Обамы как несоответствующее экологическим нормам [5]. Характерно название работы: «Перспективы Coal-to-Liquid туманны, но сторонники (boosters — те, кто проталкивают) не хотят признаться, что они умирают» [5]. В ней приводятся некоторые данные с конференции по углю (Pittsburg Coal Conference). Главный докладчик — сотрудник Sweden's Uppsala University г-н Mikael Hook — представил результаты опроса относительно перспектив технологии. Его вывод: Coal-to-Liquid (CTL) — финансовая черная дыра. В докладе Международного энергетического агентства IEA о рынке угля отмечалось, что в Китае за последние 20 лет по мере перехода от лабораторного к широкомасштабному эксперименту отношение к технологии меняется, и что China's National Development and Reform Commission рекомендовали правительствам провинций воздержаться от утверждения CTL проектов.

Цель продолжающихся в разных странах поисковых исследований технологий DCL — достижение результатов, повышающих их экономичность. Так, в Китае рассматривается возможность подземной газификации сланцев в «сверхкритической» воде с целью получения дешевого водорода для его дальнейшего использования при гидрогенизации сланцевой нефти [6]. Недорогой водород необходим и в процессе синтеза СМТ.

В России в соответствии с федеральной программой «Топливо и энергия» рассматривался проект типового атомного энерготехнологического комплекса по производству СМТ из углей и тяжелых нефтяных остатков [7]. Преимуществом комплекса является использование в реакторах DCL теплоты охлаждения атомного реактора на быстрых нейтронах жидким натрием, имеющим температуру 550 °С. Было заявлено, что через пять-семь лет Россия может стать крупнейшим в мире производителем синтетического моторного топлива.

По нашему мнению, реализация этих работ весьма далека от реальности, если таковая возможна вообще.

Метод ICL Фишера-Тропша. Парокислородная газификация органических соединений

Процессу синтеза моторного топлива предшествует процесс газификации исходного орга-

нического материала. Кроме указанных в таблице преимуществ ICL методов, следует отметить возможность очистки от серы продуктов в газовой фазе, что проще и надежнее, чем избавляться от нее в жидкой фазе в процессах DCL.

Основой процесса FT является кислородная или парокислородная газификация под давлением углеродсодержащих соединений: угля, природного газа, биомассы, твердых бытовых отходов. Полученный синтез-газ является смесью водорода и оксида углерода и используется во многих процессах, а не только для синтеза моторных топлив. Большинство установок газификации угля было построено и используется для производства химической продукции (Coal-to-Chemicals — CTC): уксусной кислоты, метилацетата, диметилового эфира, формальдегида, уксусного ангидрида, ацетата целлюлозы для дальнейшего производства пленок и широкого круга пластмасс, множества других химических продуктов, а также аммиака и водорода [8]. Комбинация производства синтетических топлив с производством химических продуктов, а иногда и электроэнергии позволяет повысить конкурентоспособность производства топлив.

В качестве примера можно привести измерения компании из Великобритании Regius Synfuels, которая совместно с предприятием португальской компании HollandHausberger планирует создать в южноафриканской стране Мозамбик производство в одном комплексе 300 тыс. т/год дизельного горючего, 400 тыс. т/год аммиачных удобрений (Coal-to-Liquid-Urea — CTLU) и электрической энергии [9]. Это может служить для Украины примером подхода к реализации такого сложного проекта. На протяжении почти четырех лет мощнейшие в мире добывающие компании — бразильская Vale и австралийская Rio Tinto — проводили разведку угольного месторождения в провинции Tete, после чего высококачественный и коксующийся уголь было решено экспортировать в Китай и Индию, а низкокачественный направлять на процесс CTLU.

В настоящее время выполняется так называемое feasibility и даже prefeasibility study, то есть изучение возможностей реализации, а собственно реализацию планируется начать до 2019 г. Строительство, по всей вероятности, будет осуществлять немецкая компания ThyssenKrupp Uhde, которая построила и ввела в эксплуатацию более 100 установок разных технологий газификации, в том числе крупные установки coal-to-methanol, coal-to-hydrogenoxochemicals, coal-to-syngas в Германии, coal-to-ammonia в

ЮАР, waste-to-energy в Японии, petcoke/coal-to-energy/hydrogen в Испании.

Кроме топливного и химического направлений использования синтеза-газа, есть так называемая внутрицикловая газификация в энергетическом комбинированном парогазовом цикле (Integrated Gasification Combined Cycle — IGCC). В мире в 1980-е гг. было построено пять электростанций на основе IGCC. Три такие электростанции были построены и в США, но вследствие неэффективности одна из них была ликвидирована, а одна включается периодически как демонстрационная.

В качестве исходного сырья для получения СМТ может быть использован и природный газ. В этом случае процесс получения синтез-газа называют конверсией природного газа.

Наиболее распространенным и часто приводимым примером в многочисленных статьях и докладах сторонников производства СМТ является его производство в Южно-Африканской Республике. Вследствие международного эмбарго, запрещавшего поставки в страну нефти, заводы по производству моторных топлив из угля по технологии FT начали строиться в 1955 г., а последняя третья очередь была построена в 1984 г. После снятия эмбарго в ЮАР были построены нефтеперерабатывающие заводы и организовано производство моторных топлив из нефти. Мало кто упоминает, что производство моторных топлив из угля в ЮАР, хотя и сохранилось к этому времени, но является убыточным и дотируется правительством как национальное достояние. Кроме завода в ЮАР и четырех заводов малой мощности (120–190 тыс. т/год) в Китае, в мире насчитывается еще три завода по производству моторных топлив из природного газа (Gas-to-Liquid — GTL). Два из них в Катаре, один в Малайзии, и еще один планируется в неопределенном будущем в Нигерии. Это страны, которые имеют значительные запасы природного газа, но не имеют возможности его экспорта по газопроводам. Данных о фактической загрузке заводов нет.

По данным, собранным американской Национальной лабораторией энергетических технологий (National Energy Technology Laboratory — NETL), входящей в состав Министерства энергетики США (DOE), только за пределами США на разных стадиях обсуждения находятся 55 проектов производства и использования синтез-газа в топливной и электроэнергетике. Из них 14 относятся к электростанциям по комбинированному циклу IGCC, 17 — по производству синтетического природного газа (SNG), по 8 — CTC (Coal-to-Chemicals) и CTL, 1 — Biomass-to-Liquid (BTL), 2 — Biomass-to-Gas (BTG), 2 — Waste-to-Energy (WTE),

1 — Waste-to Liquid (WTL). Шесть последних проектов относятся к странам Европы, но пять из них уже упразднены. О других сказано, что они «в активной фазе». Неизвестно, что это означает, поскольку сами авторы этой статистики отмечают ненадежность источников информации. Так, к указанным проектам, якобы находящимся в активной фазе, отнесены оглашенные в СМИ намерения Луганской областной государственной администрации относительно строительства сразу нескольких производств СТЛ, о чем было объявлено на конференции в 2013 г. В этот перечень можно было бы включить и проект строительства в Харьковской обл. завода СТЛ, который обсуждался в НАН Украины [10]. В перечень не были включены намерения американской компании TransGas Development System, которая недавно объявила о намерении инвестировать 4,1 млрд долл. в строительство трех заводов СТЛ в Луганской, Кировоградской и Львовской обл. для производства бензина по цене 0,79 долл./л, что, по нашему мнению, несерьезно.

Говоря о создании такого производства в Украине, нельзя не заметить, что в стране сложилось ненормальное положение с обеспечением ее потребностей в нефтепродуктах. В Украине из шести нефтеперерабатывающих заводов, существовавших до распада СССР, к 2015 г. осталось четыре, а работает лишь один, да и тот на неполную мощность. Нужды государства в нефтепродуктах на 85 % удовлетворяются импортом. Такая ситуация недопустима с точки зрения энергетической безопасности. Кроме того, в то время, когда во всем мире стоимость нефтепродуктов снижается, в Украине она возрастает из-за падения курса гривны относительно доллара.

В работе [10] необходимость реализации проекта обосновывается необходимостью повышения энергетической безопасности государства посредством создания в Украине производства моторных топлив, независимого от импорта нефти и ориентированного на собственный ресурс — бурый уголь. Еще одним фактором для обоснования создания такого производства называется наличие потенциального инвестора. Возможность и целесообразность срочного инвестирования в строительство в Украине производственных мощностей СТЛ вызывает сомнения. Наличие предложений в инвестирование не может быть основанием для такого сомнительного строительства. В Украине прежде всего следует начать соответствующие исследования, создать центр по подготовке специалистов на будущее. По нашему мнению, одним из проектов, который мог бы заинтересовать прави-

тельство и получить финансирование, может быть создание мини-производства по процессу FT синтеза жидкого топлива для транспортирования природного газа, переработанного в жидкое топливо, от малодебитных скважин. К выполнению такого проекта можно было бы привлечь институты химического и энергетического профиля Национальной академии наук, а инвестиции в энергосектор, предлагаемые Украине, целесообразно было бы направить в строительство нефтеперерабатывающего завода.

Несмотря на ограниченное количество промышленных производств синтетических моторных топлив из угля и другого сырья во многих странах мира выполняется много исследовательских проектов в этом направлении. В обзоре публикаций, подготовленном в Princeton University [11], обобщено большинство результатов исследований по всем моно (single) (CTL, GTL, BTL) и комбинированным технологиям (CGTL, CBTL, BGTL, CBGTL). В обзоре рассмотрен 121 проект, из которых 54 относится к производству моторных топлив по процессу FT из биомассы, 33 — из угля, 20 — из природного газа. Исследованиями в этом направлении занимаются 23 научных учреждения и лаборатории США, которые выполняют 36 научных проектов, упомянутых в обзоре. Исследования на 70–90 % финансируются Министерством энергетики США (DOE). Цель проектов охватывает широкий круг вопросов, направленных в основном на расширение знаний и усовершенствование отдельных составляющих процесса FT. Так, университет Западной Вирджинии (West Virginia University) по программе лаборатории NETL отработывает комбинированный процесс газификации C&CBTL и ищет прогрессивные решения в FT-процессе синтеза жидких топлив. Стоимость проекта составляет 4,26 млн долл., из которых 3,42 млн долл. финансируется DOE. На веб-сайте исследовательского центра прикладных энергетических исследований University of Kentucky Center for Applied Energy Research содержится информация о разработке мини-установок FT по технологии C&CBTL, в том числе для военных нужд. Стоимость проекта — 5,73 млн долл., из которых 4,57 млн долл. финансирует DOE. Разработка эффективных катализаторов синтеза выполняется известным крупным немецким исследовательским учреждением (The high throughput experimental company — hte) по заказу и финансированию от британской компании BP.

Наибольшая в США, а, может, и в мире комплексная пилотная установка для исследований переработки биомассы в высокооктано-

вый бензин по усовершенствованному процессу FT построена при поддержке DOE и испытывается в Институте газовых технологий (Gas Technology Institute – GTI) в предместье Чикаго Des Plaines. Проектная мощность установки – 20 баррелей (2,7 т) бензина в сутки. В сооружении установки и испытаниях также принимали участие известные мощные фирмы: немецкая Carbona (газификация биомассы и риформинг смолы), датская Haldor Topsoe (переработка смолы, каталитический синтез бензина), американская Phillips 66 (дорожные испытания полученного топлива). Специальные пеллеты смягченной структуры из древесных отходов поставляла американская компания UPM. Институт газовых технологий GTI осуществлял комплектование и эксплуатацию установки, разрабатывал технологии удаления кислых газов, обрабатывал и обобщал результаты. О масштабе установки дает представление ее общий вид (рисунок)

За четыре года было переработано 700 т древесной биомассы, произведено около 10 тыс. баррелей бензина. В 2013 г. была испытана инновационная технология (BGTL), то есть газификация биомассы с добавлением до 20 % природного газа. Добавление газа существенно улучшало все показатели процесса [12]. За три испытательных кампании в 2013 г. было переработано 143,9 т древесины, произведено 14,3 т бензина. Главными результатами считаются доказанность работоспособности процесса и приближение к возможности выдачи исходных данных для проектирования промышленной установки. Считается также, что в процессе исследований будет создан лицензионно привлекательный продукт для продажи в Китай, Индию, другие страны. По поводу создания промышленного производства, основанного на результатах исследований, точно высказался президент калифорнийского отделения компании



Общий вид пилотной установки по получению СМТ в Институте газовых технологий (США).

Carbona, которая специализируется на процессах газификации и принимала участие в проекте, господин Patel. Он сказал, что процессы газификации имеют неоднозначное прошлое (checkered past), а главное, что для поступления частных инвестиций в такое производство инвестор должен быть уверенным в политике правительства заведомо на 10, 15, 20 лет [13]. Это в полной мере относится к намерениям построить в Украине завод по производству СМТ из угля, изложенным в [10], и другим предложениям, о которых сказано выше. Подобные проекты должны проходить государственную экспертизу высокого уровня с участием иностранных специалистов, имеющих соответствующий опыт. В Украине исследования в целом по комплексу производства СМТ и по отдельным его составляющим (кислородная или парокислородная газификация под давлением, комплексная очистка синтез-газа, высокотемпературные керамические фильтры) не проводились и специалистов в этом вопросе нет. В приведенных в этой статье ссылках и многочисленных материалах по проблеме, имеющихся в Интернете, сообщается, что уже на стадии feasibility study к проектам привлекаются крупные авторитетные компании мирового уровня. В основе промышленных проектов такого типа должно быть технико-экономическое обоснование, которое прошло независимую углубленную экспертизу. Что касается политики правительства Украины в энергетическом секторе, то в современных условиях ожидать четких ориентиров от него невозможно.

Экономическая составляющая проблемы

При прогнозировании перспектив производства СМТ следует исходить прежде всего из экономических соображений, в основном из соотношения цен на нефть и углеродсодержащее сырье для производства СМТ. Очевидно, что эксплуатационные затраты в производстве СМТ выше, чем по традиционной технологии. Предполагается, что экологические требования могут быть удовлетворены развивающимися техническими средствами, хотя некоторые из них могут оказаться слишком дорогостоящими, например, извлечение и утилизация CO_2 .

Экономический раздел отчета [1] начинается с утверждения, что производство СМТ дорого и в строительстве, и в эксплуатации и что создание такого производства может рассматриваться лишь как средство обеспечения безопасности в поставках нефти или газа. Со ссылкой на оценки, выполненные Международным энергетическим агентством в 2006 г., утверждается, что производство СМТ из угля может составить конкуренцию традиционному производству из

нефти при цене угля не более 20 долл./т. По собственным оценкам [1], средняя мировая цена угля в 2009 г. была в 2 раза выше, но все же около 30–40 % угля в мире добывается по стоимости 20 долл./т, и производство СМТ будет конкурентным при цене нефти 40 долл./баррель, а стоимость СМТ составит 50 долл./баррель. За годы со времени подготовки этого отчета стоимость угля выросла в несколько раз, а стоимость нефти подверглась значительным колебаниям, так что подобные экономические численные оценки следует обновлять постоянно.

С высокой степенью достоверности можно предсказать, что в условиях резкого снижения цен на нефть ни один из проектов производства нефтепродуктов из угля, природного газа или биомассы в ближайшие годы в мире реализовываться не будет. Можно осторожно предположить, что исключение может составить упоминавшийся выше международный проект в Мозамбике, где, по некоторым данным, стоимость бурого угля на месте добычи составляет 17 долл./т. Как долго и до какого уровня будет дешеветь нефть, прогнозировать трудно. Удешевление нефти в последнее время наряду с политическими и экономическими причинами обосновывается и с научной точки зрения. Недавно в Интернете опубликовано коммюнике из российской конференции по глубинной нефти «Дешевая нефть навсегда. Новая реальность» [14]. В нем речь идет о теории российского геолога А.Н.Кудрявцева о неорганическом происхождении нефти. Согласно этой теории, в местах сегодняшней добычи нефти на глубинах приблизительно 7,0–7,5 км существуют ее залежи, значительно превосходящие открытые, и что нефть беспрерывно образовывается в недрах Земли и с периодом 12–15 лет обновляет существующие месторождения. Практическими подтверждениями теории считаются возобновление добычи нефти в Чеченской Республике после якобы исчерпания ее запасов, открытие гигантских месторождений нефти компаниями Вьетсовпетро на вьетнамском шельфе на глубине более 3 км (сравнительно небольшая глубина в этом месте объясняется поднятием земной коры) и компаниями Chevron и British Petroleum на шельфе Мексиканского залива на глубинах 7,5 и 10,7 км. Другим подтверждением называют наличие в прилетающих на Землю метеоритах следов углеводородов. Известно, что знаменитая комета Галлея, состоящая в основном из льда и СО, содержит также некоторое количество формальдегида, метана и цианистых соединений. Кроме того, сторонники неорганической теории утверждают, что за все время существования Земли на ней не могло накопиться такое огромное количество органических

веществ, которое соответствовало бы имеющимся ресурсам нефти и природного газа. Именно якобы по этой причине основные нефтедобывающие страны сбрасывают свои запасы нефти, а в США разрешен ее экспорт. В результате предложения нефти превзошли спрос, что и привело к падению ее цены. В работе индийских ученых [15] эта точка зрения хотя и поддерживается, однако утверждается, что «органическая» теория также справедлива и что обе эти теории имеют право на жизнь. Ближайшее будущее подтвердит правильность высказанных выше соображений.

Экономические предпосылки для создания в Украине производства СМТ отсутствуют. Значительная часть потребности страны в угле удовлетворяется за счет импорта. Добыча угля в Украине дотируемая, себестоимость добычи угля на государственных шахтах в 2013 г. составляла 1350 грн/т [16], или 168 долл./т (при стоимости 1 долл. в то время 8 грн), что, по-видимому, является одной из наибольших цен в мире. Добыча угля частными шахтами также дотируется, хотя и в меньшей степени. Отсутствует также инфраструктура выращивания или даже сбора биологического сырья, не налажена система раздельного сбора и переработки твердых бытовых отходов. Как отмечалось ранее в этой статье, в Украине следует начинать с исследований отдельных стадий технологии производства СМТ, подготовки необходимых кадров на перспективу.

В Интернете можно найти множество сообщений о разработках по получению синтез-газа и дальнейшем его использовании в химических или энергетических целях. Обращает на себя внимание изменение тональности этой информации за последние два-три года в сторону более сдержанной или даже критической. Как свидетельствует «Википедия», удельные капиталовложения в единицу продукции по процессу FT в два, а затрата воды в пять раз больше по сравнению с переработкой нефти; больше также и выбросы парниковых газов. Последняя причина используется в качестве основания для отказа от дальнейшей поддержки проектов по проблеме. Так, Министерство энергетики США (DOE) пересматривает решение о предоставлении кредитной гарантии приостановленному проекту СТЛ в штате Вайоминг. Одна из причин — несоответствие проекта президентскому акту об окружающей среде [17]. По оценкам американского Агентства по защите окружающей среды (Environmental Protection Agency), выбросы СО₂ в производстве и использовании синтетического моторного топлива в 2 раза выше, чем при использовании топлив из нефти.

Выводы

Отношение в мире к организации производства СМТ в разных странах меняется достаточно быстро и в значительной мере определяется топливной составляющей или изменениями в топливной конъюнктуре. Наличие запасов, их характеристика, стоимость топлива на месте его добычи и в ареале потребления, стоимость и квалификация рабочей силы, альтернативных источников топлива и энергии, участие крупных компаний в реализации проектов могут наряду с политической составляющей существенно влиять на решения о реализации проектов производства СМТ.

Убыточность производства жидкого моторного топлива из угля в ЮАР, приостановка финансирования реализации проектов производства СМТ в США и Китае ставят под сомнение целесообразность создания подобного производства в Украине. Существование четырех маломощных заводов CTL в Китае не может быть серьезным аргументом в пользу положительного решения для Украины. Также не может быть аргументом предложение относительно инвестирования проекта, поскольку его технико-экономическое обоснование не прошло необходимой экспертизы достаточного уровня. Синтез-газ, который получается кислородной или парокислородной газификацией угля, используется на нескольких электростанциях комбинированного цикла, а также широко используется для производства химической продукции. В мире проводится много исследований относительно использования в качестве исходного сырья для производства СМТ, кроме угля, также природного газа, биомассы и органосодержащих отходов, а также их комбинаций. В этих поисках преимущество отдается использованию биомассы и созданию интегрированных предприятий по совместному производству моторных топлив, химической продукции и электроэнергии. Падение цен на нефть сводит на нет перспективы реализации проектов по производству моторного топлива из другого сырья посредством его газификации и процесса Fischer-Tropsch. Это падение может оказаться долгосрочным, если будут найдены дальнейшие подтверждения теории неорганического происхождения нефти. В НАН Украины целесообразно начать исследование технологий газификации угля, биомассы и комбинированных процессов, рассчитанных на будущее.

Список литературы

1. Review of Worldwide Coal to liquids R, D&D Activities and the Need for farther Initiatives within Europe // Project carried out with a financial grant of the Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel. — June 2009. — P. 44.
2. Осипов А.М., Шендрик Т.Г., Попов А.Ф., Грищук С.В. Перспективные методы производства беззольного угля и энергетических углей (Обзор) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 2. — С. 3–8.
3. Erdos CTL. — [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Erds_CTL&oldid=6142359924](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Erdos_CTL&oldid=6142359924).
4. Презентация доклада West Virginia University. — <http://www.research.causus.org/docsCTL%20Development%20in%20China> (2009).
5. Quinones M. Alternative Fuels: Coal-to-liquid prospects dim, but boosters won't say die — <http://www.eenews.net/stories/1059981383>. 17 May 2013.
6. Yu Qian, Qingchun Yang, Jun Zhang and oth. Development of an integrated Oil Shale Refinery Process with Coal Gasification for Hydrogen Production // Ind. Eng. Chem. Res. — 2014. — № 53. — P. 19970–19978.
7. Коновалов Б. Через пять-семь лет Россия может стать крупнейшим в мире производителем синтетического моторного топлива // Энергетика и промышленность. — Дата: 31.10.2002.
8. Coal-to-Chemicals. — <http://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification>
9. Regius Synfuels. — http://www.regiusexplora.com/reg_synfuels.html.
10. Бондаренко Б.І. Щодо перспектив одержання і використання синтез-газу з вугільної сировини України. За матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 29 жовтня 2014 року // Вісник НАН України. — 2014. — № 12.
11. Fluodas C.A., Elia J.A., Baliban R.C. Hybrid and single feedstock energy processes for liquid transportation fuels : A critical review // Computers and Chemical Engineering. — 2012. — Vol. 41. — P. 25–41.
12. Bush V., Bryan B., Knight R. Synergistic Combination of Natural Gas and biomass in Gasification-based Systems for Chemical Fuels Production // Proc. of Int. Gas Union Research Conference, Copenhagen. — Sept. 2014. — P. 12.
13. Renewable Gasoline From Wood: A Transportation Fuel Of The Future? — <http://www.progressillinois.com/quick-hits/content/2014/06/06/renewable-gasoline...>
14. Дешевая нефть навсегда. Новая реальность // Российский манифест. — 13 ноября 2014 г. — Powered by Esplanade Theme and WordPress. — <http://www.vnigri.ru/download/30>.
15. Samar Abbas. The Non-Organic Theory of the Genesis of Petroleum // Report on the Grant of New Delhi University. — 2014. — P. 20.
16. Горбовский А. Сверхплановые объемы // Энергобизнес. — 2014. — № 1–2. — С. 839–840.
17. Romm J. Is the Energy Department Still Looking To A Give Coal-To-Liquid Plant A Loan Guarantee? — <http://thinkprogress.org/climate/2014/04/02/3345481/loan-guarantee-coal-to-liquid>

Поступила в редакцию 20.03.15

Карп І.М., акад. НАН України, докт. техн. наук, проф.
Інститут газу НАН України, Київ
 ул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: ingas@i.com.ua

Про виробництво синтетичних моторних палив

Розглянуто питання про стан виробництва та розробок в галузі отримання синтетичних моторних палив з вуглеводневої сировини. Як основний в останні роки розглядається метод Фішера-Тропша. Стверджується, що створення в Україні виробничих потужностей по отриманню рідких моторних палив з вугілля, біомаси, твердих побутових відходів та інших вуглевмісних видів сировини недоцільно. Існуюче виробництво у ПАР збиткове і дотується державою. Невеликі потужності в Китаї існують завдяки низькій вартості вугілля. Падіння цін на нафту може виявитись довготривалим у разі подальшого підтвердження теорії її неорганічного походження. Це зводить нанівець існуючі плани будівництва нових заводів синтетичного палива. У багатьох країнах виконуються дослідницькі проекти з проблеми, що розраховані на можливу перспективу. В Україні доцільно розпочати дослідження деяких складових процесу синтезу. *Бібл. 17, рис.1.*

Ключові слова: синтез моторних палив, вугілля, біомаса, синтез-газ, комбіновані процеси.

Karp I.N., Academician of National Academy of Sciences of Ukraine,
 Doctor of Technical Science, Professor
The Gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev
 39, Dityarivska St., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: ingas@i.com.ua

About Synthetic Motor Fuels Production

The problems of production and developments in a field of synthetic motor fuels receiving from hydrocarbons are considered. As a main Fisher-Tropsh's method is considered. It is confirming, that creation in Ukraine industrial scale liquid motor fuels production from coal, biomass, municipal wastes or other kinds of carbon content raw materials is not advisable. Existing production in SAR is subsidized by government. A comparatively little plants in China work thanks to low coal cost. Decreasing of oil prices may be long term in a case of farther confirming of theory of its non-organic formation. Because of this almost all existing intentions as to building of new plants of synthetic fuel production are cancelled. The research projects of problem are provided in many countries. It is advisable to start investigation of some components of synthesis process in Ukraine. *Bibl. 17, Fig. 1.*

Key words: motor fuels synthesis, coal, biomass, syntheses-gas, combined processes.

References

1. Review of Worldwide Coal to liquids R, D&D Activities and the Need for farther Initiatives within Europe. *Project carried out with a financial grant of the Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel*, June 2009, p. 44.
2. Osypov A.M., Shendryk T.G., Popov A.F., Gryshchuk S.V. Perspektivnyje metody proizvodstva bezzolnogo uгля iz energetyčeskikh uglej (Obzor), *Energotekhnologii i resursosberezheniie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2010, (2), pp. 3–8. (Rus.)
3. Erdos CTL. — http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Erdos_CTL&oldid=6142359924.
4. Prezentatsiia doklada West Virdginia University. — <http://www.research.causus.org/docsCTL%20Development%20in%20China> (2009).
5. Quinones M. Alternative Fuels: Coal-to-liquid prospects dim, but boosters won't say die. — <http://www.eenews.net/stories/1059981383>. 17 May 2013.
6. Yu Qian, Qingchun Yang, Jun Zhang . Development of an integrated Oil Shale Refinery Process with Coal Gasification for Hydrogen Production, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2014, (53), pp. 19970–19978.

7. Konovalov B. Cherez pyath-semh let Rossia mozhет stath krupnejshym v mire proizvoditelem synteticheskogo motornogo topliva, *Energetika i promyshlennosth.* — <http://stra.teg.ru/lenta/energy/752>: 31.10.2002.(Rus.)
8. Coal-to-Chemicals. — <http://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification>
9. Regius Synfuels. — http://www.regiusexplore.com/reg_synfuels.html.
10. Bondarenko B.I. Shchodo perspectiv oderzhannia I vykorystannia syntez-gazu z vuglynoii syrovyny Ukrainy. Za materialamy naukovoji dopovydi na zasidanny Prezydii NAN Ukrainy 29 zhovtnia 2014 roku, *Visnyk NAN Ukrainy*, 2014, (12), pp. 25–28. (Ukr.)
11. Fluodas C.A., Elia J.A., Baliban R.C. Hybrid and single feedstock energy processes for liquid transportation fuels : A critical review, *Computers and Chemical Engineering*, 2012, 41, pp. 25–41.
12. Bush V., Bryan B., Knight R. Synergistic Combination of Natural Gas and biomass in Gasification-based Systems for Chemical Fuels Production, *Proc. of Int. Gas Union Research Conference*, Copenhagen, Sept. 2014, p. 12.
13. Renewable Gasoline From Wood: A Transportation Fuel Of The Future? — <http://www.progressillinois.com/quick-hits/content/2014/06/06/renewable-gasoline...>
14. Deshevaia neft navsegda. Novaia realnost, *Rossiyski manifest*, 13 nojabria 2014. Powered by Esplanade Theme and WordPress. — <http://www.vni-gri.ru/download/30>. (Rus.)
15. Samar Abbas. The Non-Organic Theory of the Genesis of Petroleum, *Report on the Grant of New Dehli University*, 2014, p. 20.
16. Gorbovsky A. Sverkhplanovyye obiomy, *Energo-biznes*, 2014, (1–2), pp. 839–840.(Rus.)
17. Romm J. Is the Energy Department Still Looking To A Give Coal-To-Liquid Plant A Loan Guarantee? — <http://thinkprogress.org/climate/2014/04/02/3345481/loan-guarantee-coal-to-liquid>

Received March 20, 2015

УДК 628.49

**Пятничко А.И., канд. техн. наук,
Иванов Ю.В., Жук Г.В., докт. техн. наук, Онопа Л.Р.**
Институт газа Национальной академии наук Украины, Киев
ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: airkiev@ukr.net, iv2102@mail.ru

Оптимизация параметров технологической схемы аминовой очистки биогаза от CO₂ и H₂S

Истощение месторождений традиционных ископаемых топлив приводит к поиску альтернативных источников энергии, к которым относится биогаз, образующийся из биологического сырья — биомассы. Основными компонентами биогаза являются биометан, диоксид углерода и примеси (сероводород и др.). Для получения биометана — аналога природного газа — необходимо извлекать из биогаза CO₂ и H₂S. С использованием программной системы технологического моделирования HYSYS проведены многовариантные расчеты. Предложено использовать абсорбционную схему с применением в качестве абсорбента водного раствора смеси аминов: 40 % метилдиэтанолamina (МДЭА) и 10 % моноэтанолamina (МЭА). Это приводит к снижению энергозатрат на процесс абсорбции-десорбции в 1,5–3 раза по сравнению с растворами МЭА. Установлены оптимальные параметры процесса очистки биогаза полигонов твердых бытовых отходов от CO₂ и H₂S: давление в абсорбере — 0,26–0,28 МПа, давление в десорбере — 0,16–0,18 МПа, температура регенерированного аминового раствора на входе в абсорбер — 45 °С. *Библ. 11, рис. 6, табл. 4.*

Ключевые слова: биогаз, биометан, диоксид углерода, сероводород, абсорбер, десорбер, абсорбент.