

Топливо и энергетика

УДК 662.6

Ильенко Б.К., канд. техн. наук

Институт газа НАН Украины, Киев

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: bor.ilienko@gmail.com

Производство моторных топлив в Украине. Перспективы расширения сырьевой базы

Рассмотрены основные экологические критерии моторных топлив, соответствующих стандартам Евросоюза, и методы, способствующие их достижению, на нефтеперерабатывающих заводах. Показано, что на современных НПЗ обязательным условием производства евро-бензинов является наличие технологических мощностей по получению изо-парафинов — установок изомеризации и алкилирования. Другим необходимым условием получения евро-топлив является наличие производственных мощностей по эффективной очистке моторных топлив от соединений серы. Показано, что в Украине моторные топлива, соответствующие евро-стандартам, выпускаются только на Кременчугском НПЗ. Возможности производства таких топлив на остальных предприятиях Украины сдерживается устаревшей технологической базой, модернизация которой требует значительных капиталовложений и сроков реализации. Другим сдерживающим фактором является ограниченная собственная добыча нефти. Показано, что Украина обладает достаточными ресурсами природного газа и угля для производства моторных топлив. Представлен анализ мирового производства моторных топлив из угля и природного газа. Показано, что реализация технологий с применением синтеза СО и Н₂ по методу Фишера-Тропша для получения дизельного топлива и прямого их синтеза в диметиловый эфир с получением синтетического бензина позволяет решить задачу производства высококачественных моторных топлив из ненефтяного сырья. Для Украины представляет значительный интерес производство синтетических бензинов из природного газа малодебитных месторождений, а также из биомассы. *Библ. 14, табл. 2.*

Ключевые слова: бензин, дизельное топливо, ароматические соединения, изопарафины, алкилирование, природный газ, уголь, диметиловый эфир, синтез.

Обеспечение моторным топливом является одной из проблемных задач, стоящих перед нашей страной. Сложность ее решения обусловлена такими наиболее существенными факторами:

— ограниченность объемов собственной добычи нефти;

— состояние нефтеперерабатывающей промышленности, точнее нефтеперерабатывающих заводов, находящихся на территории Украины;

— возрастающие требования к качеству моторных топлив.

Европейские стандарты

Начнем с последнего фактора. Кабинет Министров Украины своим постановлением от 1 августа 2013 г. № 927 утвердил Технический регламент требований к автомобильным бензинам, дизельным, судовым и котельным топливам. Указанный регламент разработан с учетом Директивы 98/70/ЕС Европарламента и Евросовета от 13 октября 1998 г. и Директивы 2005/33/ЕС тех же органов от 6 июля 2005 г. Целью регламента является переход на европейские стандарты топлива как весомый фактор защиты здоровья людей, национальной безопасности, охраны окружающей среды и природных ресурсов от вредных выбросов.

Газообразные выбросы, образующиеся при эксплуатации транспортных средств, имеют значительный удельный вес в структуре источников загрязнения атмосферы. Например, их доля в общем объеме газообразных выбросов США, Великобритании и ФРГ составляет соответственно 60, 60 и 50 % (об.). К числу наиболее экологически опасных выбросов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), обладающие сильным канцерогенно-мутагенным воздействием на организм человека. Установлено [1], что около 90 % ПАУ, содержащихся в атмосфере крупных городов Украины, приходится на источники, обусловленные процессами сжигания топлив транспортных средств в ДВС.

Другим крупным загрязнителем атмосферы являются оксиды серы, образующиеся при сжигании в ДВС моторных топлив. Оксиды серы, а также образующиеся при их соединении с водяными парами кислоты H_2SO_3 и H_2SO_4 оказывают вредное воздействие на здоровье людей, вызывают разрушение строительных и других конструкций, пагубно влияют на растения, нарушают процесс фотосинтеза [2].

Утвержденным Техническим регламентом предусмотрено продление действия стандарта качества автомобильных бензинов и дизельного топлива, соответствующего требованию Евро-3, до конца 2015 г. Этим же Постановлением Кабинет утвердил конечный срок ввода в обращение топлива стандарта Евро-4 — до 31 декабря 2017 г., а Евро-5 — на неограниченный срок.

В табл.1 приведены основные экологические критерии евро-стандартов для автомобильных бензинов.

Как следует из приведенных показателей, указанные стандарты предусматривают снижение содержания ароматических соединений до 35 % и неуклонное снижение соединений серы с 500 до 10 мг/кг. Особенно жесткие требования

Таблица 1

Показатель	Евро-стандарты			
	2	3	4	5
Октановое число (исследовательский метод), ед., не менее	92	95	95	95
Ароматические углеводороды, %, не более	55	42	35	35
Бензол, %, не более	5	1	1	1
Олефины, %, не более	–	18	18	14
Сера, мг/кг, не более	500	150	50	10

предъявляются к содержанию бензола: 5 %, уже начиная с Евро-2, и далее не более 1 %. Бензол обладает высокой токсичностью и официально причислен МАИР (Международным Агентством по Изучению Рака) к группе канцерогенов. В 1971 г. в Женеве была принята «Конвенция о бензоле», именно с этого момента экологи и врачи призывают ограничивать масштабы производства и применения этого чрезвычайно токсичного канцерогена.

В табл.2 представлены основные экологические критерии евро-стандартов дизельных топлив.

Нефтепереработка

Рассмотрим, каким образом достигаются указанные выше показатели на современных нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). Высокие октановые числа бензинов (92–95 пунктов) ранее формировались преимущественно за счет высокооктановых компонентов (изо-парафинов и ароматических соединений) бензинов каталитического крекинга и ароматических соединений, получаемых в процессе каталитического риформинга.

Снижение содержания ароматических соединений в бензинах на современных НПЗ достигается за счет их разбавления изо-парафинами, а также применения высокооктановых добавок. Изо-парафины (парафины разветвленного строения), обладающие, как и ароматические соединения, высокими детонационными характеристиками, имеют существенные преимущества перед углеводородами ароматического ряда. Их применение в качестве компонента моторных топлив способствует улучшению пусковых свойств двигателей, снижению нагарообра-

Таблица 2

Показатель	Евро-стандарты		
	3	4	5
Сера, мг/кг, не более	350	50	10
Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %, не более	11	11	8

зования, они менее токсичны, характеризуются высокой полнотой сгорания.

Для получения указанных соединений на нефте- и газоперерабатывающих заводах сооружают установки изомеризации парафинов, преимущественно гептан-гексановой фракции, с получением этих же соединений с разветвленной структурой. Другим источником получения изопарафинов являются установки алкилирования компонентов бутан-бутиленовой фракции каталитического крекинга. В процессе алкилирования в результате реагирования соединений бутанового ряда получают изомеры октана с октановым числом около 100 пунктов.

Выделение бензола (до его содержания не более 1 %) и других ароматических соединений с целью получения сырьевых продуктов для нефтехимии осуществляется их экстракцией из бензина риформинга на специальных установках. Снижение содержания ароматических соединений в бензине каталитического риформинга переводом их в циклические углеводороды (циклогексан для бензола) осуществляется гидрогенизацией на специальных технологических установках.

Ниже представлен компонентный состав бензина одного из германских НПЗ, %: бензин каталитического крекинга и риформинга — 73,4; алкилат — 5,1; изомеризат — 16,2; высокооктановые добавки — 5,3. Компонентный состав американского бензинового фонда 2007 г., %: бензин каталитического крекинга — 34; бензин риформинга — 28; алкилат — 12; изомеризат — 4; высокооктановые добавки — 15; прочие добавки — 7. Из представленных данных следует, что содержание изопарафинов, полученных на установках изомеризации и алкилирования на современных НПЗ, составляет 16–21 %. В последние годы в США снижается интерес к процессу риформинга бензинов в связи с высоким содержанием в нем ароматических углеводородов. Практически на всех НПЗ США мощности установок алкилирования находятся на уровне средних показателей или выше.

Из применяемых в промышленности методов очистки нефтепродуктов от сернистых соединений наиболее эффективной является каталитическая гидроочистка, однако ее мощности не всегда обеспечивают возможность очистки вырабатываемых на заводах топлив. Образующийся в процессе риформинга водородсодержащий газ может быть непосредственно использован в процессах гидроочистки моторных топлив, причем его себестоимость примерно в 10–15 раз ниже, чем себестоимость водорода специального производства (например, мето-

дом паровой каталитической конверсии). В некоторых случаях целесообразна очистка топлив простыми по технологическому оформлению и дешевыми процессами селективной демеркаптаннизации.

Оценим технологические возможности получения в Украине моторных топлив, соответствующих утвержденному Кабмином регламенту. Указанные топлива в Украине могут быть получены на пяти нефтеперерабатывающих заводах (Лисичанский НПЗ по известным, к сожалению, причинам мы не учитываем), а также на Шебелинском газоперерабатывающем заводе. На этих предприятиях, кроме Кременчугского НПЗ (ПАО «Укртатнафта»), основным процессом для получения автомобильных бензинов является каталитический риформинг прямых фракций, реализуемый на соответствующих технологических установках. Углеводородный состав бензина каталитического риформинга, одного из традиционных процессов нефтепереработки, в зависимости от состава исходного сырья, режима процесса и применяемых катализаторов следующий [3], % (мас.): непредельные углеводороды — 0,5–2,2; ароматические углеводороды — 59,0–68,5; парафиновые + нафтеновые углеводороды — 31,0–38,8.

Бензины с таким высоким содержанием ароматических углеводородов (содержание бензола в них достигает 7 %) по своим показателям не могут быть отнесены даже к Евро-2. Этим и обусловлен неоднократный перенос введения стандартов Евро-2 и Евро-3 в Украине. Основной причиной постоянной пролонгации старых нормативов является то, что большинство отечественных нефте- и газоперерабатывающих заводов не готово к выпуску топлива по новым стандартам. Например, государственному Шебелинскому газоперерабатывающему заводу нужно, как минимум, построить установку изомеризации легких бензиновых фракций, позволяющую довести часть бензинов до требуемый европейского стандарта по содержанию ароматических углеводородов. На это потребуется около 2 лет работы и более 1 млрд грн (по оценкам 3–4-летней давности).

Единственным предприятием в Украине, где производят моторные топлива, соответствующие евро-стандартам, является Кременчугский нефтеперерабатывающий завод. На этом заводе с 1980-х гг. наряду с установками каталитического риформинга работают установка гидроочистки дизельного топлива, блок каталитического крекинга и освоенная в 2001 г. установка по производству высокооктановой добав-

ки — метил-трет-бутилового эфира. В 2009 г. на заводе были модернизированы каталитические системы установок гидроочистки дизельного топлива и вакуумного газойля (сырья установки каталитического крекинга). В процессе каталитического крекинга вырабатывается высокооктановый бензин с октановым числом по исследовательскому методу 88–91 пунктов. Этот бензин содержит менее 1 % бензола и 20–25 % ароматических углеводородов, что дает возможность использовать его для приготовления бензинов согласно последним нормам Евросоюза. В 2011 г. на заводе была введена в эксплуатацию установка фракционирования стабильного риформата с выделением бензолсодержащей фракции, что позволяет довести содержание бензола в производимых на НПЗ бензинах до 0,5–0,6 %. В дальнейшем на этом заводе планируется выделять бензол на установке экстракции ароматических углеводородов.

В настоящее время на Кременчугском НПЗ производят автомобильный бензин с содержанием ароматических соединений 33 %, бензола ниже 1 % и серы 10 мг/кг, что полностью соответствует и даже превосходит требования к бензину Евро-5. Снижение содержания серы в дизельном топливе до 50 мг/кг позволяет производить на этом предприятии дизельное топливо, соответствующее 4-му Евро-стандарту. Разумеется, наличие на этом заводе установок изомеризации парафинов и алкилирования позволило бы повысить выход высококачественного бензина. Возможности производства моторных топлив, соответствующих европейским стандартам, на остальных упоминавшихся предприятиях сдерживается устаревшей технологической базой, модернизация которой требует значительных капиталовложений и сроков реализации.

Сырьевая база

Весомым фактором, сдерживающим развитие украинской нефтепереработки, является ограниченная собственная добыча нефти. В 2010 г. добыча нефти и газового конденсата в Украине составила 3,6 млн т. Прогнозные показатели, по данным Обновленной энергетической стратегии Украины на период до 2030 г., составляют 2,8 млн т в 2015 г., 2,4 млн т — до 2025 г. и 3,6 млн т в 2030 г. за счет ввода в эксплуатацию новых месторождений. Потребление бензина в Украине только в 2010 г. составило 4,6 млн т, дизельного топлива — 5,3 млн т. Для производства такого количества светлых нефтепродуктов необходимо поставить, например, на Кременчугский НПЗ около 15 млн т нефти.

Учитывая сложности с производством в Украине моторных топлив из нефтяного сырья, оценим возможности их получения из других сырьевых источников: природного газа и угля. Украина обладает значительными ресурсами природного газа. По данным академика НАН Украины А.Е.Лукина, за все предыдущие годы из недр Украины было добыто около 400 млн т нефти и конденсата и около 2 трлн м³ свободного газа (в сумме это составляет 2,4 млрд т условного топлива).

Оценка неразведанных запасов (прогнозных ресурсов углеводородов категории С3 + D1) составляет 5,5 млрд т у.т. (то есть на 1,5 млрд т у.т. больше, чем накопленная за все годы добыча), где категория С3 — перспективные ресурсы площадей, подготовленных для бурения и находящихся в пределах нефтегазодносного района, D1 — прогнозные ресурсы нефти и газа, оцениваемые в пределах крупных структур с доказанной промышленной нефтегазоносностью.

Возможности значительного увеличения добычи природного газа связано с освоением потенциала разведанных запасов глубин в интервале 4,5–6,5 км. Его реализация позволила в течение 1968–1970 гг. увеличить добычу газа от 20 до 50 млрд м³, а в 1970-е гг. достичь 65–70 млрд м³. Дальнейшее снижение финансирования этих работ, а с 1990 г. полное их прекращение привели к нынешнему состоянию отечественной газодобычи. Вместе с тем реальность этих запасов подтверждается показателями эксплуатации действующих скважин. В настоящее время на открытом еще в 1980-х гг. газоконденсатном месторождении функционируют скважины глубиной 6500 м, где успешно добывается газ с конденсатом с суточным дебитом более 1 млн м³. Значительными резервами природного газа обладают малодебитные месторождения, их реальные запасы оцениваются в 80–85 млрд м³.

Украина также обладает крупными месторождениями бурого угля, его доказанные запасы оцениваются в 17,9 млрд т, что составляет 52,3 % общих доказанных запасов угля в стране. В настоящее время достоверные запасы бурого угля в Украине составляют 2 млрд т, из которых более 1 млрд т можно добывать безопасным и дешевым открытым способом.

Моторные топлива из угля

Получение моторных топлив из угля имеет свою историю. Основным их производителем была нацистская Германия в 1933–1945 гг. [4]. Например, доля топлив из угля в общем объеме

производства моторных топлив в первом квартале 1944 г., фактическом пике немецкого производства, составляла 86,7 %. Топлива производились преимущественно методом Бергиуса.

Другими источниками получения моторных топлив были процессы переработки угля коксованием и пиролизом с выделением из каменноугольных смол этих процессов бензиновой и дизельной фракций углеводородов, а также синтез по методу Фишера-Тропша. При этом в указанный период по методу Бергиуса производили 78,5 % общего объема моторных топлив из угля (100 % авиабензина, 45,1 % автобензина и 75,5 % дизельного топлива). Из каменноугольной смолы выделяли 12,3 % топлив (33,3 % автобензина и 11,5 % дизельного топлива). Синтезом по методу Фишера-Тропша производили 9,1 % общего объема этих топлив (21,6 % автобензина и 13 % дизельного топлива). Примечательно, что доля производимого из угля бензина составляла 80,2 % общего количества моторных топлив, производимых в Германии из угля (1010 тыс. т в первом квартале 1944 г.), остальные 19,8 % составляло дизельное топливо.

В процессе, разработанном Ф. Бергиусом, осуществлялась каталитическая гидрогенизация угля (водород получали из продуктов парокислородной газификацией угля) под давлением 250–300 атм и температурах 400–600 °С с получением широкой фракции жидких углеводородов. Пылеобразный уголь замешивался в пасту с каменноугольной смолой и катализатором — отходом бокситного производства, красным шламом. Лучшим сырьем считался бурый уголь, обеспечивающий высокий выход жидкой фракции.

Процесс, разработанный и осуществленный в промышленном масштабе Ф. Фишером и Г. Тропшем, основан на получении жидкого топлива каталитическим синтезом оксида углерода и водорода, также получаемых парокислородной газификацией угля. К окончанию войны в Германии было сооружено 18 заводов по гидрогенизации угля и 9 заводов по производству топлив синтезом по методу Фишера-Тропша.

Из освоенных в Германии процессов получения моторных топлив из угля два первых — гидрогенизация и коксование (пиролиз) — в послевоенные и последующие годы утратили свою значимость, несмотря на значительный объем исследований в области их совершенствования. Указанное относится прежде всего к процессу гидрогенизации угля [5]. Кроме значительной дороговизны моторных топлив, получаемых в результате промышленной реализации этого процесса, по сравнению с топливами

нефтяного происхождения, их характеристики весьма далеки от современных экологических стандартов. Жидкие продукты гидрогенизации угля содержат гетероциклические соединения и большое количество ароматических соединений. Удаление первых на существующих в нефтепереработке катализаторах сероочистки не вызывает трудностей, а для уменьшения содержания ароматических соединений необходимо применение новых каталитических систем на стадии облагораживания угольных дистиллятов. Выделенная из этих дистиллятов бензиновая фракция содержит незначительное количество бензола (0,25 % (об.)), однако ее детонационные характеристики (октановое число — 82) недостаточны для существующих стандартов [5].

Применение процесса гидрогенизации угля может быть выгодным в странах, испытывающих дефицит углеводородного сырья и обладающих достаточными запасами угля. Это наблюдается в Китае. В 2009 г. в этой стране (корпорация «Шеньхуа») была сдана в эксплуатацию производственная линия по переработке около 10 тыс. т угля в сутки с выработкой 3 тыс. т жидкого топлива [6].

Жидкие продукты гидрогенизации угля могут представить интерес в плане получения исходного сырья для химической промышленности. Например, американская фирма Carbon and Carbide в штате Западная Вирджиния построила установку гидрогенизации каменного угля под высоким давлением производительностью 300 т угля в сутки с целью получения ценных химических продуктов в широком ассортименте.

Фракции моторных топлив, выделяемые из каменноугольных смол процессов коксования и пиролиза, также содержат большое количество ароматических соединений. В 1 квартале 1944 г. в Германии производили 94 тыс. т бензола для использования в качестве автобензина [4]. В те времена было не до охраны окружающей среды.

Производство синтетических моторных топлив по методу Фишера-Тропша

Синтез-газ (смесь CO и H₂), получаемый в результате газификации угля или конверсией углеводородных газов, является исходным сырьем для получения разнообразных жидких углеводородов и низших спиртов. Качество получаемых продуктов в результате дальнейшей переработки синтез-газа зависит от применяемых катализаторов и особенностей технологического режима.

В синтезе CO и H₂ по методу Фишера-Тропша применяют катализаторы на основе пе-

редходных металлов VIII группы Периодической системы кобальта или железа. Целевыми продуктами этого процесса являются дизельное и турбинное топливо, смазочные материалы. Природа применяемого катализатора, температура, соотношение CO и H₂ существенно сказываются на составе получаемых продуктов. Так, при использовании железных катализаторов велика доля олефинов, а в случае применения кобальтовых катализаторов, обладающих гидрирующей активностью, преимущественно образуются насыщенные углеводороды.

В Германии при осуществлении синтеза с катализатором на основе Co (170–200 °С, давление 1–10 атм) получали бензин с октановым числом 40–55, высококачественное дизельное топливо и твердый парафин. За счет добавок тетраэтилсвинца октановое число бензина повышали до 74. Синтез с использованием катализатора на основе Fe проводился при 220 °С и выше и давлении 10–30 атм. Бензин, получаемый при этих условиях, имел октановое число 75–78 за счет содержания олефинов и парафинов разветвленного строения.

В послевоенные годы синтез по методу Фишера-Тропша нашел применение в ЮАР. В этой стране с 1983 г. эксплуатировались 3 завода компании Sasol с суммарной производительностью около 33 млн т/год по углю или 4,5 млн т/год по моторным топливам. Создание указанных комплексов было вынужденным в связи с эмбарго на нефть для этой страны. Открытие обширных месторождений нефти в Аравии, Северном море, Нигерии, на Аляске и отмена эмбарго ЮАР резко снизило интерес к синтезу по методу Фишера-Тропша с использованием угля как сырьевого материала. В настоящее время в ЮАР производят этим методом 5–6 млн т/год углеводородов. Однако процесс является убыточным и дотируется государством как национальное достояние.

Интерес к синтезу по методу Фишера-Тропша на угольном сырье проявляется в Китае по изложенным выше причинам. Южноафриканская компания Sasol, крупнейший в мире производитель синтетического топлива из угля, и корпорация Шэньхуа планируют совместно начать в 2016 г. в Китае производство топлива из угля [6].

В Украине Институтом газа НАН Украины и Институтом «Гипрококс» (Харьков) ведется подготовка к выполнению международного проекта «Водородная энергетика» с зарубежными инвестициями, целью которого является производство моторного топлива из углей украинских месторождений на основе его парокислородной газификации.

В 1990-х гг. было запущено несколько установок синтеза по методу Фишера-Тропша с использованием в качестве сырья природного газа для производства преимущественно малосернистого дизельного топлива. В этих процессах используется кобальт-циркониевый катализатор и оригинальная технология. В 1993 г. компания Shell построила в Бинтулу (Малайзия) завод производительностью 14,7 тыс. баррелей (2,3 тыс. м³) жидких углеводородов в сутки.

Крупнейший в мире завод Gas Pearl Gas-To-Liquids (GTL) производительностью 140 тыс. баррелей (22 тыс. м³) жидких углеводородов в сутки был введен в эксплуатацию в ноябре 2011 г. в Катаре. На завод ежедневно поступает 45 млн м³ природного газа с крупнейшего в мире (25 трлн м³, примерно 15 % мировых запасов) оффшорного месторождения природного газа «Северное поле» (North Field). Поступающий газ очищается от газового конденсата (120 тыс. баррелей/сут), после чего поступает на установки синтеза, выдающие ежедневно 140 тыс. баррелей (22 тыс. м³) жидких углеводородов. Завод производит лигроин (бензиновый дистиллят с диапазоном температур кипения 120–240 °С), нормальные парафины, базовые масла для производства смазочных материалов (моторных, трансмиссионных, трансформаторных масел), керосин (авиационное топливо) и газойль (дизельное топливо) [7]. Свои проекты в области синтеза по методу Фишера-Тропша разной степени проработки имеют компании Chevron, Conoco, BP, ENI, Statoil, Rotech, Syntroleum и др.

Производство синтетического бензина

Бензиновые фракции жидких продуктов синтеза по методу Фишера-Тропша в зависимости от применяемого катализатора содержат преимущественно олефины и (или) неразветвленные (нормальные) парафины. Оба этих класса соединений, особенно последний, характеризуются невысокими детонационными характеристиками, что ограничивает возможность их применения в качестве автомобильных бензинов. Перевод нормальных парафинов в высокооктановые компоненты требует затратных технологических операций. В промышленных комплексах компании Sasol это достигалось изомеризацией фракции парафинов C₅–C₆ и риформингом на платиновом катализаторе (процесс платформинг) фракции C₇–C₁₀ с получением высокооктановых компонентов [7].

Известны схемы получения из синтез-газа жидких углеводородов, содержащих высокооктановые бензиновые фракции:

– синтез-газ → синтез метанола → дегидратация метанола в диметиловый эфир (ДМЭ) → получение моторного топлива;

– синтез-газ → синтез ДМЭ → получение моторного топлива.

Первая из указанных схем, нашедшая промышленное применение, была реализована по разработанной компанией Exxon Mobil технологии, основанной на использовании цеолитного катализатора ZSM-5 собственного производства. Процесс образования бензина из метанола протекает через стадию дегидратации метанола в ДМЭ, который далее превращается в смесь углеводородов (бензин), состоящую более чем на 50 % из ценных высокоразветвленных парафинов.

В Новой Зеландии в 1986 г. была введена в действие первая в мире установка производительностью около 600 тыс. т/год синтетического бензина из метанола, получаемого на базе природного газа. Затраты на сооружение установки составили около 1,5 млрд долл. Однако, использование этой технологии было экономически обосновано лишь при наличии субсидий со стороны правительства Новой Зеландии. С 1997 г. установка служит лишь для производства метанола.

Реализация второй схемы осуществляется гетерогенно-каталитическим газофазным прямым синтезом ДМЭ из синтез-газа, в основу создания которого положены разработки фирм Mobil и Haldor Topshe. Исследования в этом направлении проводятся в Институте нефтехимического синтеза (ИНХС) РАН [8]. Указанные работы выполнялись также в ГНИПИ «Химтехнология» (г. Северодонецк) [9].

Экспериментальная проверка процесса, проведенная в ИНХС РАН [8] показала, что получаемый бензин имеет следующие показатели: октановое число (по исследовательскому методу) – 92–93; бензол – следы; изопарафины – более 60 %; ароматических углеводороды – 20 и 30 % (на разных катализаторах); непредельные углеводороды – около 1 %.

Фирмой Haldor Topshe Inc. создана эффективная технология производства высококачественного синтетического бензина из синтез-газа, получаемого конверсией (газификацией) природного газа, попутного нефтяного газа, сланцевого газа, угля, нефтяного кокса и биомассы. В указанной технологии процесс получения бензина из синтез-газа интегрирован в один контур синтеза с однократным прохождением синтез-газа в ДМЭ и последующим превращением кислородсодержащих соединений в бензин.

Строительство первого крупного предприятия по этой технологии планируется в Туркменистане, который обладает четвертыми по величине в мире запасами природного газа. Заказчиком является Государственный концерн «Туркменгаз». Японская компания Kawasaki Heavy Industry Ltd. и турецкая Renesans Turkmen выбраны соответственно генподрядчиком и подрядчиком, которые совместно с Haldor Topshe будут осуществлять проектирование и строительство. Строительство завода началось в августе 2014 г., пуск в эксплуатацию планируется к 2018 г. Производительность завода составит 15 500 баррелей/сут синтетического бензина [10].

Перспективы производства синтетических моторных топлив в Украине

Оценивая возможности производства синтетических моторных топлив в Украине необходимо учитывать специфику применения обсуждавшихся технологий. Процесс Фишера-Тропша менее предпочтителен для применения на малодебитных газовых месторождениях вследствие его относительно невысокой удельной производительности. Выход жидких продуктов синтеза в этом процессе составит 75–130 кг/м³ катализатора, после чего их необходимо разделять с дальнейшей доводкой полученных фракций до промышленных стандартов.

По данным [11], при реализации этого процесса расчетная производительность, при которой достигается приемлемый уровень удельных энергозатрат, капитальных и эксплуатационных расходов, составляет не ниже 10 тыс. баррелей/сут (1360 т/сут) и имеет явную тенденцию к увеличению. По данным Sasol, типичное потребление газа на таких установках составляет более 1 млрд м³/год.

Этот процесс можно рекомендовать для производства жидких углеводородов на буровых бассейнах Украины после соответствующего экономического обоснования, полученный продукт (по сути это синтетическая нефть) можно транспортировать на нефтеперерабатывающие заводы.

При производстве синтетического бензина достигается более высокий выход жидких углеводородов – 380–530 кг/м³ катализатора, а получаемый продукт по своим экологическим характеристикам (содержанию бензола и ароматических соединений) соответствует евро-стандартам. Относительно низкое октановое число (92–93 пункта по исследовательскому методу) может быть доведено до стандартных 95 пунктов

применением высокооктановой добавки — метил-трет-бутилового эфира, вырабатываемого на Кременчугском НПЗ (более предпочтительным является этил-трет-бутиловый эфир).

Синтетический бензин может быть получен на небольших мобильных установках [12], что существенно, учитывая возможность применения этих установок на малодобитных месторождениях.

В последние годы проявляется значительный интерес к производству синтетического бензина из биомассы [13]. Сооружаются опытные установки, в частности, крупная пилотная установка по производству синтетического бензина из биомассы и природного газа сооружена в Gas Technology Institute (GTI, США) [14].

В Институте газа НАН Украины накоплен значительный опыт промышленной реализации процесса кислородной конверсии природного газа с получением газообразных продуктов, содержащих CO и H₂. В ГНИПИ «Химтехнология» (г. Северодонецк) проводились исследования по прямому синтезу ДМЭ из синтез-газа, была разработана демонстрационная установка получения ДМЭ.

Выводы

Синтетический бензин, а также синтетическое дизельное топливо являются новой конкурентной альтернативой моторным топливам, получаемым традиционной переработкой нефти. Указанные топлива, в отличие от ДМЭ, метанола и этанола, соответствуют действующим стандартам качества, что позволяет их использовать в существующей топливной инфраструктуре. Это означает, что синтетические моторные топлива можно производить вдалеке от нефтеперерабатывающих заводов, распределять их в существующей торговой инфраструктуре и использовать как автомобильное топливо без изменения конструкции автомобильных двигателей.

В Украине имеется сырьевая база для производства синтетических моторных топлив, а также научная база для развития работ в важном для Украины направлении промышленного производства синтетических моторных топлив.

Список литературы

1. Канило П.М., Соловей В.В., Костенко К.В. Проблемы загрязнения атмосферы городов канцерогенно-мутагенными супертоксикантами // Вестник Харьков. нац. автодорож. ун-та. — 2011. — Вып. 52. — С. 47–53.
2. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. — Л. : Недра, 1988. — 312 с.
3. Сулимов А.Д. Каталитический риформинг бензинов. — М. : Химия, 1973. — 302 с.
4. Состояние с топливом в нацистской Германии в период 1933–1945. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.nnm.me/blogs/teufel65/sostoyanie_s_toplivom_v_nacistkoy_germanii_v_period_1933_-1945/
5. Малолетнев А.С., Шпирт М.Я. Современное состояние технологий получения жидкого топлива из угля // Рос. хим. журн. — 2008. — Т. 52, № 6. — С. 44–52.
6. Китайское производство жидкого топлива из каменного угля. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://oilru.com/news/348718/>
7. Елисеев О.Л. Технологии «газ в жидкость» // Рос. хим. журн. — 2008. — Т. 52, № 6. — С. 53–62.
8. Розовский А.Я. Диметилловый эфир и бензин из природного газа // Рос. хим. журн. — 2003. — Т. 47, № 6. — С. 53–61.
9. Ляхин Д.В., Какичев А.П., Овсиенко О.Л., Морозов Л.Н. Промышленные испытания катализатора для получения диметилового эфира из синтез-газа // Материалы VI Рос. конф. «Научные основы приготвления и технологии катализаторов», Новосибирск, 2008. — С. 144–146.
10. Синтез бензина (T19AS). [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.topsoe.com/subprocess/gasoline-synthesis-tigas>.
11. Переработка синтез-газа : Небольшие установки. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=1626
12. Синтетический бензин. Наука и жизнь. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/articles/445/>
13. Christodoulos A. Floudas, Josephine A. Elia, Richard C. Babilan. Hybrid and single feedstock energy processes for liquid transportation fuels. A critical review // Computer and Chemical Engineering Journal. — 2012. — Vol. 41. — P. 24–51.
14. Vann Bush, Bruce Bryan, Richard Knight, Arun Basu, Andrew Kramer, Rachid Slimane. Synergitic combination of Natural Gas and Biomass in Gasification-based Systems for Chemical and Fuels Production // International Gas Union Research Conference. — 2014. — P. II–IV, 1–12.

Поступила в редакцию 22.02.15

Ільєнко Б.К., канд. техн. наук

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: bor.ilienko@gmail.com

Виробництво моторних палив на Україні. Перспективи розширення сировинної бази

Розглянуто основні екологічні критерії моторних палив, що відповідають стандартам Євросоюзу, та методи, які сприяють їх досягненню на нафтопереробних заводах. Показано, що на сучасних НПЗ обов'язковою умовою виробництва євро-бензинів є наявність технологічних потужностей для отримання ізо-парафінів — установок ізомеризації та алкілування. Іншою необхідною умовою отримання євро-палив є наявність виробничих потужностей для ефективної очистки моторних палив від сірчаних сполук. Показано, що на Україні моторні палива, що відповідають євро-стандартам, випускаються тільки на Кременчуцькому НПЗ. Можливості виробництва таких палив на інших підприємствах України стримується застарілою технологічною базою, модернізація якої потребує значних капіталовкладень, та термінів реалізації. Іншим стримуючим фактором є обмежений власний видобуток нафти. Показано, що Україна володіє достатніми ресурсами природного газу та вугілля для виробництва моторних палив. Представлено аналіз світового виробництва моторних палив з вугілля та природного газу. Показано, що реалізація технологій з використанням синтезу CO та H₂ за Фішером-Тропшом для отримання дизельного палива та прямого їх синтезу у диметилловий ефір та отримання синтетичного бензину дасть змогу вирішити задачу виробництва високоякісних моторних палив з ненафтової сировини. Для України значний інтерес представляє виробництво синтетичних бензинів з природного газу малодебітних родовищ, а також біомаси. *Бібл. 14, табл. 2.*

Ключові слова: бензин, дизельне паливо, ароматичні сполуки, ізо-парафіни, алкілування, природний газ, вугілля, диметилловий ефір, синтез.

Ilyenko B.K., Candidate of Technical Sciences

The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

39, Degtyarivska St., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: bor.ilienko@gmail.com

Production of Motor Fuels in Ukraine : Prospects of Expansion for Raw Material Base

The main environmental criteria of motor fuels corresponding EU standards and methods for facilitating their achievement on refinery are considered. It is shown that in modern refineries mandatory condition of production of Euro-gasoline is the presence of technological facilities to obtain isoparaffin — isomerization and alkylation. Another necessary condition to obtain Euro-fuels is the availability of production capacities for the effective cleaning of motor fuels from sulfur compounds. It is shown that in Ukraine motor fuels corresponding to Euro-standards, are available only at the Kremenchug refinery. The possibility of such fuels production at other enterprises of Ukraine has limited by outdated technological base, which modernization requires substantial investment and implementation time. The other limiting factor is limited own oil production. It is shown that Ukraine has sufficient resources of natural gas and coal for the production of motor fuels. Analysis of the global production of motor fuels from coal and natural gas is represented. It is shown that the implementation of technology for the synthesis of CO and H₂ according to the Fischer-Tropsh to obtain diesel fuel and their direct synthesis of dimethyl ether for producing of synthetic gasoline allows to solve the problem of high quality motor fuels production from non-petroleum raw materials. For Ukraine is of considerable interest in the production of synthetic gasoline from natural gas from marginal fields, as well as from biomass. *Bibl.14, Table 2.*

Key words: gasoline, diesel fuel, aromatic compounds, isoparaffin, alkylation, natural gas, coal, dimethyl ether, synthesis.

References

1. Kanilo P.M., Solovey V.V., Kostenko K.V. Problemi zagriaznenia atmosfery gorodov kancerogenno-mytagennimi supertoksikantami [The problems of air pollution in towns by carcinogenic-multagenic super toxicants], *Vestnik Kharkovskogo Nacionalnogo avtodorozhnogo universiteta*, 2011, iss. 52, pp. 47–53. (Rus.)
2. Sigal I.Ya. Zashchita vozdušnogo basseyna pri sjiiganii topliva [Protection of air at fuel combustion], Leningrad : Nedra, 1988, 312 p. (Rus.)
3. Cylimov A.D. Kataliticheskiy reforming benzinov [Catalytic reforming of gasolines], Moscow : Himiya, 1973, 302 p. (Rus.)
4. Sostoyanie s toplivom v nacistkoy germanii v period 1933–1945. [Online resource]. — Access mode: — http://www.nnm.me/blogs/teufel65/sostoyanie_s_toplivom_v_nacistkoy_germanii_v_period_1933_-1945/ (Rus.)
5. Maloletnev A.S., Shpirt M.Ya. Sovremennoe sostoyanie tehnologiy polycheniya jidkogo topliva iz uglia [Current state of technology for production of liquid fuels from coal], *Ros. Him. Journ.*, 2008, 52, (6), pp. 44–52. (Rus.)
6. Kitajskoe proizvodstvo zhidkogo topliva iz kamennogo uglja, [Online resource]. — Access mode: <http://oilru.com/news/348718/>
7. Eliseev O.L. Tehnologiya «gas v jidkost» [Technology «gas to liquid», *Ros. Him. Journ.*, 2008, 52 (6), pp. 53–62. (Rus.)
8. Rozovsky A.Ya. Dimetilovyi efir I benzin iz prirodnogo gaza [Dimethyl ether and gasoline from natural gas, *Ros. Him. Journ.*, 2003, 67 (6), pp. 53–61. (Rus)
9. Lyahin D.V., Kakichev A.P., Ovsienko L.N., Morozov L.N. Promishlennye ispitaniya katalizatora dlia polyhenia dimetilovogo efira bp sintez-gaza [Industrial tests of the catalyst for dimethyl ether production from synthesis gas], *Materialy VI Rossiyskoj konferencii «Nauchnie osnovi prigotovleniya i tehnologii katalizatorov»*, Novosibirsk, 2008, pp. 144–146. (Rus.)
10. Gasoline Senthesis (T19AS). [Online resource]. — Access mode: <http://www.topsoe.com/subprocess/gasoline-synthesis-tigas>.
11. Pererabotka sintez-gaza: nebolshie ystanovki [Processing of Synthesis Gas: a small installation]. [Online resource]. — Access mode: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=1626. (Rus.)
12. Sinteticheskiy benzin. Nauka i jizn, [Synthetic gasoline. Science and life]. [Online resource]. — Access mode: <http://www.nkj.ru/archive/articles/445/>. (Rus.)
13. Christodoulos A. Floudas, Josephine A. Elia, Richard C. Babilan. Hybrid and single feedstock energy processes for liquid transportation fuels. A critical review. *Computer and Chemical Engineering Journal*, 2012, 41, pp. 24–51.
14. Vann Bush, Bruce Bryan, Richard Knight, Arun Basu, Andrew Kramer, Rachid Slimane. Synergitic combination of Natural Gas and Biomass in Gasification-based Systems for Chemical and Fuels Production. *International Gas Union Research Conference*, 2014, pp. II–IV, 1–12.

Received February 22, 2015

УДК 636.5+504.05+662.7

Пьяных К.Е., канд. техн. наук**Институт газа НАН Украины, Киев***ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: pyanykh@mail.ru***Газификация как метод переработки отходов**

Предложена технология переработки углеродсодержащих отходов методом газификации. Показаны особенности обращенного процесса газификации со встречной тепловой волной, обеспечивающие обезвреживание отходов в ходе термической обработки. Представлены результаты теоритических расчетов, а также экспериментальных исследований газификации различных видов твердых топлив, показано соответствие полученных данных. Приведены составы и энергетические характеристики генераторных газов, получаемых из подготовленного углеводородсодержащего сырья при использовании воздушного дутья и дутья, обогащенного кислородом. Показано влияние параметров дутья и гранулометрического состава топлив на характеристики газа и состав коксозольного остатка. Показано, что использование генераторного газа для замещения природного в котлах, не влияет на их экологические показатели. Приведены результаты экспериментальных исследований газификации высушенных иловых остатков, подтвердившие высокую степень конверсии углерода. *Библ. 7, рис. 4, табл. 4.*

Ключевые слова: газификация, отходы, утилизация.