

## **О ПРОЕКТЕ ПРОИЗВОДСТВА 500 ТЫС. Т. МОТОРНОГО ТОПЛИВА В ГОД ИЗ УГЛЯ**

А.А. Кричко, А.А. Озеренко – ООО « Углеродтопхим технология »,  
г. Москва

В.В.Заманов – ЗАО «Тулаинжнефтегаз», г. Тула

А.С.Малолетнев – ФГУП Институт горючих ископаемых, г. Москва

### **РЕФЕРАТ**

В докладе приведены сведения о проекте производства моторного топлива из бурого угля, разработанном на основании исследований, опытных и проектно-конструкторских работ в области гидрогенизации углей под невысоким давлением, выполненных организациями России. Показано, что для создания производства 500 тыс. т. моторного топлива потребуется около 250 млн. долл. США.

Гидрогенизация угля является наиболее эффективным и универсальным методом переработки твердого топлива в жидкие продукты топливного и химического назначения, что было показано промышленной практикой в Германии и СССР. Применение этого метода сдерживалось высокой стоимостью оборудования и низкой ценой на нефть. В последнее время в связи с разработкой технологий, позволяющих снизить давление при гидрогенизации угля с 20-30 до 7-10 МПа, а так же ростом цен на нефть, применение метода гидрогенизации угля стало весьма привлекательным.

При оценке метода гидрогенизации угля, как способа производства моторного топлива, иногда этот метод противопоставляется методу синтеза моторного топлива из газа, получаемого при газификации угля, как якобы более простого пути решения проблемы. Такое противопоставление

не является корректным, т.к. синтез позволяет получать совершенно другие продукты – низко октановые бензины и высокосажающие дизельные топлива, и хорошо себя зарекомендовал в сочетании с переработкой нефти (ЮАР) или угольных продуктов (Германия). Отметим, что головным процессом этого производства является метод газификации угля, обладающий рядом существенных технологических и экологических сложностей. Так, например, термический КПД прямой гидрогенизации составляет 55%, а синтеза едва достигает 40%. Нельзя не отметить, что для переработки в моторное топливо с использованием метода газификации могут быть использованы труднообогатимые угли с содержанием золы 20-25%, что недопустимо при их гидрогенизации.

Поэтому, выбор технологии и сырья для организации производства моторного топлива должен осуществляться конкретно для определенного типа угля, качество топлива, мощности, экологической ситуации в предполагаемом районе строительства.

Разработка технологии гидрогенизации угля проводилась в России на основе фундаментальных работ академика В.Н. Ипатьева, его учеников и последователей на протяжении столетия (Работы ГИВДа, ИГИ, ВНИГИ, УХИН и др.). Первые опытные установки были построены и эксплуатировались в конце 30-х годов XX столетия в г.г. Харьков и Кемерово, а в 1956 г. был освоен метод гидрогенизации угля на Ангарском заводе на базе ремонтного оборудования (60 МПа). Однако цена моторного топлива из угля Черемховского месторождения была в 7 раз выше, чем нефтяного и работы были прекращены. В 70-х годах в связи с нефтяным кризисом работы продолжены, в т.ч. совместно с «Имхаузен» и фирмой «Саарберверке» проводилась разработка проекта завода мощностью 3 млн. т. моторного топлива с применением «Новой немецкой технологии», которая осуществлялась под давлением 30 МПа и характеризовалась включением новых процессов при подготовке угле-масляной нефти для гидрогенизации, переработке шлака и ряда других.

Эта технология была освоена в Германии на установках фирмы Феба Ойл в Батроне и Саарбрюкене. Параллельно с этим развивалась технология в США, Англии и в последнее время в Японии и Австралии, КНР.

В России Институтом горючих ископаемых совместно с большим числом научно-исследовательских, проектно-конструкторских отраслевых организаций, а также промышленных организаций разработаны научные основы, технология и аппаратное оформление производства жидких продуктов из углей под давлением 7-10 МПа, проверенное на практике эксплуатацией Опытного завода СТ-5 [1].

Технология переработки угля в жидкое топливо включает ряд процессов, протекающих при различных физико-химических условиях, которые подлежали коренному совершенствованию с использованием новейших достижений отечественной и зарубежной науки и практики, без чего трудно было рассчитывать на перспективность реализации технологии в промышленности.

На основании полученных сведений проведена проектная проработка и технико-экономическая оценка производств моторного топлива мощностью от 0,5 до 3-4 млн.т./год. Показана (Грозгипронефтехим, Тулаинжнефтегаз, ИГИ и др.) достаточно высокая экономическая эффективность получения из угля, особенно углей Канско-Ачинского бассейна (КАБ), жидких продуктов [2].

Каменные угли невысокой стадии метаморфизма так же могут быть использованы в качестве сырья, причем расход их будет ниже в связи с меньшим содержанием влаги- 3 т. вместо 5-6 т. для бурых углей, содержащих 30-35% влаги, включая расходы на энергетику

Бурые и каменные угли невысокой стадии метаморфизма, применяемые для гидрогенизации, представлены самоассоциированными мультимерами в твердой замкнутой системе, проникновении в которую реагентов (водород, катализатор, растворитель и др.) затруднено. Поэтому, был предложен и отработан в опытно-промышленном масштабе (7-10

т/час) новый процесс по уготовке угля к ожижению – нагревание его методом высокоскоростной (10-15 тысяч градусов в мин.) обработки угля инертным газовым теплоносителем. При этом происходит измельчение угля до размера частиц 60-100 мкм, сушка до остаточного содержания влаги 0,5-1,0 %, увеличение количества и удельной поверхности в 5-10 раз по сравнению с исходным углем. Удельные расходы в сооружении вихревых камер в 22 раза ниже, чем для установок с шаровыми мельницами.

Проведены испытания большого числа углей России, Украины, КНР, Монголии, Индонезии и др. стран и разработаны требования, которые предъявляются к качеству угля для гидрогенизации. Уголь должен содержать минимальное количество золы, на вывод которой из системы расходуется равнозначное количество продуктов ожижения.

В таблице 1 приведены сведения о степени пригодности углей для гидрогенизации, на основании которых может осуществляться выбор сырья для переработки. В каждом конкретном случае предполагаемое для переработки сырье должно быть испытано в лабораторных условиях для определения материального баланса и качества получаемых продуктов. Так, например, из угля Г<sub>6</sub> Кузбасса и бурого угля КАБ одинаковой влажности и зольности выход жидких продуктов составил 66,5 и 69,7% соответственно. Возможна добавка к углю 5-15% отходов производства полимеров, леса - и резинотехнической продукции. Минеральный состав золы угля оказывает существенное влияние на результаты его ожижения.

Угли марок ДиГ, добываемые в Луганской области и содержащие 27-30% золы, могут быть применены, после обогащения, для производства моторного топлива.

Таблица 1

Критерии оценки степени пригодности гумусовых углей для гидрогенизации [3]

Группа по степени пригодности для гидрогенизации	Зольность, $A^d$ , %	Содержание инертинита, %мас	Отражательная способность витринита, $R_r$ , %	Карбоксильное число, %	Химический состав золы % $\Sigma_1 = Na_2O + K_2O$ $\Sigma_2 = Fe_2O_3 + CaO + MgO + TiO_2 + SO_3 / Na_2O + K_2O$
1. Угли наиболее пригодные	<10	<5	0,4-0,75	<10	$\Sigma_1 < 3$ $\Sigma_2 > 2$
2. Угли пригодные	10-15	5-10	0,3-0,95	10-12,5	$2 < \Sigma_1 < 6$ $1 < \Sigma_2 < 2$
3. Угли практически не пригодные	>15	>15	<0,3 >0,95	>12,5	$\Sigma_1 > 6$ $\Sigma_2 < 1$

Для формирования углемасляных смесей и шламов ожигения, транспортабельных по трубопроводам обычными насосами, применен метод диспергирования, позволяющий осуществлять дополнительное измельчение и активацию системы. В шлам добавляется реакционная вода для улучшения его сжигания и утилизации отходов. Образование воды при гидрогенизации под невысоким давлением в 1,5 раза ниже, чем при высоком давлении, вследствие изменения химизма процесса ожигения.

Существенное влияние на интенсификацию ожигения угля оказало применение в составе пастообразователя 20-30 % доноров-переносчиков водорода в виде частично гидрированных ароматических углеводородов, позволяющее осуществить передачу водорода угольным веществам на ранних стадиях преобразования, предотвращающее протекание реакций рекомбинации и конденсации ассоциатов угольного мультимера при нагревании до температуры деструкции в жидкие продукты. При этом

кислород угля (до 20-23% бурого угля) выводится в виде оксидов углерода, а не воды.

Для гидрогенизации угля применен новый метод добавки катализаторов, заключающийся в использовании микро-количеств (0,05-0,1%) активного водорастворимого молибденового катализатора, геометрические размеры частиц которого соответствуют размерам угольного мультимера [4]. Каталитический комплекс формируется путем применения в составе пастообразователя эмульсии водорастворимых солей металлов и равномерного распределения их при нагревании до температуры 400-430°C в результате взрывов капель эмульсии. Катализатор добавляется в количестве 0,05-0,1% вместо 3-5% в известных процессах. Относительно высокая концентрация катализатора (три-четыре молекулы на макромолекулу угля) при удельной поверхности угля 12-15 м<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> позволяет компенсировать относительно низкое давление водорода (6-10 МПа) и осуществлять глубокое (до 90%) превращение органической массы угля в жидкие продукты при невысоком газообразовании. Это обстоятельство позволяет снизить удельные капиталовложения на стадии гидрогенизации в 4-5 раз по сравнению с зарубежными процессами под давлением до 30 МПа. Разработан и проверен в опытно-промышленном масштабе процесс регенерации молибденового катализатора (95%) путем сжигания шлама процесса и улавливания оксидов молибдена на летучей золе по аналогии с промышленным процессом извлечения германия из углей.

Для очистки газа гидрогенизации от примесей углеводородов C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> применен процесс короткоцикловой безнагревной адсорбции, что позволяет существенно экономить газообразный водород, снизив его расход при ожижении до 3-4% в расчете на уголь. Для производства водорода может быть применен один из известных современных процессов, в частности процесс газификации угля в кипящем слое под давлением 2-3 МПа [5].

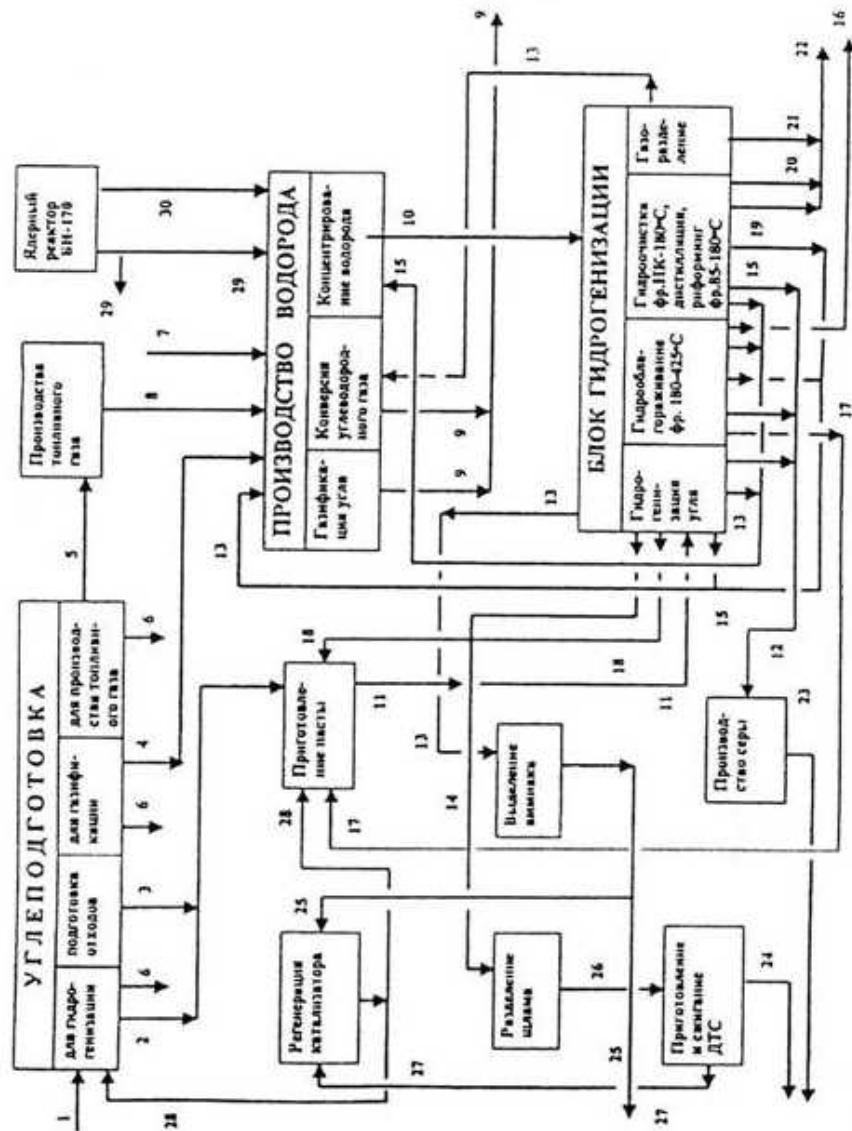
Жидкие продукты из угля (40-45%) состоят в основном из фракций с т. кип. до 360°С, имеют специфический химический состав, по сравнению с нефтепродуктами, и для получения из них моторных топлив, удовлетворяющих современным нормам, требуют применения вторичных процессов, аналогичных используемым на нефтеперерабатывающих предприятиях, однако, с учетом их химического состава. Для этих целей применены новые катализаторы и разработаны условия получения высококачественных бензинов, реактивного и дизельных топлив [6].

Для реализации разработанной технологии потребуется значительное количество оборудования, в т.ч. нестандартизированного, а именно – трубчатые печи, теплообменники, холодильники, пастовые насосы и др., а также арматура, приборы контроля и автоматизации процессов. Институтом ВНИИНефтемаш (Г.В. Мамонтов, А.Г. Вихман, С.Т. Сюзи и др.) разработаны соответствующие конструкции, которые были изготовлены и прошли успешные испытания на Опытном заводе СТ-5 [1]. Выполнены эскизные проекты оборудования для промышленных установок и показана возможность его изготовления на предприятиях химического, нефтяного и атомного машиностроения России.

Принципиальная блок-схема модуля производства 500 тыс. т. моторного топлива в год приведена на рисунке [2] и состоит из четырех групп процессов, а именно- углеподготовки, производства водорода, гидrogenизации, вспомогательных процессов: производства топливного газа, приготовления пасты, разделения шлама, приготовления и сжигания топливно- дисперсной смеси (ДТС), регенерация катализатора, производства сероводорода аммиака. В приведенную схему входит ядерный реактор для выработки электроэнергии и водяного пара (может отсутствовать при наличии энергоисточников или заменены на собственную ТЭЦ на том же угле). Производительность модуля выбрана исходя из возможностей формирования на базе существующего оборудования для однопоточной технологической схемы. Увеличение

мощности предприятия возможно за счет наращивания числа технологических линий и объединения некоторых процессов, а также укрупнения единичных мощностей оборудования сырьевого парка.

СПЕЦИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТОКОВ	
№	Наименование потока
1	Уголь влажный
2	Уголь сухой для приготовления пасты
3	Отходы пластмасс, песчанимической, резинотехнической промышленности
4	Уголь сухой на газификацию
5	Уголь на выработку топливного газа
6	Влага угля
7	Хлорород на газификацию
8	Топливный газ к печам
9	Углекислота
10	Водород
11	Углежасляная паста на гидрогенизацию
12	Сероводород на регенерацию серы
13	Сухой газ на очистку и конверсию
14	Шлам на регенерацию
15	Водоодеждающий газ на концентрирование
16	Длительное топливо, $S < 0,05\%$
17	Гидрооблагороженная фр. 360—425°C на приготовление пасты
18	Остаток на приготовление пасты
19	Фракция НК-85°C на приготовление бензина
20	Фракция платформата 85-180°C на приготовление бензина
21	Фракция С <sub>2</sub> в бензин
22	Бензин АИ-93
23	Сера жидкая
24	Зола
25	Аммиак
26	Шлам на регенерацию молибдена
27	Зольный унос на выделение молибдена
28	Раствор парамонидата аммония
29	Пар от ядерного реактора на производство водорода и другим потребителям
30	Хлмочисленная вода от ядерного реактора на производство водорода



Принципиальная схема модуля производства 500 тыс. т в год моторных топлив



В состав перечисленных стадий (производств) входят технологические печи, в которых сжигается газ собственной выработки. При этом неизбежны выбросы в атмосферу оксидов углерода, серы и азота. Расчеты показывают, что выбросы не превышают ПДК в пределах заводской площадки (1200x1500 м). Однако при больших выбросах возможно наложение их на фоновое состояние атмосферы, что требует соответствующей оценки для конкретной промплощадки. Жидкие продукты гидрогенизации бурого угля малоопасны для здоровья производственного персонала (618 чел.). При эксплуатации оборудования и проведении ремонтных работ достаточны обычные средства защиты кожных покровов и глаз. Сточные воды при производстве не получают, поскольку вода из производств используется для приготовления и сжигания водо-топливных суспензий на стадии утилизации шлама. Вода при этом испаряется, а примеси углеводородов, фенолов и др. вредных соединений сгорают (температура процесса 1500-1700°С). Однако шлак сжигания шлама и газификации угля являются обременительным отходом. Количество их достигнет 400 тыс.т. при переработке 1,6 млн.т. бурого угля в 500 тыс.т. моторного топлива и выработке электроэнергии и пара из угля (5 тыс.квт. ч/т).

В таблице 2 приведено распределение капитальных затрат по отдельным производствам, из которых следует, что удельные капиталовложения составят 510 долл. на 1 т. моторного топлива (оценка выполнена на основании данных 2001 г., поэтому представленные цифры имеют демонстрационный характер и сегодня они могут быть до 1,5 раз выше). В любом случае требуется детальная проработка проекта для конкретного сырья, местоположения и выбранного энергоисточника.

Таблица 2

## Распределение капитальных затрат по производствам [7]

Наименование	Затраты, млн. долл.
1.Инженерная подготовка территории (1200x1500м)	15,5
2.Подготовка угля и пасты	13,1
3.Гидрогенизация угля	17,5
4.Гидрооблагораживание угольных дистиллятов	9,0
5.Производство топливного газа	5,6
6.Производство водорода из угля	7,8
7.Производство водорода из собственного газа	15,3
8.Подсобные объекты	30,3
9.Объекты энергетического хозяйства	9,0
10.Объекты транспорта и связи	7,6
11.Наружные сети, водоснабжение, тепло	5,0
12.Долевое участие в строительстве электростанции	70,5
13.Прочие затраты	47,8
Итого	254,0

Относительно невысокие удельные капвложения на производство моторного топлива из угля обусловлены применением в российской технологии ряда новых высокоэффективных процессов и производств, в частности:

- технологии сушки угля в вихревых камерах;
- вибропомола угля и шлама в диспергаторах;
- доноров-переносчиков водорода для приготовления угольной пасты;
- микроколичеств активных регенерируемых катализаторов при ожижении угля;
- высокоактивных катализаторов на стадии гидрооблагораживания жидких угольных продуктов;
- сжигания водо углемаслянных суспензий в вихревой топке, с утилизацией сточных вод;
- короткоцикловой безнагревной адсорбционной очистки водородсодержащего газа;

- невысокого давления на стадии ожижения угля и гидрооблагораживания угольных продуктов.

В заключении отметим, что рассмотренные сведения получены в результате коллективного труда большого числа сотрудников ИГИ, Грозгипронефтехим, ЗАО «Тулаинжнефтегаз», Тулапроект, ВНИИнефтемаш, Сибгипрошахт, Опытного завода СТ-5 и др., участие которых отмечено в соответствующих публикациях.

Таким образом, в настоящее время в России имеются научно-технические и экономические предпосылки для создания промышленной технологии производства моторного топлива из углей. Эта работа может проводиться совместно с промышленностью Украины и Казахстана, располагающей потенциалом угольного сырья, углеобогащения и машиностроения. При наличии политической воли и финансовой поддержки государств первый промышленный модуль может быть сооружен в ближайшие 5-7 лет.

Остается нерешенным один очень важный узел технологии, а именно – газификация угля. Бывшие достижения в СССР в этом направлении были утрачены в последнее время и требуют восстановления (имеются ввиду работы ГИ АП, ВТИ, ТеплоЭнергопроект, ИГИ и ряда других).

Весьма продуктивным было бы сотрудничество с другими странами, располагающими соответствующим опытом.

Далее демонстрируется несколько рисунков, на которых приведены более подробные сведения о рассмотренном производстве.

## Перечень публикаций

1. Малолетнев А.С., Кричко А.А., Гаркуша А.А. Получение синтетического жидкого топлива гидрогенизацией углей. М. - изд. Недра, 1992-129С.
2. Кричко А.А., Сидоров Г.И., Косушкин В.Г., и др. Производство моторных топлив из угля с применением ядерных технологий - Калуга, Изд. Н.Бочкаревой, 2005-204С.
3. Уланов Н.Н. Оценка низкометаморфизованных углей Сибири как сырья для производства жидких топлив при проведении геологоразведочных работ - М. ВИЭМС, 1988-67С.
4. Баландин А.А. Современное состояние мультиплетной теории гетерогенного катализа. М.: Наука, 1968, 202 с.
5. Прудковский Е.Н., Сафонов Л.П., Варварский В.С. и др. Теплоэнергетика, 1993, № 9, с. 50.
6. Кричко А.А., Нефедов Б.К., Ландау М.В. Гидрогенизация продуктов ожижения угля на НВС катализаторе. Химия твердого топлива, 1990, № 2, с. 64.
7. Кричко А.А., Малолетнев А.С., Заманов В.В. Прогресс в области получения жидкого топлива гидрогенизацией углей. Химия твердого топлива, № 6, 2004, С.32-42.