

Информация

*Рудыка В.И., докт. эконом. наук,
Соловьев М.А., канд. техн. наук, Малина В.П.*
ГП «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРЕДПРИЯТИЙ
КОКСОХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ» (ГП «ГИПРОКОКС»), Харьков

Технологии производства топлив газификацией биоматериалов и отходов

(По материалам саммита «ГАЗИФИКАЦИЯ 2019», Брюссель)

13–14 марта 2019 г. в Брюсселе состоялась конференция «Газификация 2019» (Gasification 2019), организованная компанией ACI (Active Communications International), Великобритания (www.acius.net). В конференции приняли участие представители ведущих энергетических и нефтеперерабатывающих компаний, специализирующихся в сфере газификации и технологий переработки угля и биомассы, защиты окружающей среды, представители деловых кругов.

Программа конференции включала проведение шести сессионных заседаний, на которых были представлены 18 докладов, состоялось их обсуждение за круглым столом. Были рассмотрены регулирующие и директивные документы, оценены потребности ЕС в энергии и прогнозы развития технологий. В докладах обсуждалось состояние технологий газификации в Нидерландах, Франции, Великобритании, Швеции, были представлены работы, выполненные в университетах: Венском технологическом (Австрия), Мюнхенском технологическом (Германия), техническом в Лулеа (Швеция). Ряд презентаций был посвящен работам, проводимым в лабораториях и исследовательских центрах. Был представлен обзорный доклад от компании Shell.

Участникам конференции была предоставлена возможность посетить две установки газификации.

1. Установка по проекту Bio T fuel, расположенная в Dunkirk, Франция, и созданная при партнерском участии компаний Axens,

CEA, IFP Energies Nouvelles, Avril, Thyssen-Krupp Industrial Solutions, Total. Установка предназначена для переработки лигноцеллюлозной биомассы (соломы, лесных отходов, агросырья) с целью получения биотоплива посредством термохимической конверсии.

Целью данной разработки является создание комплексного технологического процесса получения биодизеля и биотоплива второго поколения посредством газификации. Получаемое биотопливо не должно содержать сернистых либо ароматических соединений и может использоваться в чистом виде либо в смеси со всеми видами дизельного топлива или топлива для турбореактивных двигателей.

2. Установка по проекту компании Xylowatt – NOTAR[®], единственный в промышленности газификации проект с газификатором, производящим чистый синтез-газ без смолистых веществ. Расположенная в Бельгии (Monte Godinal), эта установка «от биомассы к энергии» предназначена для производства возобновляемой энергии из натуральной или бывшей в употреблении древесины. В комбинации газификатора с трехгенерационной турбиной производятся электрическая энергия, тепло и холод.

Информация об этих установках содержится в соответствующих презентациях, представленных на конференции.

В качестве пленарного был представлен доклад, подготовленный Европейской ассоциацией биогаза (ЕВА) и компанией Navigant, на

тему «Программные обеспечения (драйверы) для промышленных установок газификации. Регуляторные и директивные документы, потребности ЕС: прогнозы развития технологии газификации». Ассоциация является некоммерческой организацией, объединяющей 38 национальных ассоциаций (членов ЕВА) и 78 ассоциированных членов: компаний, университетов, физических лиц из 30 европейских стран. Основное содержание доклада — получение биогаза и биометана при анаэробном дигерировании и газификацией биомассы, технологии получения биометана.

В докладе основной акцент сделан на производство биометана тремя возможными способами: из «сырой (влажной)» биомассы анаэробным дигерированием с получением биогаза ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$); из «сухой» биомассы газификацией с получением синтез-газа ($\text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4$) и его метанирования; с использованием излишков выработанной электроэнергии с получением водорода и его применением в процессе метанирования.

Отмечены преимущества получения биометана: возможность использования существующей инфраструктуры, гибкость в использовании получаемой энергии, отсутствие сезонной и другой цикличности, возможность использования биометана как сырья для химического производства, экологическая чистота и др.

Приведена информация о росте в Европе емкостей для хранения биогаза как источника энергии, а также об увеличении количества установок по производству биометана в период 2011–2017 гг. По состоянию на 2017 г. общее количество существующих и вновь построенных установок составило 540 шт. Выросло и их количество на душу населения. Приведены цифры по намечаемому росту мощностей установок для производства биометана на период 2030–2050 гг. во Франции, Италии, Швеции, Финляндии, Дании и Европе в целом и карта размещения этих установок в Европе в 2018 г.

В Европе имеется орган, именуемый Европейский регистр (реестр) возобновляемого газа (ERGAR), миссией которого является построение системы независимого, прозрачного и пользующегося доверием учета баланса и передачи через границы биометана, закачиваемого в европейскую сеть природного газа, исключаящего двойной учет и двойную торговлю.

Производство биометана будет непрерывно расти, как и торговля им на интегрированном европейском рынке через газовую сеть природного газа. Эта система должна быть признана Еврокомиссией как созданная на добровольных

началах согласно Директиве по возобновляемой энергии 2009/28/ЕС.

Перечислены три основополагающих момента трансграничного администрирования биометана:

- европейская газовая сеть, состоящая из систем передачи и распределения, считается по отношению к биометану единственным логистическим средством;

- массовый баланс и закачиваемого в Европейскую газовую сеть биометана, и отводимого из сети;

- проверка стабильности (до подачи в сеть) и трансграничная передача требований по стабильности.

К драйверам энергетической политики Европейского Союза ЕВА относит:

- международное обязательство ограничить глобальное потепление не более чем на 2 °С;

- создание в 2015–2019 гг. приоритетного союза с возможностью надежного и с разумными затратами производства дружественной к климату энергии как вклад в будущее Европы;

- усилия ЕС по созданию циркулярной экономики (экономики замкнутого цикла): надежной, с низким выделением углерода, ресурсоэффективной и конкурентоспособной;

- цели ЕС до 2030 г., установленные энергетической директивой RedII: а) 32 % возобновляемой энергии; б) минимум 14 % альтернативных видов топлива в смеси конечного продукта для транспортного сектора; в) ежегодное увеличение на 1,3 % количества возобновляемой энергии в тепловом секторе.

К ним также относится новая редакция Директивы по возобновляемой энергии (RedII), которая предписывает:

- рассматривать биометан как «топливо из биомассы»;

- гарантии происхождения распространяются на возобновляемый газ;

- обеспечение доступа к газовой сети;

- критерии стабильности распространяются на все энергетические секторы (в части сокращения эмиссий от «зеленого» газа, надежности сырьевых запасов и др.).

Драйвером также является так называемый «газовый пакет 2020», охватывающий:

- создание законодательного пакета по дизайну газового рынка (ожидается в начале 2020-х гг.);

- усовершенствованную систему функционирования рынка для всех видов газа с одинаковыми правилами игры;

- понятие «энергетическая смесь», которое должно быть установлено государствами —

членами ассоциации (это необходимо для установления условий рынка ЕС);

- новое определение «газа» (для различных технологий);

- исследований, подлежащих законодательному оформлению, в том числе газовая инфраструктура 2050, объединение газового и электрического секторов и др.

Кроме перечисленного ЕС предстоит:

- по долгосрочной климатической стратегии (от ноября 2018 г.) признать роль газа, полученного из возобновляемых источников энергии, в частности, как топлива для обогрева и использования на транспорте, а также для промышленных нужд (в химической промышленности). Объединение секторов при этом является ключевой задачей;

- ввести в действие в 2022 г. регулирующие документы по использованию удобрений в плане расширения масштабов их применения (включать ли золу газификационных процессов);

- рассмотреть автомобильные пакеты, в частности, стандарты по CO₂ для транспортных средств, исходя из того, что комплексный подход (путь прохождения топлива от скважины до автомобиля) является обязательным для адекватной оценки преимуществ газа, полученного из возобновляемых источников энергии.

Ключевым вопросом относительно энергоносителя остается его конкурентоспособность.

ЕВА приводит данные крупной французской энергетической и газовой компании Engie о сокращении стоимости биометана, полученного в процессе газификации, в 2006–2021 гг. Ожидается, что за этот период стоимость биометана (включающая стоимость биомассы и отходов, капитальные и эксплуатационные затраты) снизится со 170 до 60 евро/МВт·ч.

Специалисты ЕВА приходят к заключению:

- для обеспечения Европы «зеленым» газом необходимо использовать все технологии и их преимущества, которые должны дополнять друг друга;

- газификация биомассы еще не получила поддержку на законодательном уровне.

Учитывая это, ЕВА создает рабочую группу и приглашает промышленников к участию в ее работе.

Сформулированы рекомендации ЕВА в части политики:

- необходимо проводить нейтральную в отношении технологий политику, важным является объединение и интеграция секторов;

- сконцентрировать внимание на вопросах газотранспорта «зеленого» газа и определить задачи ЕС в этом направлении на 2030 г.

В программу конференции «Газификация 2019» была включена презентация консультационной компании Nigman Consulting на тему «Состояние мировой промышленности газификации : Обзор на 2019 год»

Презентации подобного рода являются традиционными для проходящих в США ежегодных конференций по газификации, организуемых Советом GSTC. Последняя презентация о мировой базе данных Совета GSTC по синтез-газу была представлена на конференции по газификации GSTC 2018, состоявшейся 28–30 октября 2018 г. в Бродмур, Колорадо-Спрингс, США.

Далее приводится обзор ряда наиболее представительных презентаций конференции 2019 г., дающих в дополнение к содержащейся в программе конференции информации более полное представление о сути тех или иных направлений газификации возобновляемого сырья.

Голландская компания ECN, входящая в группу TNO, представила презентацию на тему «Развитие газификации в Нидерландах».

ECN имеет опыт создания газификационных установок:

- в Woodspirit для производства биометанола с инвестициями около 500 млн евро;

- установки IGCC в Buggenum с газификацией угля мощностью 253 МВт_{ЭКВ} с технологией Shell. С 2006 г. установка работала на древесине и была закрыта в 2013 г. по экономическим причинам;

- тепловая электростанция германского концерна RWE (газогенератор мощностью 85 МВт·ч, интегрированный в ТЭС на угле), имеющая мощность 600 МВт_{ЭКВ}, с технологией Lurgi. В настоящее время газогенератор отключен;

- установка газификации в циркуляционном псевдооживленном слое (CFB) по технологии Leroux & Lotz с газогенератором мощностью 10–13 МВт·ч на предприятии компании ESKA, производящем высококачественный твердый картон из макулатуры, введена в эксплуатацию в октябре 2016 г. и др.

Кроме того, в предпусковой фазе находятся установки:

- Synvalor с многоступенчатым вихревым газификатором, предназначенная для производства газа с низким содержанием смолистых веществ из сложного для переработки сырья в Mijdrecht;

- Bio Energy Netherland с чистой технологией (без эмиссии) газификации в неподвижном слое, строительство которой начато в ноябре 2017 г.

Приводится перечень демонстрационных установок для газификации древесины от раз-

борки, влажной биомассы, подсушенной биомассы (Amligo Green Gas, SCW Green Gas, TorrGas Green Gas).

В Техническом университете Delft проводятся исследовательские работы по следующей тематике: газификация в вихревом реакторе; суперкритическая паровая газификация влажной биомассы; газификация в псевдооживленном слое подсушенной биомассы; газификация, скомбинированная с твердооксидными топливными элементами (электролитом в которых является керамический материал, проницаемый для ионов водорода).

Приводится перечень лабораторных установок, которыми располагает ESN, тематика выполняемых НИР и схема лаборатории биотоплив, новых разработок (например, переработка отходов с получением метанола в Роттердаме), поставщиков технологий и партнеров, с которыми сотрудничает ESN.

Сделаны выводы о том, что Нидерланды нуждаются в газификации для производства заменителя природного газа. Потребность в нем будет уменьшаться, но его невозможно получить посредством других технологий. Получение тепловой и электрической энергии наиболее целесообразно осуществлять посредством газификации. НИР в области газификации должны быть направлены на производство биотоплив, биохимической продукции и рецикл химпродуктов.

Предусмотренный программой конференции доклад по теме «Проект Bio T fuel: развивающаяся вторая поколение биотоплив» участникам конференции еще не был разослан, поэтому обзор подготовлен на базе полученного в ходе конференции информационного материала.

Целью проекта «Bio T fuel: второе поколение биотоплив» является разработка и маркетинг цепочки технологий, предназначенных для выработки биодизеля и биотоплива второго поколения — продуктов высокого качества, не содержащих сернистых и ароматических соединений и пригодных в чистом виде и в смеси для всех типов дизельных и реактивных двигателей.

Бюджетная стоимость проекта составляет около 180 млн евро, намеченный срок готовности проекта для маркетинга — 2020 г. Проект состоит из двух частей: демонстрационного агрегата подготовки биомассы, который располагается на площадке Sofiproteal в Venette, Франция, и агрегата газификации, очистки и синтеза, расположенного на площадке Dunkirk, Франция.

Под первым поколением биотоплив понимают: а) биодизель, производимый из разнообразных масел (семян подсолнечника, соевого, пальмового) и смешанный с обычным дизелем;

б) этанол, производимый ферментацией сахаров или крахмала и смешанный с бензином.

В настоящее время исследователи и производители работают над созданием биотоплив второго поколения, которые можно получать из непригодных для выработки пищевых продуктов лигноцеллюлозных материалов на базе древесины, соломы, лесных отходов и агросырья. Биотоплива второго поколения можно использовать в чистом виде либо в смеси с обычным бензином, дизелем или реактивным топливом. Проект Bio T fuel предназначен для производства биотоплив второго поколения посредством термохимической конверсии.

Технология Bio T fuel — четырехступенчатый процесс, состоящий из следующих блоков:

— подготовка биомассы (подогрев, подсушивание и пульверизация) с целью возможности ее инжектировать под давлением в низкотемпературный газификатор с псевдооживленным слоем. Технология подсушивания (POLL TORR) разработана Uhde, поставлена компанией ThyssenKrupp Industrial Solutions;

— газификация подсушенной биомассы при температуре 1200–1600 °С в присутствии кислорода с целью получения синтез-газа. Процесс осуществляется в течение 2 с. Газификатор работает под давлением с восходящим потоком и производит синтез-газ высокой степени чистоты. Этот процесс также разработан компанией Uhde для технологии PRENFLO™. Технология уже освоена в промышленном масштабе, однако требует существенных доработок для обеспечения инжекции биомассы в газификатор;

— очистка и кондиционирование синтез-газа. Процесс еще не освоен в промышленном масштабе, осуществляется с помощью специального катализатора;

— получение жидких продуктов переработкой синтез-газа синтезом по процессу Фишера-Тропша.

Институт энергетических технологий — ETI (Великобритания) представил презентацию «Создание и поставка первой в Великобритании промышленной установки для производства сверхчистого синтез-газа». В ней отмечено, что в Великобритании поставлена задача к 2050 г. сократить эмиссию CO₂ на 80 % против 550 млн т CO₂ в 2010 г. Речь идет об эмиссии CO₂ в международной авиации и на морском транспорте, внутреннем транспорте, в строительстве, энергетике и др. Преимущества газификации могут быть реализованы путем очистки синтез-газа. В энергетическом секторе более высокая эффективность достигается при использовании мощ-

ностей порядка 5–10 МВт_{ЭКВ}, здесь можно использовать двигатели внутреннего сгорания. При больших мощностях (20 МВт_{ЭКВ} и выше) более эффективным является использование энергетических установок. При производстве топлив и химической продукции, а также в авиации и некоторых других секторах использование сырого синтез-газа неприемлемо.

В настоящее время в Великобритании имеются три типа газификационных установок: I — без очистки синтез-газа; II — с очисткой синтез-газа, но без удаления смолы с дальнейшим использованием в паровых котлах; III — с очисткой синтез-газа и удалением смолы, что позволяет использовать синтез-газ в ДВС, двигателях, газовых турбинах, в процессах органического синтеза.

В выполненном ЕТИ анализе указывается на перспективность процесса газификации. Городские установки по газификации промышленных и бытовых отходов небольшого масштаба с очисткой получаемого синтез-газа являются потенциально важными технологическими агрегатами с возможностью их распространения в ближайшем будущем.

ЕТИ приводит схему создания демонстрационного проекта установки газификации отходов мощностью 1,5 МВт_{ЭКВ} в Wednesbury, подлежащего вводу в эксплуатацию в 2019 г. Сырьем являются отходы коммерческого, промышленного и муниципального секторов. Для газификации будет использоваться система ETI Flui Max, состоящая из газификатора с псевдооживленным слоем и высокотемпературной очисткой с получением синтез-газа с высоким содержанием водорода. Производство электроэнергии будет осуществляться с помощью специально подобранной газовой турбины. Система будет иметь уникальные средства для испытаний синтез-газа. Ввод намечался на март 2019 г., после чего будут проведены испытания полученного сырья.

Из материалов ЕТИ следует, что биоэнергетика и газификация важны для достижения Великобританией целей по снижению эмиссии CO₂. Не менее важным является то, что в качестве сырья используются в основном отходы (местные и привозные), а также широкие возможности выбора технологий.

Технология газификации является более эффективной по сравнению с другими технологиями, особенно в небольших масштабах. Газификация отходов с использованием синтез-газа в газовой турбине является технически целесообразной. Кроме того, этот процесс конкурентоспособен в сравнении с

другими источниками получения возобновляемой энергии, причем затраты на реализацию процесса сокращаются, в частности, в сфере поставок. Особенно внимательно и взвешенно следует подходить к решению вопросов масштабирования. Менеджмент проекта на всех этапах его реализации, финансирования и легализации также должен быть на высоком уровне.

Несколько презентаций было представлено университетами: Венским технологическим, Мюнхенским техническим и техническим университетом Lulea (Швеция). Ряд презентаций был посвящен исследованиям и разработкам, проводимым в Шведском центре газификации биомассы, в компаниях Chalmers, ECN, Xylowatt.

Ниже приведен обзор презентаций указанных университетов, а также компании Xylowatt. В таблице приводится состав синтез-газа, получаемого в различных процессах газификации.

Венский технический университет представил презентацию «Гибридная система, основанная на термической газификации — «Энергия в газ» (PtG), «Энергия в жидкости» (PtL).

Термическая газификация биомассы рассматривается как источник получения углерода для производства возобновляемых топлив. При конверсии биомассы с целью получения топлив для транспорта полученный продукт характеризуется низким содержанием водорода и повышенным содержанием кислорода.

На рисунке приведена схема использования синтез-газа, получаемого при газификации биомассы.

В презентации рассмотрены и оценены направления, приведенные на рисунке.

Интеграция газификации биомассы в схему «Энергия в газ» (PtG) с получением синтез-газа. Ее преимущества следующие:

- более чем вдвое увеличение использования ресурсов углерода;
- увеличение вдвое выхода синтез-газа за счет добавления электролизного водорода;
- исключение необходимости хранения большого количества водорода;
- осуществление метанирования синтез-газом, получаемым при газификации.

Состав синтез-газа, образующегося при газификации

Газификация	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	N ₂	Q* _{МДж/нм³}
Воздушная в неподвижном слое	13–18	12–16	11–16	2–6	45–60	4–6
Кислородная в восходящем потоке	45–55	10–15	23–28	0–1	0–1	10–12
Паровая в псевдооживленном слое	25–30	20–25	35–40	9–11	0–5	12–14

* Q — Теплота сгорания.



Схема использования синтез-газа, получаемого при газификации биомассы.

В презентации приводятся балансовая схема энергетических потоков получения метана (синтетического природного газа) при вводе в нее дополнительно электролизного водорода и численные данные по увеличению выхода метана. Перечислены основные составляющие экономики процесса, влияющие на цену возобновляемого топлива (стоимость биомассы, инвестиции и операционные затраты, объемы синтез-газа, получаемого метанированием, объемы утилизация тепла и др.). Приведены также экономические характеристики систем PtG. Сделан вывод о том, что в сравнении с природным газом стоимость возобновляемого синтетического природного газа намного выше.

В презентации приведена информация о том, на каких площадках проводились эксперименты по отработке технологии PtG.

Схема «Газ в жидкость» (PtL) с получением продукции с использованием синтеза по Ф-Т. Отработка ее осуществлялась по технологической схеме получения синтетического природного газа (PtG) или продуктов синтеза по Ф-Т (PtL), состоящей из двухслойного парового газификатора и электролизера. При газификации получают газ с соотношением $H_2 : CO = 2$, что является оптимальным для осуществления синтеза по Ф-Т.

При синтезе по Ф-Т использование добавочного водорода из электролизера несколько иное. Принцип основан на рецикле CO_2 , который не выбрасывается в атмосферу, а слу-

жит дополнительным агентом псевдооживления в газификационном аппарате и источником углерода для последующих реакций с электролизным водородом (см. таблицу, где содержание CO_2 в газе при паровой газификации составляет 20–25 %). Это обеспечивает, как указывалось, необходимое для синтеза соотношение $H_2 : CO = 2 : 1$.

Избыточные соединения углерода в продуктах газификации не участвуют в процессе синтеза из-за отсутствия в них водорода. Поэтому увеличение выхода продукции синтеза (почти вдвое) достигается вводом в систему дополнительного водорода извне.

Преимуществами такого решения являются:

- использование избыточной электроэнергии для получения водорода и увеличение выхода ценных продуктов синтеза;
- более глубокая утилизация водорода;
- применение биомассы как основного сырья в непрерывном процессе синтеза.

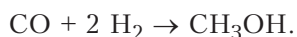
Жидкие продукты синтеза по Ф-Т имеют такие положительные характеристики:

- полученное синтетическое топливо характеризуется высокой полнотой сгорания и низким выходом загрязняющих веществ, что позволяет его использовать для производства авиационного горючего;

- дизельное топливо, полученное из биомассы, может быть использовано в Европе как реактивное топливо в смеси с 50 % авиатоплива.

Производство метанола

Метанол можно получить по реакциям:



К недостаткам производства метанола на основе газификации биомассы относят:

- необходимость хранения водорода для процесса синтеза метанола и последующего его использования;

- отсутствие транспортной инфраструктуры для прямого использования метанола.

К достоинствам процесса относят:

- простоту и эффективность процесса;

- конвертирование метанола в бензин по реакции $n \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow (\text{CH}_2)_n + n \text{H}_2\text{O}$;

- непосредственно использовать бензин в имеющейся инфраструктуре.

Увеличение производства бензина возможно с использованием водорода по схемам:

- аллотермическая паровая газификация;

- автотермическая парокислородная газификация.

Применение биомассы на входе в схему обеспечивает энергетическую мощность установки 100 МВт (низшая теплота сгорания), содержание влаги 50 % (5,92 кг/с сухой биомассы). Выход бензина без использования водорода извне (при паровой газификации, аллотермический процесс) – 51,0–98 МВт; при парокислородной газификации – 51,8–134 МВт.

Выход синтетического природного газа при использовании дополнительного водорода может увеличиться при паровой газификации в 1,9 раза, при кислородной газификации – в 2,6 раза.

Увеличение степени конверсии углерода при паровой газификации – 58,4 %, при кислородной – 79,4 %.

Представляется экономически целесообразным использование водорода при цене 2,7 евро/кг (для паровой газификации) и 2,8 евро/кг (для кислородной газификации).

К препятствиям на пути коммерциализации схем PtG и PtL относят:

- нестабильность наличия избыточной электроэнергии;

- ограниченное время работы (2000 ч/год);

- отсутствие рынка избыточной электроэнергии;

- избыток ветровой и солнечной электроэнергии (например, в Германии);

- отсутствие промышленных твердооксидных электролизеров (SOEC);

- возобновляемые продукты не могут быть конкурентоспособными без снижения имеющихся цен на нефть.

При стоимости электроэнергии 4–5 евроцента/кВт·ч цена синтетического природного газа (SNG) составит 5,7–7,1 евроцента/кВт·ч (при эффективности 70 %) при учете только эксплуатационных затрат. Рыночная цена природного газа составляет 2–3 евроцента/кВт·ч, поэтому SNG в настоящее время не конкурентоспособен.

В презентации сделаны следующие выводы:

- процесс газификации биомассы представляет большие возможности для технологического использования продуктов газификации и получения продукции различного назначения;

- дополнительный ввод в схему процесса водорода, получаемого электролизом на базе возобновляемой энергии, значительно увеличивает выход конечной продукции;

- топлива, полученные из возобновляемого сырья, в настоящее время дороже топлив из ископаемого сырья;

- пришло время, когда надо прекращать сравнивать возобновляемые топлива с ископаемыми только на финансовой основе, надо видеть всю картину.

В презентации содержится ссылка на Задачу 33 Международного энергетического агентства (IEA BioEnergy Task 33), заключающую в себе и гибридную систему, основанную на газификации.

В презентации Мюнхенского технического университета была представлена информация о проводимых в настоящее время исследованиях в области газификации и процессах, основанных на использовании продуктов газификации в соответствии с концепциями PtX/BtX (газификация твердого топлива с получением синтез-газа и товарных продуктов, газификация биомассы с получением химических продуктов).

Презентация университета касалась следующих вопросов:

- требования к газификации в условиях изменяющейся окружающей среды;

- эксперименты в области газификации в различных масштабах;

- повышение качества синтез-газа и конверсия его в топлива и химические продукты;

- моделирование газификации в псевдоожиженном слое и в восходящем потоке;

- интегрированные концепции PtX/BtX для их совместного использования (полигенерации).

В университете проводятся исследования в области конверсии твердого углеродистого

сырья, хранения энергии (с использованием термических и термохимических технологий), разработки в области реализации концепции P-to-X и др. Приводится подробная информация о направлениях исследовательских работ.

Шведским технологическим университетом Lulea была представлена презентация на тему «Четырехлетний опыт производства биодиметилэфира и биометанола — завершенная концепция от древесины к колесному транспортному средству».

Презентация базируется на опыте эксплуатации установки по технологии Chemtec, разработанной одноименной шведской компанией Chemtec. На установке осуществляется газификация черного щелока (черной жидкости) — токсичного побочного продукта производства бумаги из древесины, а также пиролизного масла (тоже после переработки древесины). При сочетании процессов газификации (30 бар, 1050 °С) и синтеза метанола (при 130 бар) и диметилэфира (при 15 бар) произведено более 1500 т метанола (6 т/сут) и более 1000 т диметилэфира (4 т/сут). Конечными продуктами являются топливо (в том числе моторное), химические продукты.

Была проведена проверка на грузовиках Volvo биодиметилэфира в качестве дизельного топлива в смеси со сжиженным газом. Осуществлялась проверка биометанола как автомобильного топлива в компании Otto, а также как топлива для морских судов. Ведутся работы по использованию биомассы в авиации. В качестве сырья ставка делается на большие запасы древесины в Швеции.

Компанией Xylowatt была представлена презентация на тему «От биомассы к энергии. Превращение местной биомассы в возобновляемую энергию посредством технологии NOTAR®».

Работы по созданию технологии берут свое начало в 2001 г. Они проводились в Бельгии (Gedinne, Tournai), Франции (Champagne) и воплотились в проект NOTAR (версия 3) в Mont-Godinne (Бельгия) в 2018 г. В 2016 г. технология была запатентована в Европе, Японии, США.

Краткая схема технологии NOTAR выглядит следующим образом: сырье (биомасса в виде лесных отходов, древесины рецикла, пропиленной древесины) — технология Xylowatt NOTAR® — производство энергии (комбинирование тепла и электроэнергии, обеспечение промышленных предприятий — 2–8 МВт).

NOTAR® имеет целью решать технические, энергетические и экономические задачи и является уникальной технологией для производства

чистого синтез-газа. В ней используется многоступенчатый газификатор с зонами пиролиза и сжигания (с подачей воздуха) и восстановления. Из газификатора выгружается спекшаяся биозола и отводится синтез-газ. В синтез-газе не содержится смолистых веществ, тяжелых металлов и загрязнителей среды. Предусмотрен узел подготовки биомассы перед газификацией.

Синтез-газ отводится из газификатора с температурой 730 °С, направляется на первичное охлаждение в закрытом холодильнике, далее на тканевый фильтр с температурой 120 °С, затем на двухступенчатое окончательное охлаждение до температуры 10 °С и далее потребителям. Холодильники и фильтры составляют узел доведения газа до требуемых параметров (кондиционирования). От этого узла отводится конденсат. От газификатора отводится спекшаяся биозола.

В традиционных газификаторах с псевдоожиженным слоем содержание смолистых веществ в синтез-газе составляет более 1 г/нм³ при нисходящем движении потока и более 100 г/нм³ при противотоке синтез-газа и сырья. В многоступенчатом реакторе NOTAR® с нисходящим движением потока обеспечивается содержание смолистых веществ в синтез-газе менее 50 мг/нм³, отсутствует забивание трубочки и получается чистый конденсат.

Биозола имеет следующий состав (с.в.), %: содержание влаги — 0; минеральные вещества — 15–20; летучие < 5; связанный углерод — 75–80; низшая теплота сгорания (НТС) — 2500–2800 кДж/кг. Зола можно использовать в сельском хозяйстве в качестве обогащающего почву агента, для очистки воды как активированный уголь, как источник дополнительного тепла в качестве топлива (для инъекции в котел на площадке), как древесный уголь (для регулирования НТС).

Относительно эмиссии CO₂ в презентации приводятся такие сравнительные данные: при сжигании ископаемого топлива и при использовании комбинированной турбины (газ/уголь и пар) эмиссия составляет при когенерации газа 251–385 кг CO₂/МВт·ч; при производстве синтез-газа из древесины по схеме NOTAR® когенерация биомассы — 15 кг CO₂/МВт·ч, то есть на 90 % меньше CO₂.

Ожидают, что цены на CO₂ в ЕС будут быстро расти, что ускорит переход к новым формам получения энергии. Технология NOTAR® позволит сэкономить в год 4000 т CO₂ /МВт_{экр.}

Приведены также данные о работоспособности установки — этот показатель составил 88 % при ее эксплуатации в течение 24 недель.

Основные проектные параметры установки:

— при использовании в качестве сырья натуральной древесины и одного газификатора получают синтез-газ для установки энергетической мощностью 2 МВт, при этом получают 750 кВт электроэнергии и 1500 кВт тепловой с использованием энергии синтез-газа и биозола;

— при использовании в качестве сырья древесины рецикла и двух газификаторов получают синтез-газ для установки энергетической мощностью 4 МВт и получают 1500 кВт электроэнергии и 3000 кВт тепловой энергии с использованием тепловой энергии синтез-газа и биозола.

К преимуществам описанной технологии «биомасса в энергию» относят также то, что здесь расход биомассы на 30 % меньше, чем при ее прямом сжигании с получением пара, а также тот факт, что эта технология является безотходной.

Указанная установка газификации биомассы с тригенерационным агрегатом является первой в Бельгии и была построена на условиях «под ключ».

Компанией Shell была представлена презентация на тему «Газификация биомассы и отходов : Обзор технологий» .

Компания широко известна в мире по разработкам и внедренным технологиям: «газ в жидкость» (GtL) (Малайзия, Катар); нефтепереработка (Нидерланды, Германия, Китай, Канада), продажа более 100 лицензий на сооружение различных технологических установок; переработка угля в химические продукты (продажа лицензий на 25 технологических установок Китаю, Вьетнаму, Корею и Австралии).

В настоящее время Shell участвует в реализации амбициозного сценария «Небо» (Sky Scenario) по предотвращению повышения температуры у поверхности Земли не более, чем на 2 °C (имеются также сценарии «Горы» и «Океаны»). В реализации сценария «Небо» Shell отводит ключевую роль биоэнергии и биотопливам. Понимая значимость жидких биотоплив, их огромную гибкость, Shell считает, что если конверсия биометана будет более успешной, то реализация сценария «Небо» осуществится через использование компримированного либо сжиженного биометана для морских судов, железнодорожного и автомобильного транспорта.

Для всех видов транспорта критическая роль принадлежит биотопливам, применение которых активно распространяется для сокращения эмиссии CO₂. Согласно анализу Shell, к 2100 г. производство биотоплив достигнет 30 млн баррелей нефтяного эквивалента в день.

В сценарии «Небо» компании Shell ключевая роль отводится переработке биомассы с улавливанием и хранением углерода, что к 2060 г. в большинстве европейских стран исключит эмиссию CO₂ в атмосферу. В переработке биомассы на первое место ставится ее газификация с получением H₂ и CO, улавливанием CO₂ и его хранением, синтезом топлив и получением жидких топлив.

Переработка биомассы и отходов в жидкие топлива сопряжена с большими капитальными затратами. Чтобы сделать биотоплива более привлекательными, необходимо сократить капитальные затраты на 30–50 %. Для этого необходимо решить такие вопросы:

- сократить количество оборудования;
- сократить количество реакторов и ступеней процесса;
- объединиться с существующими (вновь строящимися) объектами или интегрироваться в них, например, в случае установки по переработке газа в жидкости или установки по переработке нефти.

В презентации приводится два графических примера упрощения технологической цепочки посредством сокращения количества ступеней.

Пример 1. Типичная низкотемпературная газификация с превращением биомассы в CO и H₂ и получением жидких топлив.

Пример 2. Технологический процесс IH2® (биомасса — дробление биомассы — сушка — гидропиролиз — гидроконверсия — выделение продукта (жидкие топлива)).

В этом процессе связь C–H остается ненарушенной, подводится сжатый H₂ и отводится CO₂. Это термохимический процесс превращения биомассы непосредственно в высокочистые углеводородные топлива или их смеси со снижением более чем на 72 % образования парникового газа при всех конфигурациях процесса. Процесс эффективен при небольших объемах производства (менее 1000 т/сут). Из 1000 т древесных отходов получают 260 т углеводородного топлива, 300 т воды, 130 т спекшегося биоостатка, 250 т биогенного CO₂. Жидкое топливо производится в виде бензина, дизеля и реактивного топлива.

В заключение в презентации Shell указывается на значительные возможности газификации биомассы и отходов. Компания Shell готова использовать технологию третьей стороны и реализовать ее при получении от провайдера технологии соответствующих референций, а от Заказчика — интересующих исходных данных по необходимой установке.