

И.А. Бокун, д.т.н.,
профессор



П.А. Бушмович,
студентка



Белорусский национальный технический университет

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ И ОРГАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Аннотация

В статье показана целесообразность использования растительной биомассы и органосодержащих отходов для производства тепловой и электрической энергии. Рассмотрены технологии сжигания и газификации растительных и органосодержащих отходов. Приведены технико-экономические показатели производства энергии из растительной биомассы.

Summary

In the article technologies of burning and gasification of a vegetable biomass for the purpose of thermal and electric energy generation are considered. Technical and economic indicators of production of thermal and electric energy from a vegetable biomass are given.

В настоящее время одной из актуальнейших проблем является защищенность страны, ее граждан, общества, экономики от угрозы дефицита экономически доступных и нормативно необходимых энергоресурсов приемлемого качества как в нормальных, так и в чрезвычайных условиях. Эта проблема энергетической безопасности решается путем вовлечения в структуру топливно-энергетического баланса местных возобновляемых ресурсов. Доступными для производства энергии возобновляемыми органическими ресурсами являются: древесина, отходы ее переработки, растительные сельскохозяйственные отходы. Технологии энергетического использования биомассы весьма многообразны.

Наибольшее распространение для производства энергии из растительной биомассы получили технологии ее непосредственного сжигания и технологии термохимической газификации.

В настоящее время как за рубежом, так и у нас разрабатываются и совершенствуются существующие технологии прямого сжигания различных видов топлив растительного происхождения и органосодержащих отходов, а также сжигание их в комбинации с традиционными видами топлива в существующих топочных устройствах.

Перспективной стала технология сжигания растительной биомассы и органосодержащих отходов в топках с кипящим слоем [1]. В этих топках слой инертного материала, обычно кварцевого песка с диаметром частиц около 1 мм и скоростью вращения 1–2,5 м/с засыпается на перфориро-



ванную решетку, через которую подается первичный воздух со скоростью, достаточной для придания слою кипящего состояния. Вторичный воздух подается через несколько сопел, расположенных в начале верхней части топки, так называемом свободном пространстве, над слоем. В топках с кипящим слоем можно сжигать смеси из биомассы различного типа, а также совместно с углеводородным топливом.

С целью повышения эффективности топочных устройств, сжигающих биомассу, на тепловых станциях используют систему конденсации продуктов сгорания, которая кро-

ме высокого потенциала энергии регенерации (до 20% введенной в котел с биомассой) очищает продукты сгорания от твердых частиц. Эффективность очистки может достигать 50–70%. Основной целью системы конденсации продуктов сгорания является получение и эффективное использование скрытой теплоты парообразования, обеспечивающей значительное повышение КПД работы тепловой станции [2].

Охлаждение продуктов сгорания осуществляется за счет контактного или бесконтактного теплообмена с возвращающейся от потребителя тепла водой.

Для сжигания низкосортных или высоковлажных топлив предложена циклонно-слоевая технология [3]. Основная идея ее состоит в организации благодаря применению простых конструктивных решений перераспределения массы топлива по вертикали топки. По сравнению с обычным кипящим слоем в поле силы тяжести, образующийся кипящий слой в поле центробежных сил имеет некоторые особенности. Во-первых кроме скорости газа, нормальной к поверхности обычного кипящего слоя, которая обусловлена расходом газа сквозь слой дисперсного материала, в центробежном кипящем слое имеет место тангенциальное движение газа в камере относительно частиц, что приводит к изменению сопротивления слоя и изменению коэффициента тепло- и массообмена между частицами и газом. Такая организация подвода газа повышает относительные скорости обтекания частиц по сравнению с обычным кипящим слоем.

Во-вторых, значительно отличаются режимы псевдооживления. В обычном слое в поле сил тяжести по мере увеличения скорости газа сквозь слой дисперсного материала слой переходит от плотного состояния к псевдооживленному, и порозность его увеличивается. В центробежном слое, который продувается закрученным потоком в тангенциальной камере, может наблюдаться обратная картина: с увеличением скорости газа слой переходит из псевдооживленного, кипящего состояния, при котором может происходить унос зернистого материала, к плотному состоянию без уноса частиц из слоя.

Третье существенное отличие кипящего слоя в центробежной камере состоит в том, что движение зернистого материала периодически попадает в зону окрестности щели, где аэродинамические силы недостаточны для его псевдооживления.

В процессе сжигания биомассы и твердых органических отходов в слое могут образовываться агломераты спекшихся частиц, каналы, через которые уходят газы, унося отрываемые от стенок канала частицы топлива. Тем самым создаются условия для снижения экономичности работы котла. Одним из путей устранения указанных недостатков является организация пульсирующей подачи воздуха со скоростью, достаточной для придания слою движения.

По характеру и способу создания пульсационные режимы дутья могут быть различными: возбуждение акустических колебаний в камерах пульсирующего горения, газодинамическое воздействие на поток воздуха детонационной камерой сгорания, создание низкочастотных пульсирующих потоков пульсатором.

Сравнение стационарного и пульсирующего слоя показало, что при одинаковой степени расширения слоя унос материала (топлива) в пульсирующем слое был меньшим,



На экономические показатели технологий сжигания оказывают влияние такие факторы как стоимость растительной биомассы, технология ее подготовки к сжиганию, технология сжигания.

чем в стационарном кипящем слое. Это связано с тем, что при среднинеинтегральной скорости фильтрации в пульсирующем слое, на 30–40% меньшей, чем в стационарном кипящем слое, степень расширения слоя будет одинаковой. Кроме того наличие в пульсирующем слое малоактивной стадии, когда отсутствует подача воздуха, обеспечивает снижение уноса.

На экономические показатели технологий сжигания оказывают влияние такие факторы как стоимость растительной биомассы, технология ее подготовки к сжиганию, технология сжигания и др. [2] Стоимость древесной биомассы, получаемой из отходов лесопильных заготовок в Швеции, составляет 3,7 долл. США/ГДж; стоимость щепы лесной древесины составляет 4,3 долл. США/ГДж, стоимость древесных гранул составляет 6 долл. США/ГДж. На стоимость древесной биомассы оказывает влияние расстояние транспортировки. В Швеции стоимость древесной щепы/гранул для мелких потребителей при транспортировке на 50, 100 и 200 км составляет соответственно 4,0/8,3; 4,4/8,6; 5,3/9,1 долл. США/ГДж. В Финляндии стоимость отходов лесозаготовок составляет от 2,3 долл. США/ГДж при транспортировке на 20 км и до 2,9 долл. США/ГДж при транспортировке на 10 км.

Стоимость древесной биомассы в Австрии в зависимости от влажности изменяется от 2,8 долл. США/ГДж (влажная кора), до 8,3 долл. США/ГДж (сухая древесная щепа).

Капитальные затраты для котлов тепловой мощностью 20..50 кВт, работающих на дре-

весной щепе, составляет 320...740 долл. США/кВт, но котлы такой же мощности, оснащенные баком для хранения горячей воды и работающие на дровах, требуют 210...420 долл. США/кВт. Капитальные затраты для котлов, работающих на древесной щепе, тепловой мощностью 100 кВт, оснащенных предтопком тепловой мощностью 40 кВт, – 185...370 долл. США/кВт.

В Дании и Швеции удельные капитальные затраты тепловых станций, работающих на биомассе, включая стоимость здания и системы конденсации продуктов сгорания, – около 320 долл. США/кВт. В Германии с учетом строительства тепловой сети удельные капитальные затраты составляли 530 долл. США/кВт, а в Австрии – 850 долл. США/кВт, но при этом около 50% приходилось на тепловые сети. Себестоимость тепловой энергии на тепловых станциях, работающих на биомассе, в различных государствах разная, так как на нее оказывают влияние многие факторы. На австрийской тепловой станции, сжигающей биомассу, тепловой мощностью 5 МВт, оборудованной системой конденсации продуктов сгорания мощностью 1 МВт, себестоимость тепловой энергии составляет 4,6 цент. США/кВт-ч.

На тепловой станции Баварии (Германия) мощностью 1,1 МВт, работающей на древесной биомассе, покупаемой по цене 3,2 цента США/кВт-ч, с учетом государственных субсидий капитальные затраты с учетом стоимости сооружения тепловой сети составили 530 долл. США/кВт, а себестоимость тепловой энергии без учета государственных субсидий – 4,8 цент. США/кВт-ч, удельные капитальные затраты этой станции составляли 570 долл. США/кВт, а себестоимость тепловой энергии – 7 цент. США/кВт-ч.

В Тюрингии (Германия) в среднем удельные капитальные затраты на сооружение тепловой станции составляли от 174 до 1524 долл. США/кВт.



Себестоимость электроэнергии на ТЭЦ мощностью 3 МВт_э, сжигающих отходы деревоперерабатывающих заводов, а также отходы лесозаготовок, составляла 3,2 цент. США/кВт·ч, а на ТЭЦ мощностью 1 МВт_э себестоимость электроэнергии была выше и составляла 6,4 цент. США/кВт·ч. На ТЭЦ в Италии, сжигающей биомассу, электрической мощностью 5 МВт_э, себестоимость электроэнергии равна 7,2 цент. США/кВт·ч, а на ТЭЦ электрической мощностью 65 МВт_э себестоимость электроэнергии равна 5,5 цент. США/кВт·ч.

Использование растительной биомассы, в особенности древесины, в энергетических целях кроме экологического и экономического эффекта обеспечивает значительный социальный эффект за счет создания новых рабочих мест. Отмечается, что занятость населения в процессе энергетического производства составляет 700 мест/ТВт·ч.

Растительная биомасса отличается высоким выходом летучих веществ, поэтому с целью эффективного использования ее в энергетике целесообразным представляется термохимическая газификация. Слоевая газификация при атмосферном воздушном или паровоздушном дутье является наиболее проверенным способом. Для установок малой мощности не выше 5 МВт могут быть применены газогенераторы с неподвижным слоем, которые просты в обслуживании, но при этом производят низкокалорийный газ.

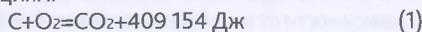
Газификация растительной биомассы позволяет упростить энергетическую схему установки, так как получаемый из нее гене-

Для производства электрической энергии из растительной биомассы могут использоваться парогазотурбинные установки с внутрицикловой газификацией растительной биомассы в кипящем или пульсирующем слое.

раторный газ может непосредственно использоваться в двигателях внутреннего сгорания или газовых турбинах. Известен ряд схем и режимов газификации, которые отличаются способом подачи топлива, направлением движения рабочих сред, видом окислителя и многими другими факторами.

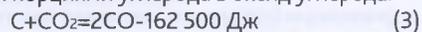
Газификация представляет собой универсальный способ превращения любого топлива, в том числе и низкосортного, в высококачественное газообразное топливо. Таким образом, газифицировать можно все виды как природного, так и искусственного твердого топлива: дерево, солому, бурые угли, горючие сланцы, древесный уголь, органические твердые бытовые отходы.

В газогенераторе при подаче воздуха в окислительной зоне происходит реагирование углерода топлива с кислородом и одновременным образованием CO и CO₂ по реакциям:



От условий протекания процесса зависит соотношение между количеством образующихся оксидов углерода. В восстановитель-

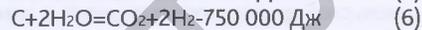
ной зоне газогенератора образующийся диоксид углерода восстанавливается новыми порциями углерода в оксид углерода:



При избытке кислорода оксид углерода может доокислиться до образования диоксида:



В газогенератор вместе с воздухом могут подаваться водяной пар, тогда протекают следующие реакции:

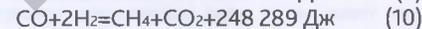
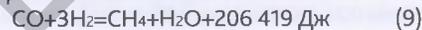


В образующемся газе содержатся два горючих компонента: оксид углерода и водород.

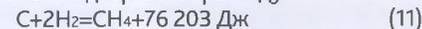
В газовой фазе возможны реакции между водородом и кислородом, между оксидом углерода и водяным паром:



В процессе взаимодействия CO и H₂ может образовываться метан:



Этот метан под термическим воздействием подвергается распаду:



Кроме перечисленных реакций в процессе газификации могут происходить и другие реакции с элементами, содержащимися в газифицируемой биомассе и составе дутья:



Таким образом, видно, что газификация представляет собой сочетание гетерогенных и гомогенных процессов с возможным последовательным и параллельным протеканием этих реакций. Механизм процессов, протекающих в газогенераторах, очень сложный и до конца не выяснен.

Преимуществом газификации растительной биомассы по сравнению с прямым сжиганием является образование намного меньших объемов газа, подлежащего очистке. Газификация биомассы и последующее сжигание генераторного газа снижает эмиссию N.

В процессе воздушной газификации получается генераторный газ с высшей теплотой сгорания 4..6 МДж/м³. Этот газ может использоваться в котлах, газовых двигателях или турбинах. При газификации с использованием кислорода можно получить газ с теплотой сгорания 10..18 МДж/м³, который пригоден для использования в качестве синтез-газа с целью получения метанола и газалина.

Существует ряд технологий газификации биомассы [4]. Особенностью газификации в плотном слое с нисходящим движением газа является нисходящее движение через опускающийся плотный слой сырья. Эта технология обеспечивает получение чистого газа с содержанием смол 50..500 мг/м³.

При газификации в плотном слое с восходящим движением газа, когда биомасса опускается вниз, а газ движется вверх, просушивая биомассу, преимуществами генератора с восходящим движением газа является простота конструкции и высокая термическая эффективность. Газ, получаемый по этой технологии, содержит значительное количество смол, поэтому требует существенной очистки. Газификация в плотном слое с поперечным движением газа сходна с газификацией с нисходящим движением газа. Воздух или другая среда подводится в газогенератор через боковую стенку в нижней части корпуса, а отводится из газогенератора с противоположной стороны.

Генераторы с кипящим слоем имеют ряд отличительных особенностей, которых нет в газогенераторах с плотным слоем, в том числе высокие коэффициенты тепло- и массообмена, хорошее перемешивание твердой фазы, которое улучшает протекание химических реакций и обеспечивает близкую к постоянной температуру слоя. Флюидизирующим инертным материалом, который в какой-то мере предотвращает спекание биомассы в

кипящем слое, может быть силикатный песок, глинозем, а также оксиды других тугоплавких металлов. Рабочая температура газификации растительной биомассы – 800...850°C.

Следует отметить, что газогенераторы с кипящим слоем имеют те же недостатки, что и топки с кипящим слоем: образование агломератов спекшихся частиц, каналов, унос мелких частиц из слоя и др. Для устранения этих нежелательных явлений эффективной мерой может быть газификация в пульсирующем слое, пульсирующем потоке.

Для производства электрической энергии из растительной биомассы могут использоваться парогазотурбинные установки с внутрицикловой газификацией растительной биомассы в кипящем или пульсирующем слое. В фермерских хозяйствах зарубежных стран успешно используют установки электрической мощностью 100–300 кВт, включающие в себя газогенераторы плотного слоя и систему очистки генераторного газа. На установках фермерского масштаба главную роль играют расходы на оплату труда обслуживающего персонала, для более крупных установок преобладают капитальные затраты.

Наибольший КПД выработки электроэнергии, около 47%, достигается в парогазовой установке средней мощности с внутрицикловой газификацией биомассы.

Себестоимости производства электроэнергии, полученной из растительной биомассы путем газификации, и производства в традиционном паровом цикле при электрической мощности свыше 30 МВт, почти равны между собой.

Литература

1. Анискин В.И., Голубкович А.В., Сотников В.И. Сжигание растительных отходов в псевдоожигенном слое // Теплоэнергетика. – 2004. – №6. – С. 49–54.
2. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и электроэнергии. // Экология и ресурсосбережение. – 1999. – №6. – С. 3–12.
3. Пицуха Е.А. Сжигание твердого биотоплива в циклонно-слоевой топочной камере: Автореф. дис. канд. тех. наук. – Минск, 2012. – С. 22.
4. Попов А.В., Рыжков А.Ф. Управляемый процесс газификации биомассы. // Промышленная энергетика. – 2008. – №1. – С. 27–31. ■