

Новые технологии энергоутилизации биомассы как драйверы локальной энергетики

New technologies for energy utilization of biomass as local energy drivers

Виктор ЗАЙЧЕНКО
Заведующий лабораторией, д. т. н., профессор,
Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук (ОИВТ РАН)
e-mail: zaitch@oivtran.ru

Виталий БУШУЕВ
Профессор, д. т. н., генеральный директор ГУ
«Институт энергетической стратегии», главный
научный сотрудник ОИВТ РАН, научный редактор
журнала «Энергетическая политика»
e-mail: vital@guies.ru

Николай НОВИКОВ
Ведущий научный сотрудник, д. т. н., профессор,
Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук (ОИВТ РАН)
e-mail: novikov_nl@ntc-power.ru

Дмитрий СОЛОВЬЕВ
Старший научный сотрудник, к. ф.-м. н.,
Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук (ОИВТ РАН)
e-mail: solovev@guies.ru

Victor ZAICHENKO
JIHT RAS, Moscow, Russia,
Doctor of Technical Sciences,
Head of the Laboratory
e-mail: zaitch@oivtran.ru

Vitalii BUSHYEV
Doctor of Technical Sciences,
Professor, General Director of the State Institution
«Institute of Energy Strategy», Chief Researcher of the
JIHT RAS, Scientific Editor of the journal «Energy Policy»
e-mail: vital@guies.ru

Nikolai NOVIKOV
JIHT RAS, Moscow, Russia,
Doctor of Technical Sciences
e-mail: novikov_nl@ntc-power.ru

Dmitry SOLOVYEV
Joint Institute for High Temperatures of the Russian
Academy of Sciences (JIHT RAS), Moscow, Russia,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences
e-mail: solovev@guies.ru

Аннотация. Авторы рассматривают в статье новые подходы к организации энергетического жизнеобеспечения с использованием местных энергоресурсов на основе применения новых технологий использования биомассы, накопления энергии и водорода.
Ключевые слова: энергетические ресурсы, биомасса, водород, моторное топливо, накопители энергии.

Abstract. The authors consider new approaches to the organization of energy life support using local energy resources based on new technologies for the use of biomass, energy and hydrogen storage.
Keywords: energy resources, biomass, hydrogen, motor fuel, energy storage.

Использование газа с низкой теплотворной способностью в энергетических агрегатах, рассчитанных на высокие тепловые нагрузки, неэффективно

Введение

В последнее время происходит сокращение темпов роста вводимых электростанций большой и сверхбольшой мощности, работающих в региональных системах централизованного энергоснабжения [1]. В то же время развивается локальная энергетика, увеличивается количество генерирующих объектов малой и средней мощности, приближенных к потребителям, с минимальными системами передачи и распределения электрической и тепловой энергии. Многие регионы, такие как Арктика, Крым, Камчатка, Таймыр и др. вообще немыслимы без локальной энергетики. При этом создание автономных электростанций непосредственно для энергоснабжения отдельных потребителей с экономической точки зрения также оказывается более выгодным.



Хранение водорода
Источник: aa-w / depositphotos.com

Энергетическая утилизация биомассы

К биомассе относятся торф, древесные и сельскохозяйственные отходы, а также отходы жизнедеятельности различных видов. Энергетическая утилизация последних, в силу значительного урона, который наносят окружающей среде многочисленными хранилищами данного вида отходов, рассматривается к настоящему времени в качестве одного из приоритетных направлений использования для энергетических целей различных видов биомассы. Промышленных технологий, которые бы позволяли производить эффективную энергетическую утилизацию



Рис. 1. Установка ОИВТ РАН по отработке режимных параметров технологии конверсии местных топливно-энергетических ресурсов в газовое топливо. Мощность – 50 кВт эл.

Эффективных технологий получения электроэнергии из биомассы в установках сравнительно небольшой мощности для нужд распределенной энергетики не существует ни у нас в стране, ни за рубежом

иловых осадков сточных вод (то, что в быту называется канализационными стоками) и ППМ – (пометно-подстилочной массы), отходов крупного рогатого скота в мире нет. А, как известно, ресурсы данного вида сырья в стране значительны. Именно поэтому энергетическая утилизация является приоритетным направлением снижения нагрузки на природное равновесие от отходов жизнедеятельности.

Однако, эффективных технологий получения электрической энергии из биомассы (в том числе из отходов жизнедеятельно-

сти) в установках сравнительно небольшой мощности для нужд распределенной энергетики не существует ни у нас в стране, ни за рубежом [2]. Одним из решений проблемы является получение из биомассы энергетического газа с высокими теплотехническими характеристиками с последующим использованием в газопоршневых или газотурбинных установках для выработки электрической энергии [3].

К настоящему времени известны две технологии получения энергетического газа при термической переработке биомассы: газификация и пиролиз. При пиролизе (нагреве перерабатываемого материала без доступа окислителя) возможно получение энергетического газа с теплотворной способностью до 5000 ккал/м³, побочными продуктами пиролиза является твердая и жидкая фаза. Теплота сгорания получаемой газообразной фазы не превышает 25 % от энергии, аккумулированной в перерабатываемой биомассе. Оставшаяся энергия распределяется между жидкой и твердой фазами. С экологической точки зрения жидкая фаза пиролиза небезопасна, ее переработка, либо утилизация связана со значительным усложнением технологии

и дополнительными затратами. Необходимо разработка технологий получения сухого энергетического газа при термической конверсии биомассы. Недостатком всех автотермических технологий газификации являются низкие потребительские свойства получаемого газа: теплотворная способность не выше 1300 ккал/м³, а адиабатная температура горения – 1400 °С. Получаемый при газификации газ примерно на 50–60 % состоит из водорода и окиси углерода, остальное – азот. При парокислородном дутье показатели улучшаются, но значительно возрастают капитальные вложения и эксплуатационные расходы. Использование газа с низкой теплотворной способностью в современных энергетических агрегатах, рассчитанных на высокие тепловые нагрузки, неэффективно. Для энергетического использования продуктов переработки биомассы необходимо осуществление процесса получения энергетического газа экологически безопасными методами, при этом получаемый газ не должен содержать жидкой фазы и иметь достаточный уровень теплотехнических параметров, обеспечивающий возможность его использования в современном высокоинтенсивном энергетическом оборудовании.

Система производства водорода

Источник: greenbiz.com



Недостатком автотермических технологий газификации является низкое качество получаемого газа: теплотворная способность не выше 1300 ккал/м³, а адиабатная температура горения – 1400 °С

Подобным требованиям соответствуют разработки ОИВТ РАН по новому процессу конверсии биомассы с получением энергетического газа с калорийностью на уровне 2500...3000 ккал/м³ и адиабатной температурой горения 1900...2000 °С [4].

Производство газа и жидких моторных топлив из биомассы

В ОИВТ РАН разработан процесс термической конверсии биомассы [2], [4], [5]. На рис. 1. показана фотография стендовой



Ветродизельный комплекс «Тикси»

Источник: rushydro.ru

установки ОИВТ РАН по отработке режимных параметров технологии конверсии местных топливно-энергетических ресурсов в газовое топливо мощностью 50 кВт эл. В таблице 1 приведены данные, полученные при переработке торфяных пеллет и различных сельскохозяйственных отходов [4].

В принципе, газ, получаемый при этом, имеет аналогичный состав и на 90 % состоит из смеси водорода и окиси углерода, приблизительно, в равных долях. Получаемый по разрабатываемой технологии газ является идеальной смесью для синтеза искусственных жидких топлив из биомассы.

Интерес к этой проблеме в мире значительный. Как известно, в ЕС готовится ре-

шение о частичном использовании к 2035 г. биоавиакеросина в виде авиационного топлива. Технологии получения моторных топлив из биомассы развиваются быстрыми темпами в настоящее время. Сегодня речь идет не только о научных исследованиях, а о практическом использовании жидких моторных топлив из биомассы в различных типах двигателей. Сегодня уже объявлено, что все желающие могут в Осло заправиться биокеросином. У нас был уже пример, когда мы не среагировали на принятие определенных мер, направленных на изменение условий эксплуатации самолетного парка. Имеется в виду ограничения по сокращению шума от самолетных двигателей. Нас прекратили пускать в Европу,

Таблица 1. Применение синтез-газа для производства компонентов жидких моторных топлив, [4]

Сырье для производства синтез-газа	Свойства синтез-газа	
	H ₂ +CO, %	H ₂ /CO*
Древесные пеллеты	92	1
Торфяные пеллеты	90	1,2
Соломенные пеллеты	78	1
Пеллеты из лузги подсолнечника	80	1,2
Помётно-подстилочная масса	83	1,2
Осадки сточных вод	95	1,8
Опил (отходы целлюлозно-бумажного производства)	96	1
Кора древесная	92	1,6

*примечание: оптимальным является соотношение H₂/CO = 1,5~2

В отличие от западных микрогридов, система распределенной генерации в РФ не может резервироваться удаленной сетью. У нас другие расстояния, а многие регионы являются энергодефицитными

и мы были вынуждены поменять свой парк самолётов на импортные самолеты. Теперь готовится принятие решения об обязательном использовании биоавиакеросина. Это также может быть связано с достаточно неприятными для нас последствиями. Биоавиакеросин также должен выпускаться в нашей стране. Для этого, на первом этапе необходимо проведение исследований, результаты которых в дальнейшем смогут быть использованы для создания промышленного производства данного вида топлива в нашей стране.

Эти и многие другие примеры показывают, что эффективное использование

местных ресурсов, в том числе и биоотходов, имеет важное значение не только для автономного энергоснабжения территорий, но и как промышленное производство новых видов продукции.

Накопители как средство интеграции производителя и потребителя

Развитие технологий и средств распределенной энергетики, в том числе возобновляемой (ВИЭ), используемых для построения энергетики геотории, должно проходить по пути создания гибридных энергокомплексов, в состав которых входят энергопроизводящие установки различных типов и устройства аккумулирования энергии. Гибридные энергокомплексы (ветро-дизельные, волно-механические, соляно-тепловые) позволяют эффективно использовать различные местные энергоресурсы, такие как малые месторождения угля и газа, водные ресурсы и ВИЭ [6]. Они могут дополняться и вторичными ресурсами – отходами промышленной деятельности, а также традиционными установками малой энергетики – дизельными, газо-

Газовый двигатель ЯМЗ-530 CNG

Источник: kolesa.ru



поршневыми, гидравлическими. При этом для комплексного использования различного вида ресурсов, преобразуемых затем в электричество и тепло, целесообразно применять накопители, которые позволяют значительно повысить эффективность и надежность энергообеспечения.

Задачи, которые ставятся перед разработкой систем аккумулирования энергии применительно к условиям нашей страны, отличаются от условий в Европейских странах [7]. В отличие от западных аналогов микрогрида система распределенной генерации в нашей стране не может резервироваться удаленной сетью. У нас другие расстояния, при этом значительное число регионов страны являются энергодефицитными.

В этих условиях особая роль в энергетической инфраструктуре, как системной, так и местной, отводится различного рода накопителям энергии, как природным ГАЭС, так и промышленным аккумуляторам (газохранилищам, механическим, электромагнитным, водородным и прочим накопителям). Их роль в новой энергетике сводится не только к резервированию накопленной энергии при переменных графиках работы энергоустановок и потребителей, но и к возможностям регулирования режимов местных энергокомплексов (совместно с потребителями) для обеспечения их надежности и живучести. Системные накопители позволяют по-новому решать задачи межрегиональной и межгосударственной энергетической интеграции с использованием не только высоковольтных ЛЭП, но и газопроводов, транспорта энергии с помощью СПГ, жидкого водорода, угольных брикетов, а в будущем и путем перевозки аккумуляторов большой мощности.

Ориентация на перспективную инфраструктуру с накопителями позволяет использовать различные виды распределенной генерации с помощью новых видов энергии и типов энергетических установок



Международный автосалон Toyota в Бангкоке
Источник: amma12 / Depositphotos.com

Ориентация на перспективную инфраструктуру энергетики с накопителями позволяет использовать различные виды распределенной генерации с помощью новых видов энергии и типов энергетических установок.

Такие накопители, по сути, устраняют одну из главных особенностей электроэнергетики – непрерывность единого процесса выработки и потребления электрической энергии, превращая ее в обычный товар, который можно при необходимости складировать и поставлять потребителю по мере необходимости. Электрическая энергия перестанет быть обособленным товаром на общем энергетическом рынке, а станет внутренним процессом в общей схеме энергетической (энергоинформационной) жизнедеятельности дома, производства и геотории.

Применение накопителей позволяет существенно диверсифицировать не только вид используемой энергии, но и методы ее генерации и использования.

Существует три принципиально различные формы соединения производителей и потребителей электрической энергии:

- розеточное подключение потребителей;
- использование аккумуляторных батарей, встраиваемых в бытовые электрические приборы и промышленные установки;
- развитие активных потребителей – поставщиков избыточной энергии.

Возможно, и даже вероятно, что в будущем все энергоснабжение потребителей определенной территории будет осуществляться либо через встроенные в единый технологический процесс накопители подобно современным бытовым аккумуляторам, либо через централизованные в масштабах городских и местных агломераций общие накопители энергии, позволяющие при этом использовать на стороне генерации различные энергоустановки [1]. Такие схемы использования накопителей от различных энергоисточников для комплексного энергоснабжения городов начинают достаточно широко применяться в Японии [8]. Со стороны потребителей наиболее универсальным, удобным и управляемым оказывается использование электрической энергии, которая сможет заменить у потребителя и газ, и тепло, и холод, обеспечивая комфорт в жилищах, экологически чистый транспорт и высокую производительность труда на производстве. В частности, активное внедрение электромобилей в городах и компактных геоториях позволяет полнее реализовать эффект не только заряда автомобильных аккумуляторов, но выдачу свободной энергии в сеть на зарядных станциях. Электрическая энергия будет объединяться с информационными потоками, а цифровизация позволит интегрировать энергоснабжение и энергопотребление в единый энерготехнологический и энергоинформационный комплекс на уровне локальных территорий (геоторий) [1]. Толь-

Водородная заправка

Источник: MonaMakela / Depositphotos.com



Использование в электрогенерирующих установках малой энергетики тормозится отсутствием надежного оборудования для получения электроэнергии при использовании водорода в качестве топлива

ко в такой интеграции и можно говорить об «умном доме», «умном городе», «умной геотории».

К настоящему времени в мире существует значительное число разработок по созданию различных видов накопителей энергии. [9]. В первую очередь для этих целей рассматривается использование электрохимических аккумуляторов различных типов. Второе направление – топливные элементы, исследованием и разработкой которых занимаются многие научные центры, в т. ч. в России. Несмотря на достигнутые результаты в обоих направлениях исследований и разработок, широкому их внедрению препятствует ряд проблем, связанных со сложностью систем управления и согласования и, пока еще, со значительной стоимостью установок. Более простым и дешевым способом аккумулирования энергии представляются технологии водородного аккумулирования [10].

Водород как промежуточный энергоноситель

Одним из качественно новых видов промежуточного энергоносителя, используемого в различных технологических схемах промышленности и в энергетическом секторе, является водород. Он становится перспективным видом энергии не только в системах тепловой энергетики, а также в накопителях и топливных элементах.

Особых проблем получения водорода за счет излишков производимой электроэнергии или в различных термохимических процессах, в т. ч. в процессах конверсии биомассы, и последующего хранения нет. Однако его дальнейшее использование в электрогенерирующих установках ма-

лой энергетики тормозится отсутствием надежного оборудования для получения электроэнергии при использовании водорода в качестве топлива. Это могут быть парогенератор, работающий на водороде, либо водородный двигатель, используемый в качестве привода генераторных установок [4]. В ряде организаций нашей страны ведутся исследования по созданию энергоаккумулирующих систем на водороде.

В настоящее время основным методом промышленного производства водорода является паровой реформинг природного газа с получением синтез-газа (смеси оксида углерода и водорода) и последующим удалением оксида углерода из синтез-газа путем его конверсии в диоксид углерода, который отделяется от получаемого водорода методом жидкофазной абсорбции. Этот метод хорошо отработан и находит широкое применение в химической промышленности. Однако реализация данного метода в энергетике требует достаточно больших затрат. При этом происходит образование больших количеств диоксида углерода.

Большое внимание уделяется разработке новых методов получения водорода с одновременным производством ценных химических соединений, рыночная стоимость которых компенсирует затраты на производство водорода. Одним из таких методов, реализация которого может иметь большое значение для нашей страны, является переработка попутного нефтяного газа конверсией легких парафиновых углеводородов (газообразных C_2-C_4 или жидких C_5-C_{10}), содержащихся в природном газе, в ароматические продукты на цеолитных катализаторах. Производимые таким образом ароматические углеводороды (бензол, толуол и ксилолы или БТК) находят широкое применение в нефтехимической промышленности.

Другим методом производства водорода одновременно с материалами, имеющими большой спрос на рынках, в том числе международном, является совместная переработка различных видов биомассы с углеводородными газами (природным и попутными) с получением водорода и композита, состоящего из углерода биомассы и углерода перерабатываемых газов.

Процесс совместной переработки биомассы (древесины) и углеводородных газов с целью получения чистых углеродных материалов и водорода осуществляется в две

стадии. На первой проводится термическая деструкция биомассы с получением пористой структуры органического угля, на второй происходит заполнение пористой углеродной матрицы углеродом природного газа с получением монолита с высоким содержанием углерода.

Использование данной технологии является перспективным при организации транспортировки попутного нефтяного и природного газов. Достаточно часто в мировой практике данная задача реализуется при использовании технологии GTL (Gas to Liquid). Во многих случаях получение из природного газа жидкостей в непосредственной близости от мест добычи и дальнейшая его транспортировка в виде жидкого топлива, либо в сжиженном виде является более выгодным, чем перевозка непосредственно природного газа. По аналогии с существующей терминологией для процесса, разрабатываемого в ОИВТ РАН, может быть использовано выражение «природный газ – твердое тело» (Gas to Solid). Т.е. транспортировка природного газа в виде чистых углеродных материалов, получаемых в непосредственной близости от мест добычи с использованием отходов растительного происхождения, которые являются пористой углеродной матрицей для размещения углерода природного газа.

Данный процесс является комплексной технологий переработки природного газа с получением чистых углеродных материалов и водорода и может использоваться для целей водородной энергетики.

В данной технологии водород является сопутствующим продуктом при производстве углеродных материалов высокой чистоты. В отличие от известных технологий затраты на получение водорода в разрабатываемой технологии окупаются за счет одновременного получения углеродных материалов высокой чистоты. По существующим оценкам невостребованный спрос на данные углеродные материалы в металлургической промышленности Западной Европы составляет примерно 8–9 млн т в год.

Новые композитные материалы, получаемые в данном процессе, обладают рядом свойств, которые позволяют их считать перспективными для использования в различных промышленных технологиях. В энергетике – это высококалорийное, экологически чистое топливо. В металлургии новый углеродный продукт позиционирует-



Машина на водороде
Источник: Hydrogen_Council / flickr.com

ся как заменитель углеродных материалов, используемых в сталеплавильном, доменном производствах и в процессах прямого восстановления железа.

Приведенные примеры новых технологий позволяют рассматривать водород не только как энергетический продукт, но одновременно и как многокомпонентный товар, который может стать продуктом дополнительной переработки углеводородных ресурсов в замкнутом цикле – от запасов недр к производству высокотехнологичных продуктов. А вывоз этих продуктов с высокой добавленной стоимостью намного эффективен, чем вывоз сырья.

Использованные источники

1. Бушуев В.В., Зайченко В.М. Энергетика геотории // Региональная энергетика и энергосбережение. 2021. № 3. С. 50–53.
2. Зайченко В.М., Соловьев Д.А., Чернявский А.А. Проблемы и перспективы развития российской биоэнергетики (часть 2) // Окружающая среда и энергетика. 2022. № 1(13). С. 32–47. DOI:10.24412/2658-6703-2022-1-32-47.
3. Зайченко В.М., Цыплако А.И. Перспективы создания отечественного водородного газопоршневого двигателя // Энергетическая политика. 2022. № 10(176). С. 22–33. DOI:10.46920/2409-5516_2022_10176.22.
4. Борзенко В.И., Дуников Д.О. Водородные технологии аккумулирования энергии // Международный Конгресс «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность» 27–28 октября 2015. 2015.
5. Соловьев Д.А., Зайченко В.М., Чернявский А.А. Проблемы и перспективы развития российской биоэнергетики. Часть 1 // Окружающая среда и энергетика. 2021. № 4(12). С. 35–55. DOI:10.24412/2658-6703-2021-4-35-55.
6. Дегтярев К.С., Соловьев Д.А. Проблемы и перспективы развития возобновляемой энергетики России в новых условиях // Энергетическая политика. 2022. № 6(172). С. 56–69. DOI:10.46920/2409-5516_2022_6172_56.
7. Кучеров Ю.Н., Новиков Н.Л. Системные накопители энергии // Инновационная электроэнергетика – 21. Москва: Энергия, 2016.
8. Батенин В.М., Бушуев В.В., Воропай Н.И. Инновационная электроэнергетика – 21. Москва: ИЦ «Энергия», 2017.
9. Бушуев В.В., Новиков Н.Л. Инфраструктурные накопители в энергетике // Энергетическая политика. 2020. № 10(152). С. 74–89. DOI:10.46920/2409-5516_2020_10152_74.
10. Жук А.З., Новиков А.Н., Новиков Н.Л., Фролов В.Д. Водородные и алюмоводородные накопители в электроэнергетике // Энергетическая политика. 2021. № 5. С. 64–79. DOI:10.46920/2409-5516_2021_5159_64.

Заключение

Не умоляя ни в коей мере имеющийся в нашей стране опыт в сооружении централизованных систем энергоснабжения, следует признать, что к настоящему времени, в существующих экономических условиях во многих случаях системы распределенной энергетики обладают лучшими технико-экономическими параметрами по отношению к централизованным системам энергообеспечения.

Очень важно понять, что распределенная энергетика не единственный вариант развития будущего. В энергетике нет альтернатив: или – или. Просто надо представить, что мы переживаем новый энергетический переход – от исключительно централизованной топливной энергетики, которая составляла суть отраслевого экономического развития страны, к новой социально-производственной инфраструктуре развития России. При этом формируется новая сетевая структура с энергопромышленными территориальными центрами – оазисами, в которых на базе местных ресурсов развивается энергетика, являющаяся не просто обеспечивающей отраслью, а составной частью жизнедеятельности замкнутых (локальных) региональных территорий. А соответственно, и выбор конкретных видов и схем энергетики должен определяться их будущим.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № 075–01056–22–00)