

ПЕРСПЕКТИВЫ ГАЗИФИКАЦИИ БИОМАССЫ И НИЗКОСОРТНОГО ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА В ОТЕЧЕСТВЕННОМ АПК

И.А. Оганезов, к.т.н., доцент, М.И. Латушко, к.в.н., доцент

Биомасса — это пятый по производительности возобновляемый источник энергии после прямой солнечной, ветровой, гидро- и геотермальной энергии. Ежегодно на земле образуется около 170 млрд т первичной биологической массы и приблизительно такой же ее объем разрушается. Биомасса — это крупнейший по использованию в мировом хозяйстве возобновляемый ресурс (более 500 млн т у.т./год). Она применяется для производства тепловой энергии, электроэнергии, биотоплива, биогаза (метана, водорода).

Самым распространенным источником биомассы являются растения. Традиционно в сельском хозяйстве использовали древесину, торф и солому. Растения также можно специально выращивать с целью их использования в качестве источника энергии (использовать дикорастущую биомассу). На энергетических плантациях стремятся высаживать быстрорастущие высокоурожайные виды растений. Это могут быть деревья, например ива и эвкалипт, кукуруза, сахарный тростник и соевые бобы. Для получения биомассы также можно выращивать специальные быстрорастущие деревья и травы (сорго, сахарный тростник, просо). Все эти растения можно использовать в качестве топлива, как древесину. В то же время они имеют важное преимущество — относительно короткие сроки между посевом и сбором урожая (от трех до восьми лет).

В зависимости от того, остаются ли растительные остатки после сбора урожая в почве или удаляются с поля вместе с урожаем, они делятся на две основные группы. К первой относятся пшеничная и кукурузная солома, а ко второй — мякина, рисовая шелуха и фруктовая кожура. Учитывая экономические и энергетические факторы, для производства энергии может быть использовано от 90 до 243 млн т сухих остатков. Полевые культуры дают больше растительных остатков, чем овощные. В грубом приближении количество собираемых растительных остатков для данной сельскохозяйственной культуры можно определить путем умножения массы данной культуры на характерную для нее долю остатка (или коэффициент), которая представляет собой отношение сухой массы наземных остатков к массе собранного с полевой влажностью урожая. Ниже приводятся коэффициенты для шести основных сельскохозяйственных культур:

- соевые бобы — 0,55–2,60;
- кукуруза — 0,55–1,20;
- хлопок — 1,20–3,0;
- пшеница — 0,47–1,75;
- сахарная свекла — 0,07–0,20;
- сахарный тростник — 0,13–0,25.

Численные значения данных коэффициентов зависят не только от вида культуры, но и от условий ее выращивания, способов сбора урожая, а также методов определения соответствующего коэффициента.

Потенциал использования отходов сельского хозяйства в качестве источника энергетической биомассы огромен. Не используемые в пищу части растений, остающиеся после уборки урожая, и навоз животных — второй после древесины источник энергетической биомассы в мире. К отходам сельского хозяйства относят: выбрасываемые части зерновых культур (солома), поврежденные при выращивании, сборе или хранении растения, излишки и навоз животных.

По некоторым оценкам, в Китае общее количество биомассы отходов сельского хозяйства примерно в 2,2 раза превышает доступное количество древесины. Ежегодно уборка урожая в мире приносит миллионы тонн соломы, и лишь половина рационально используется. Во многих странах солому до сих пор сжигают, возвращают в почву или используют в пищу скоту. Если использовать эти отходы в энергетических целях, возникает вопрос: какую их часть необходимо вернуть обратно в почву, чтобы обеспечить нормальное ее состояние и будущие урожаи? Опыт развитых государств говорит о том, что около 35 % массы растения можно использовать без существенного влияния на урожайность.

Для производства энергии могут быть использованы также промышленные отходы, содержащие биомассу. Они образуются при производстве спирта, хлопка, тканей и др.

Использование отходов растениеводства в качестве топлива является принципиально новым направлением энергосбережения для Республики Беларусь. Общий потенциал отходов растениеводства оценивается до 1,46 млн т у. т. в год. Потенциально возможное получение товарного биогаза от животноводческих комплексов составляет около 160 тыс. т у. т. в год.

Рациональное использование и удаление твердых бытовых отходов (ТБО), в особенности в крупных городах с пригородами, является одной из важнейших проблем, связанных с охраной окружающей среды от загрязнений. К ним относятся домашние отходы, отходы легкой промышленности и строительный мусор. Для оценки энергетических ресурсов и составления планов сбора и ликвидации отходов необходимо знать их точное количество. Примерно 80 % отходов относится к горючим материалам, из которых 65,6 % имеют биологическое происхождение (бумага, пищевые и животные отходы). Следует иметь в виду, что процентное соотношение отдельных компонент колеблется в зависимости не только от времени года, но и от района, что составляет основную проблему использования отходов в качестве источника энергии. В течение последних десятилетий скорость образования ТБО в мире постоянно увеличивалась. Количество ТБО ежегодно возрастает на 3–6 %. В разных странах на одного жителя обычно приходится от 250 до 700 кг ТБО в год, а в отдельных странах — до 1000 кг в год. В последние годы во многих развитых странах уделяется большое внимание проблеме уменьшения или стабилизации количества отходов. Речь идет об общем ограничении образования отходов, их сортировке, использовании вторичных ресурсов и переработке. Однако уменьшить количество отходов пока не удается.

Существуют три основных способа обезвреживания ТБО:

- прямое сжигание на мусоросжигательных заводах;
- компостирование;
- захоронение на свалках и полигонах ТБО.

Биогаз, или свалочный газ, представляющий собой преимущественно смесь метана и углекислого газа, образуется в толще ТБО в анаэробных условиях в процессе разложения отходов растительного и животного происхождения. Газ горюч и имеет теплотворную способность около 18 МДж/м³. Скорость разложения ТБО зависит от вида отходов и физико-химических условий в теле свалки (влажности, температуры, кислотности и т. д.). Полигоны с большим содержанием бумаги, картона и древесины, характерные для развитых стран, генерируют метан на протяжении 20 лет и более. Полигоны ТБО в развивающихся странах образуют газ более интенсивно (10–15 лет). Это объясняется тем, что ТБО в таких странах содержат больше легкоразлагающихся пищевых отходов.

Потенциальная энергия, заключенная в коммунальных отходах, образующихся на территории Беларуси, равноценна 470 тыс. т у. т. При их биопереработке в целях получения газа эффективность составит не более 20–25 %, что эквивалентно 100–120 тыс. т у. т. Кроме того, необходимо учитывать многолетние запасы отходов на полигонах твердых бытовых отходов. В Беларуси имеется опыт реализации проектов получения свалочного газа с привлечением средств частного инвестора, на полигоне ТБО «Тростенец» — мощность установки 3,0 МВт.

Можно утверждать, что в среднем генерация биогаза заканчивается в свалочном теле в течение 10–50 лет, при этом удельный выход газа составляет 120–400 м³/т ТБО. Общий потенциал биогаза, образующегося из ТБО, в странах ЕС достигает почти 9 млрд м³/год, в США — 13 млрд м³/год. При утилизации метана на всех полигонах ТБО в США его количество могло бы составить 5 % общего потребления природного газа США (или 1 % общего потребления всех энергоносителей).

Свободное поступление свалочного газа в окружающую среду вызывает ряд негативных последствий. Известно много случаев отравления при техническом обслуживании углубленных инженерных коммуникаций. При накоплении свалочного газа могут возникать взрыво- и пожароопасные условия в зданиях и сооружениях. Накапливаясь в пористом слое грунта, биогаз губит растительный покров, вызывая асфиксию корневой системы. Свободное распространение свалочного газа приводит также к загрязнению атмосферы окрестных территорий токсичными соединениями, обладающими, кроме того, неприятным запахом. Накопление свалочного газа в теле свалки зачастую вызывает самовозгорание ТБО. Процесс горения сопровождается образованием токсичных веществ, в частности ди-

оксидов. Кроме того, метан является вторым после углекислого газа по степени влияния на парниковый эффект в атмосфере Земли и, как следствие, на глобальное потепление (доля его влияния составляет около 18 %). Концентрация метана в атмосфере ежегодно возрастает на 0,6 % и за последние два столетия увеличилась более чем в два раза.

Наиболее экономически оправданным является сбор и утилизация свалочного газа на полигонах ТБО и свалках, содержащих более 1 млн т отходов, глубина которых превышает 10 м. Желательно, чтобы значительная часть отходов на полигоне имела возраст менее 10 лет, чтобы территория полигона ТБО была перекрыта слоем грунта толщиной не менее 30–40 см. Доля собранного биогаза по отношению к общему количеству образующегося биогаза обычно равна 65–75 % и в лучшем случае может достигать 85 %. Количество собранного биогаза обычно оставляет не менее 5 м³/год с одной тонны ТБО на протяжении 20 лет.

Стандартная система сбора состоит из сети вертикальных скважин (шурфов), соединенных между собой горизонтальными трубопроводами. Радиус сбора биогаза вокруг скважины обычно равен 10–35 м. Поэтому среднее количество скважин составляет 2,5 скважины на гектар. В зависимости от местных условий выход биогаза может составить от 5–50 м³/ч до 250 м³/ч с одной скважины. Система сбора газа может охватывать всю территорию полигона после окончания его эксплуатации или отдельные его части по мере заполнения.

Если собранный свалочный газ просто сжигается в факелах, то внедрение системы сбора газа является сугубо экологическим мероприятием. С экономической точки зрения целесообразно утилизировать свалочный газ в качестве высококалорийного возобновляемого топлива. Существует два основных способа утилизации: выработка теплоты на месте добычи, а также производство электроэнергии для собственных нужд или для продажи в сеть. В результате газификации биомассы получается горючая смесь водорода, СО, метана и других негорючих газов.

В отличие от газификации угля газификация биомассы происходит при более низкой температуре. Из 1 килограмма биомассы можно получить до 0,6 килограмма биогаза, в котором содержание водорода не превышает 5 % по массе.

Из навоза животных методом метанового брожения получают биогаз. Он на 55–75 % состоит из метана и на 25–45 % из СО₂. Из тонны навоза крупного рогатого скота (в сухой массе) получается 250–350 м³ биогаза. Мировой лидер по количеству действующих установок по производству биогаза — Китай.

Непосредственное сжигание биогаза в котлах сети централизованного теплоснабжения, а также промышленных котлах в радиусе 3 км от полигона, как правило, является наиболее рентабельным способом его утилизации. Существенным фактором, влияющим на экономические показатели проекта, является наличие относительно равномерного потребления биогаза на протяжении всего года.

Другими интересными возможностями утилизации газа на собственные нужды является выпаривание образующегося на полигоне фильтрата, а также обогащение газа до качества природного с дальнейшим использованием в системах газоснабжения или в качестве автомобильного топлива.

Твердое топливо рассматривается как один из основных (в некоторых прогнозах как практически единственный) источников ископаемой энергии на перспективу. Газификация угля является предпочтительной технологией получения энергии из твердого топлива и основной технологией получения химических продуктов, синтетических газов и жидкого топлива. Процесс освоен промышленностью и используется уже более 100 лет. Применение его для производства электроэнергии стало возможным после появления систем, работающих под давлением совместно с мощными газовыми турбинами.

Начиная с 1994 г. ежегодный прирост газификационной мощности превышал 10 %, а с 2000 г. — 14 % (1,5 ГВт/год). К 2000 г. газификационная мощность (по топливу) в мире составляла примерно 40 ГВт. С 2004 г. рост ускорился и составил 2,5 ГВт/год. Исторической предпосылкой и основным стимулом развития газификации угля в мире стало получение химических продуктов и синтетического жидкого топлива. Этот факт находит отражение и в структуре современного производства: доля химической продукции (заменитель природного газа, аммиак) составляет 45 %, синтетического жидкого топлива (СЖТ) — 34 %, электроэнергии — 20 % в суммарном мировом потреблении генераторного газа.

К настоящему времени в различных модификациях отработаны все три типа технологии газификации:

- в плотном слое;
- в потоке;
- в кипящем слое.

Газификация в плотном слое является исторически наиболее ранним и к настоящему времени наиболее отработанным и надежным методом. К ее преимуществам относят высокий химический КПД процесса (до 85 %), высокую надежность газификатора (до 95 %) и предпринятая на его базе (до 91 %). Слоевая газификация реализуется в газогенераторных установках под давлением с сухим (Lurgi DryAsh) или жидким (BGL) шлакоудалением. Кислородный процесс Lurgi DryAsh требует для поддержания сухого шлакоудаления большого количества пара (90 % которого производится во внешнем источнике и только 10 % — в системе охлаждения газогенератора), не используемого в реакции и переходящего в газ (пролетный пар). Поэтому побочным продуктом процесса является значительное количество фенольных (смолистых) вод, нуждающихся в утилизации, например сжигании в самом же газогенераторе или в отдельной топке. Технология водяного охлаждения газа, используемая совместно с этими газогенераторами, является более надежной в сравнении с сухим газоохлаждением, применяемым в ряде установок поточного типа, однако снижает энергетическую эффективность станции. Технология Lurgi: до 1977 г. в мире действовало порядка 30 газогенераторов Lurgi, позже было введено еще порядка 130 шт. Наибольшее распространение технология получила на химических заводах по производству синтетического жидкого топлива по методу Фишера-Тропша. Технология British Gas/Lurgi: газификация в плотном слое с жидким шлакоудалением (горнового типа) разрабатывалась с 1974 г. компанией British Gas/Westfield Development Centre (Великобритания).

Технология поточной газификации начала свое развитие с 1941 г. (Koppers-Totzek, газификация угольной пыли), была запатентована в 1952 г. Газификация по методу Koppers-Totzek в разное время осуществлялась в мире на 77 станциях. В настоящее время поточные газификаторы благодаря значительным перспективам в развитии и существенным достигнутым по мощности и качеству газа (минимальное содержание балласта и смол) показателям являются наиболее приемлемыми для крупных современных как совместных, так и отдельных производств химической и энергетической продукции. Поточные газификаторы поддерживают высокую температуру реакции и используют весьма малое количество пара (который подается для регулирования температуры в зоне реакции — «модерирующий» пар). Первые поточные угольные газификаторы обеспечивали химический КПД не более 70 %, однако к настоящему времени вышли на уровень 75–81 %. Поточные газогенераторы обеспечивают единичную производительность по топливу до 100–200 т/ч и имеют существенные дальнейшие перспективы роста производительности и КПД. По этой технологии получают наиболее чистый газ, в котором практически отсутствуют побочные продукты процесса. Эта технология уже сейчас позволяет создавать блоки ПГУ электрической мощностью до 400 МВт с одним газификатором. Технология накладывает минимальные ограничения на качество топлива и характеризуется высоким термическим КПД. К недостаткам поточной технологии в сравнении с технологией плотного слоя относят меньшую надежность и более высокую стоимость.

Процесс газификации в кипящем слое известен с 20-х гг. прошлого века, однако до настоящего времени не нашел широкого промышленного применения. В ходе своего развития процесс был существенно улучшен и интенсифицирован путем повышения давления. Своей кульминации он достиг в установке HTW (High Temperature Winkler), реализующей технологию высокотемпературной (температура в слое до 950 °С) газификации под давлением порядка 10 кгс/см² на воздушном или кислородном дутье единичной мощностью порядка 140 МВт.

В настоящее время разрабатывается новая технология газификации в КС, в которой высокотемпературный газификатор Winkler совмещен в нижней части с камерой газификации с жидким шлакоудалением (ЖШУ), используемой в газификаторе типа BGL. При этом в одной установке как бы расположено один над другим два газификатора с разным температурным уровнем и раздельной подачей различного топлива.

По методу «транспортного реактора» (известного в промышленности более 70 лет) в США разработана технология TRIG (Transport Integrated Gasification) — газификация в

транспортируемом по замкнутому контуру потоке мелких частиц. Технология предназначена для использования в энергетических ПГУ (на воздушном дутье) и для производства жидкого топлива и химических продуктов (на кислородном дутье). В 2007 г. на ее базе велась работа по двум крупным проектам (285 и 560 МВт электрической мощности) с планируемыми сроками запуска в эксплуатацию в 2010–2013 гг.

Остальные ныне действующие газификаторы с кипящим слоем (но не топки полного сгорания), работающие в основном на воздушном дутье, в энергетике предназначены для газификации биомассы. Новое применение кипящий слой находит в активно разрабатываемых в настоящее время процессах частичной газификации, являющихся весьма перспективными с точки зрения получения КПД угольной электростанции до 46 % по низкой теплоте сгорания.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРО- И ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В АГРАРНЫХ РАЙОНАХ БЕЛАРУСИ

Оганезов И.А., к.т.н., доцент, Трусъ Ю.А., ст. преподаватель

Энергетика Беларуси является жизнеобеспечивающей системой, базовым элементом, гарантирующим целостность и эффективность работы всех отраслей и субъектов отечественной экономики. В государствах, имеющих дефицит собственных энергоресурсов, к которым относится и Республика Беларусь, уделяется большое внимание использованию традиционных источников получения электроэнергии, при этом не упускается из виду и потенциал возобновляемых ресурсов, в частности гидроэнергетических и ветроэнергетических, которые являются экологически безопасными и общедоступными в аграрных районах.

Государственная программа строительства в 2011–2015 годах гидроэлектростанций в Республике Беларусь, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь 17 декабря 2010 года № 1838, главными задачами ставит повышение уровня энергетической безопасности страны путем замещения импортируемых топливно-энергетических ресурсов возобновляемыми источниками энергии, а также снижение экологической нагрузки, обусловленной деятельностью топливно-энергетического комплекса. Ожидается, что выполнение программы позволит к 2015 году достигнуть выработки электроэнергии за счет ГЭС в размере 0,510 млрд кВт·ч в год, а годовая экономия ТЭР по отношению к 2009 году составит 120 тыс. т у.т.

В настоящее время в республике эксплуатируется 41 ГЭС суммарной мощностью 16,1 МВт, которые в 2009 году выработали 44 млн кВт·ч электроэнергии. Самая крупная из действующих ГЭС — Осиповичская — введена в эксплуатацию в 1953 году на реке Свислочь. Ее мощность составляет 2,175 МВт.

Для определения оптимального места строительства гидроэлектростанции необходимо учитывать ряд факторов, и в первую очередь — мощность водотока N , кВт, которая прямо пропорциональна переменным величинам — напору воды H , м и ее расходу Q , м³/с в каждом рассматриваемом сечении (створе):

$$N_{вод} = 9,81 Q H$$

Преобразование потенциальной (реже кинетической) энергии потока с помощью гидроагрегата в электрическую сопровождается гидравлическими, механическими и электрическими потерями, то есть коэффициент полезного действия $\eta < 1$.

Возможный напор обусловлен:

- географическими характеристиками: средним уклоном русла реки и типом местности (горная или равнинная);
- социальными условиями: заселенность территории, наличие транспортных коммуникаций, линий электропередачи и других сооружений, подлежащих переносу или реконструкции.

Расход зависит от времени года, климата, аккумулирующей способности водосбора, количества осадков. Для инженерных расчетов в гидроэнергетике используются статистические данные многолетних наблюдений. При работе на бытовом стоке, то есть без