

ЛИТЕРАТУРА

1. *Накорчевский А.И., Басок Б.И., Беляева Т.Г.* Проблемы грунтового аккумулирования теплоты и методы их решения// Пром. теплотехника. – 2003. – Т. 25 – № 3 – С. 42–50.
 2. *Накорчевский А.И.* Динамика грунтового аккумулирования теплоты и выбор рациональных решений // ИФЖ. – 2004.–Т. 77. – № 4. – С. 10–19.
 3. *Накорчевский А.И., Басок Б.И., Беляева Т.Г.* Моделирование аккумулирования–разряжения теплоты в неограниченном грунтовом массиве // Труды V Минского международного форума по тепломассообмену – 2004. – Т. 3 – доклад 21, С. 3–21.

4. *Недбайло А.Н.* Экспериментальная установка по исследованию грунтового аккумулирования теплоты// Пром. теплотехника. – 2004. – Т. 26 – № 6 – С. 182–183.

5. *Недбайло А.Н., Коломейко Д.А.* Автоматизированное измерение тепловых параметров различных энергетических объектов при помощи аппаратно-программного комплекса// Тезисы IV Международной конференции “Проблемы промышленной теплотехники”. – 2005. – С. 357–358.

6. *Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник/* Под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина – 3-е изд. – М.: МЭИ, 2001 – 564 с.

Получено 12.01.2006 г.

УДК 662.76

ЖЕЛЕЗНАЯ Т.А., ГЕЛЕТУХА Г.Г.

Институт технической теплофизики НАН Украины

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГАЗИФИКАЦИИ БИОМАССЫ

Виконано аналіз сучасних технологій газифікації біомаси. Зібрано дані по існуючим у світі демонстраційним і комерційним газифікаторам, що виробляють теплову енергію. Показано, що газифікація біомаси з отриманням теплоти вже досягла комерційного рівня і є конкурентоспроможною з іншими технологіями. Представлено огляд сучасних науково-дослідних робіт, що проводяться у даній галузі. Ці роботи спрямовано як на розробку нових технологій газифікації біомаси, так і на вдосконалення і модернізацію відомих старих конструкцій газифікаторов. Розглянуто економічні аспекти роботи газифікаційних установок.

Выполнен анализ современных технологий газификации биомассы. Собраны данные по существующим в мире демонстрационным и коммерческим газификаторам, вырабатывающим тепловую энергию. Показано, что газификация биомассы с получением теплоты уже достигла коммерческого уровня и является конкурентоспособной с другими технологиями. Представлен обзор современных научно-исследовательских работ, проводимых в данной области, которые направлены как на разработку новых технологий газификации биомассы, так и на совершенствование и модернизацию известных старых конструкций газификаторов. Рассмотрены экономические аспекты работы газификационных установок.

Modern technologies for biomass gasification are analyzed. Data on existing in the world demonstration and commercial units for biomass gasification for heat production are collected. It is shown that biomass gasification for heat production has already reached commercial level and is competitive with other technologies. Review of research and development work in this area is presented. The work is directed at the development of new biomass gasification technologies as well as at improving and modernizing well known old constructions of gasifiers. Economic aspects of gasification units are considered.

БМ – биомасса;
 ВДГ – восходящее движение газа;
 ГГ – генераторный газ;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;
 КПД – коэффициент полезного действия;
 КС – кипящий слой;

НДГ – нисходящее движение газа;
 ПГТУ ВГ – парогазотурбинная установка с внут-
 рицикловой газификацией биомассы;
 ПДГ – поперечное движение газа;
 ТБО – твердые бытовые отходы;

Термохимическая газификация представляет собой процесс частичного окисления углеродсодержащего сырья, такого, как биомасса, торф или уголь с получением газообразного энергоносителя – генераторного газа. Полученный газ состоит из монооксида углерода, водорода, метана, диоксида углерода, небольшого количества углеводородных соединений более высокого порядка, таких как метан и этан, содержит пары воды, азот (при воздушном дутье) и различные примеси, такие как смолы, частицы углистого вещества и золы. В качестве окислителя при газификации могут использоваться воздух, кислород, пар или смеси этих веществ. Максимальная температура процесса составляет 800...1300 °С.

При воздушной газификации производится генераторный газ с высшей теплотворной способностью 4...6 МДж/м³ (низкокалорийный газ). Этот газ можно сжигать в котлах, после очистки – в газовых двигателях или турбинах, но он не пригоден для транспортировки по трубопроводу ввиду низкой энергетической плотности. Газификация с использованием кислорода дает среднекалорийный газ (10...12 МДж/м³), пригодный для ограниченной транспортировки по трубопроводу и для использования в качестве синтезгаза с целью получения метанола и газаolina. Среднекалорийный газ (15...20 МДж/м³) может быть получен также путем паровой (пиролитической) газификации. Это двухстадийный процесс, реализуемый в двух реакторах кипящего слоя. Наиболее широко в настоящее время применяется воздушная газификация. При этом исключаются все затраты и трудности, связанные, во-первых, с производством и использованием кислорода, во-вторых, с необходимостью двух реакторов при паровой газификации [1].

По типу слоя сырья и способу подвода окислителя основные технологии могут быть разделены на газификацию в плотном (неподвижном) слое с восходящим/ нисходящим/ поперечным движением газа, газификацию в кипящем слое

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;
 ЦКС – циркулирующий кипящий слой.

Индексы

т – тепловой;
 э – электрический.

(стационарный КС, ЦКС, два реактора КС) и газификацию в потоке. Детальная характеристика этих технологий приведена в [2].

Характерной чертой реактора с НДГ является движение газа вниз через опускающийся плотный слой сырья. Такая технология обеспечивает получение относительно чистого генераторного газа с содержанием смол 50...500 мг/нм³. ГГ может использоваться в газодизельных электростанциях небольшой мощности. В газификаторах плотного слоя с ВДГ биомасса, поступающая сверху вниз, сначала просушивается ГГ, который движется вверх. Затем твердое сырье пиролизуется с образованием углистого вещества, которое продолжает двигаться вниз и проходит стадию газификации. Парообразные продукты пиролиза уносятся вверх горячим ГГ. Смолы, содержащиеся в этих продуктах, конденсируются на холодном опускающемся сырье или уносятся из реактора произведенным газом. Таким образом, концентрация смол в генераторном газе увеличивается и может достигать 10...100 г/нм³. Ввиду значительного содержания смол, без дополнительной очистки газ может только сжигаться в котле, расположенном в непосредственной близости от установки. Газификаторы с ПДГ в работе во многом сходны с газификаторами с НДГ. Воздух или смесь воздуха с паром подводится в реактор через боковую стенку в нижней части корпуса реактора. ГГ отводится из реактора с противоположной стороны. Широкого распространения газификаторы данной конструкции не получили.

Отличительными особенностями газификаторов с КС по сравнению с реакторами плотного слоя являются высокие скорости тепло- и массопереноса и хорошее перемешивание твердой фазы, что обеспечивает высокие скорости реакции и близкую к постоянной температуру слоя. Частицы сырья должны быть более мелкими, чем при газификации в плотном слое, то есть необходимо дополнительное измельчение. Реакторы с

КС — единственный вид газификаторов, работающих с изотермическим слоем сырья. Производится ГГ с содержанием смол 5...10 г/нм³, что является средним показателем между газификацией с ВДГ и НДГ. При газификации в ЦКС частицы, унесенные из реактора потоком газа, отделяются от ГГ в циклоне и возвращаются обратно в слой для увеличения степени конверсии углерода. Произведенный ГГ в большинстве коммерческих приложений используется для сжигания в котлах. Технология газификации биомассы в КС и ЦКС может быть реализована как при атмосферном, так и при высоком давлении. Установка, работающая под давлением, является существенно более сложной и дорогостоящей по сравнению с атмосферной газификацией. Преимущества этой технологии проявляются при использовании в крупных парогазотурбинных установках с внутрицикловой газификацией БМ. В этом случае не требуется дополнительного сжатия ГГ перед подачей в камеру сгорания газовой турбины.

Установка с двумя реакторами КС позволяет получить ГГ с более высокой теплотворной способностью, чем в случае одного КС с воздушным дутьем. Первый реактор по своей функции близок к пиролизеру. Теплота приносится в него горячим песком, циркулирующим между двумя реакторами. Смесь генераторного газа, углистого вещества, золы и песка из газификатора поступает в циклон, где твердая фракция отделяется и попадает во второй реактор с КС (камеру сгорания). Углистое вещество сгорает, а нагретый песок возвращается в первый реактор. Произведенный генераторный газ имеет высокую теплотворную способность, однако содержит много смол, поскольку процесс конверсии сырья близок к пиролитическому.

При газификации в потоке частицы сырья захватываются потоком окислителя (обычно кислорода или пара). Образующаяся суспензия проходит по всей длине реактора, где и происходит процесс газификации. При газификации в потоке генераторный газ содержит мало смол. До настоящего времени имеется небольшой опыт работы с БМ в таких установках.

Среди других видов реакторов можно выделить [1]:

— Реактор с движущимся слоем (горизонтальный слой, наклонный слой, многокамерная

печь, печь со шнеком): механическое перемещение слоя сырья. Газификация в таком реакторе обычно является низкотемпературной.

— Вращающуюся печь: в основном используются для переработки отходов ввиду хорошего контакта газа и твердых частиц и хорошего перемешивания сырья. Необходима тщательно продуманная конструкция для избежания уноса твердых частиц.

— Циклонные и вихревые реакторы: высокие скорости движения частиц обеспечивают высокие скорости протекания реакций. Циклонные газификаторы отличаются простотой конструкции. Однако они лишь недавно стали применяться для конверсии биомассы, и технология еще не до конца отработана.

Обзор коммерческих и демонстрационных установок газификации БМ с целью выработки теплоты в Европейских странах и США

Газификация БМ с целью получения тепловой энергии достигла коммерческого уровня. Это означает, что производители соответствующего оборудования дают гарантию на свою продукцию, а сама технология является конкурентоспособной с другими технологиями производства теплоты. Наиболее известными сегодня являются газификаторы с ВДГ Bioneer компании Bioneer Oy (теперь Foster Wheeler Energia Oy, Финляндия) и реакторы PRM Energy Systems, Inc. (США), газификаторы с ЦКС Pyroflow компании A. Ahlstrom Oy (теперь Foster Wheeler Energia Oy) а также компаний Lurgi Energie und Umwelt (Германия) и TPS Termiska Processer AB (Швеция). Foster Wheeler Energia Oy входит в состав Foster Wheeler Corporation с главным офисом в США [3]. Кроме упомянутых выше, в мире имеется около 25 производителей газификаторов с НДГ и более 10 производителей газификаторов с КС и ЦКС; ряд компаний выпускает реакторы с ВДГ и другие виды. Производители газификаторов с НДГ — это в основном мелкие компании, выпускающие газификационные системы небольшой мощности (реактор + двигатель внутреннего сгорания) и уже соорудившие 1-2 демонстрационные установки. Среди крупных

производителей газификаторов можно выделить PRIMENERGY Inc. (США, ВДГ), Babcock & Wilcox Volund ApS (Дания, ВДГ), KARA Energy Systems BV (Нидерланды, НДГ, КС), Kvaerner Pulping AB Power Division (Швеция, ЦКС), Future Energy GmbH (Германия, НДГ, газификация в потоке). В табл. 1 собраны данные о действующих в Европе, США и других странах коммерческих и демонстрационных установках для газификации БМ с целью выработки теплоты (и электроэнергии). На установках, производящих только тепловую энергию, генераторный газ в основном сжигается в котлах или используется в печах для обжига извести.

Газификатор Bioneer с восходящим движением газа.

Газификатор Bioneer с ВДГ был разработан в Финляндии компанией VTT в сотрудничестве с SME Company. Bioneer производит низкокалорийный генераторный газ с большим содержанием смол. Генераторный газ может применяться на тепловых станциях 1...15 МВт_т и мини-ТЕЦ 1...3 МВт_э, на дизельных электростанциях после каталитической очистки, а также в сушильных и технологических печах. В 1982-1986 гг. были построены девять газификаторов Bioneer (4...5 МВт_т) и введены в эксплуатацию на коммерческом уровне в Финляндии и Швеции. Практически все они до сих пор работают: восемь — на тепловых станциях малой мощности, один — в паре с сушильной печью. Производитель газификаторов — компания Bioneer Oy — была выкуплена корпорацией A. Ahlstrom Oy, затем Foster Wheeler Energia Oy приобрела A. Ahlstrom Oy, после чего в 1996 г. была построена десятая тепловая станция с газификатором Bioneer в Pomantsi (Финляндия). Позднее газификаторы Bioneer в эксплуатацию не вводились, хотя сейчас компания Condens Oy (Финляндия) представляет на рынке современную модификацию этого газификатора. Газификаторы Bioneer полностью автоматизированы и достаточно терпимы к характеристикам используемого сырья (фракционный состав, влажность). Поскольку эти газификаторы работают только с целью получения теплоты, большое содержание смол и пыли в генераторном газе не вызывает проблем. В настоящее время технология газификации, подобная Bioneer,

предлагается также компанией Carbona Oy (Финляндия) [4].

На тепловой станции Kauhajokki (Финляндия) мощностью 5 МВт_т газификатор Bioneer работает в паре с котлом. Газификатор состоит из питателя, шахтного реактора, футерованного огнеупорным материалом и вращающейся конусной решетки. Сырье подается в газификатор сверху и, перемещаясь вниз, проходит последовательно зоны сушки, пиролиза, газификации и горения. Зола, оставшаяся после горения, удаляется через решетку в нижней части газификатора. Температура в зоне горения регулируется путем изменения влажности воздушного дутья. Воздух и пар подаются в газификатор снизу через вращающуюся решетку. Генераторный газ по короткой теплоизолированной трубе поступает в горелку, сконструированную специально для сжигания низкокалорийного газа. На тепловой станции Kauhajokki, как и на всех других тепловых станциях с газификатором Bioneer, генераторный газ сжигается в котле с целью выработки горячей воды, которая подается потребителям. Вследствие высокого уровня содержания смол, газ, произведенный Bioneer, не может транспортироваться на большие расстояния или непосредственно использоваться в двигателях внутреннего сгорания [4, 5].

В середине 1980-х гг. VTT и Bioneer Oy провели широкомасштабные исследования по газификации различных видов сырья, таких как древесная щепа, лесные отходы, торф, солома, гранулы из горючей части ТБО, смесь угля с древесной щепой, смесь горючей части ТБО с древесной щепой. Исследования были выполнены на пилотном газификаторе Bioneer мощностью 1,5 МВт_т. Содержание пара в воздушном дутье поддерживалось в пределах 0,15...0,19 кг H₂O/кг сухого воздуха. Мощность газификатора при проведении исследований составляла 50...100 % от номинальной мощности. Типичный состав генераторного газа при работе на древесной щепе влажностью 41 %: CO 30 %, H₂ 11 %, CH₄ 3 %, N₂ 49 %; высшая теплота сгорания 6,2 МДж/нм³. Концентрация смол в сухом генераторном газе находилась в диапазоне 50...100 г/нм³.

Сырье, перерабатываемое газификаторами Bioneer, должно удовлетворять следующим требованиям (спецификация производителя): мак-

Табл. 1. Коммерческие и демонстрационные газификационные установки, вырабатывающие теплоту [3, 4, 7, 10, 16]

Газификатор, компания	Расположение	Сырье	Мощность
Газификаторы с неподвижным слоем и восходящим движением газа			
Газификатор Bioneer компании Bioneer Oy (теперь Foster Wheeler Energia Oy), Финляндия	10 установок (Финляндия, Швеция)	Древесина/торф	4...6,4 МВт _т
PRM Energy Systems (США)	19 установок (США, Австралия, Малайзия, Коста-Рика, Италия)	В основном шелуха риса, на установке в Италии — жмых маслин	3,5...12 МВт _т (0,225...3,8 МВт _э)
PRIMENERGY Inc. (США)	Jonesboro (США)	Шелуха риса	16 МВт _т
	Tulsa Oklahoma (США)	Древесина, шелуха риса	4,5 МВт _т
	Stuttgart (США)	Шелуха риса	63 МВт _т + 12 МВт _э
	Grinville (США)	Шелуха риса	17,5 МВт _т + 6,5 МВт _э
Babcock & Wilcox Volund ApS (Дания)	Harboore (Дания)	Древесная щепа	4 МВт _т + 3 МВт _э
	Kyndby (Дания)	Древесина, солома	1 МВт _т
	(экспериментальный)		
	Haslev (Дания)	Отходы с/х	2,7 МВт _т
	Nyborg (Дания)	Древесные отходы	0,7 МВт _т
Entimos Oy, Финляндия (газификатор: комбинация ВДГ и НДГ)	Tervola (Финляндия)*	Древесные отходы	1,1 МВт _т + 450 кВт _э
Condens Oy, Финляндия (газификатор Novel: комбинация ВДГ и ПДГ)	Kokemaki (Финляндия)*	Древесные отходы	4,3 МВт _т + 1,8 МВт _э
Daneco-Danieli (Италия)	Villasantina (Италия)*	Древесная щепа	3 МВт _т + 0,62 МВт _э
Газификаторы с неподвижным слоем и нисходящим движением газа			
Chevet (Франция)	Более 10 установок в развивающихся странах	Стебли хлопка	315 кВт _т
Martezo (Франция)	Hogild (Дания)	Древесные отходы	500 кВт _т
Wamsler Umwelttechnik GmbH (теперь Hugo Petersen Umweltengineering, Германия)	4 установки, из них одна демонстрационная (Германия)	Древесина	600...1500 кВт _т

МНВ (Германия)	Furstenwald (Германия)	Древесина	3,3 МВт _т
НИПБС (Ирландия)	Enniskillen (Ирландия)	Древесина	200 кВт _т + 100 кВт _э
RENET-Austria (Австрия). Усовершенствованный газификатор Deuz (Германия)	Wiener Neustadt (Австрия)	Древесная щепа	720 кВт _т + 500 кВт _э
Технический университет Дании (газификатор Viking)	Lyngby (Дания)*	Древесина	80 кВт _т
РЕКА Maskinfabrikken (Дания). Газификатор Технического университета Дании	Blaere (Дания)	Древесина, солома	250 кВт _т + 100 кВт _э
B9 Energy Biomass Ltd. (Великобритания)	Blackwater Valley Museum (Ирландия)	Древесина	400 кВт _т + 200 кВт _э
KARA Energy Systems BV (Нидерланды)	Almelo (Нидерланды)	Древесные отходы	250 кВт _т + 150 кВт _э
Future Energy GmbH (Германия)	Sokolov (Чехия). В стадии строительства	нет данных	110 МВт _т
Gabsi (Испания)	нет данных	Древесина	150...1500 кВт _т
Baumann AG (Швейцария)	Hundsrueck (Швейцария)	нет данных	100 кВт _т
Schelde (Нидерланды)	Vlissingen	Отстой сточных вод	1 МВт _т
Газификаторы с циркулирующим кипящим слоем			
Газификатор Pyroflow компании A. Ahlstrom Oy (теперь Foster Wheeler Energia Oy, Финляндия)	Lahti (Финляндия)	Древесные отходы	в среднем 55 МВт _т
	Pietarsaari (Финляндия)		35 МВт _т
	Norrsundet (Швеция)		27 МВт _т
	Karlsborg Bruk (Швеция)		27 МВт _т
	Radao mill (Португалия)		17 МВт _т
Lurgi Energie und Umwelt (Германия)	Rüdersdorfer Zement GmbH (Германия)	Древесные отходы	100 МВт _т
	Amer (Нидерланды)	Древесные отходы	83 МВт _т + 30 МВт _э 41 МВт _т + 16 МВт _э
	Bioelettrica (Италия)**	Древесные и с/х отходы	
	Pöls (Австрия) (остановлен)	Кора	27 МВт _т

Окончание Табл. 1.

Газификатор Tampella компании Carbona Inc. (Финляндия)	Тампере (Финляндия)*	Древесные отходы, солома	15 МВт _т
Kvaerner Pulping AB Power Division (Швеция)	Varo (Швеция)	Древесные отходы	35 МВт _т
	Fravifors (Швеция)	Древесные отходы	4 МВт _т
Austrian Energy & Environment (Австрия)	Zeltweg (Австрия)***	Древесные отходы	10 МВт _т
SAFI SpA (газификатор TPS)	Chianti (Италия)	Гранулы из горючей части ТБО	15 МВт _т + 6,7 МВт _э
Два реактора кипящего слоя			
Газификатор SilvaGas (Battelle) компании FERCO Enterprises, Inc. (США)	г. Берлингтон (США)*	Древесина и другие виды биомассы	60 МВт _т
Guessing (Австрия)	Guessing (Австрия)	Древесная щепа	4,5 МВт _т + 2 МВт _э
Газификация в потоке			
Future Energy GmbH (Германия)	Middlesbrough (Великобритания)	нет данных	30 МВт _т

* демонстрационная установка

** в настоящее время заменяется газификатором Carbona Inc. (Финляндия)

*** газификатор эксплуатировался в 1998-2002 гг. В настоящее время не работает, поскольку закрыта электростанция, на которой он установлен.

симальное содержание мелких частиц 30...50 % масс., влажность не более 50 %, температура плавления золы не ниже 1190 С (DIN 51730), теплотворная способность 0,65...1,7 МВт·ч/м³. В 1998 г. ВТТ собрала и проанализировала данные по эксплуатации газификатора Bioneer на тепловых станциях. Оказалось, что на практике для газификаторов данного типа используют сырье влажностью не более 45 % в обычном режиме работы и не более 40 % – в случае работы газификатора при максимальной нагрузке в течение длительного периода. При несоблюдении этого условия горение генераторного газа с большим содержанием аэрозолей смол и паров воды становится нестабильным [4].

В целом газификация в плотном слое с ВДГ проявила себя как надежная и экономически

жизнеспособная технология для использования на тепловых станциях небольшой мощности. Требования к качеству сырья соответствуют способу применения генераторного газа – сжигание в котле. Наиболее подходящим топливом является древесная щепа, тогда как газификация измельченной коры, опилок и измельченной строительной древесины вызывает определенные проблемы. Кроме того, смолы, содержащиеся в генераторном газе, вызывают засорение каналов, соединяющих газификатор с котлом. Это приводит к необходимости частой прочистки каналов. Так, например, на тепловых станциях Финляндии, оборудованных газификатором Bioneer, прочистка каналов, по которым проходит генераторный газ, выполняется каждые 2-6 недель в зависимости от свойств сырья и мощности газификатора.

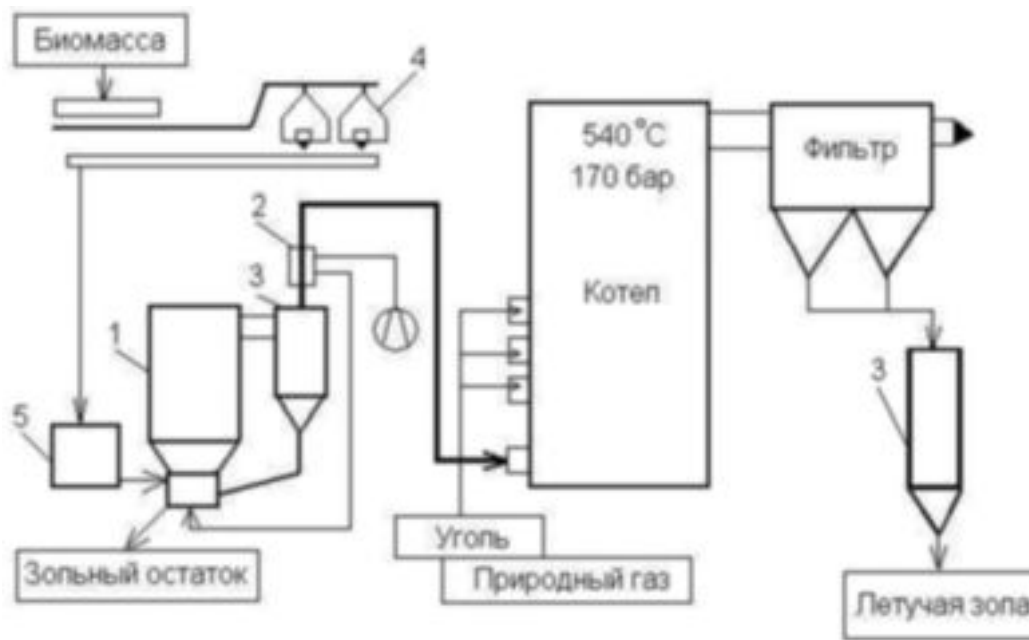


Рис. 1. Схема ТЭЦ Kymiärvi (Lahti, Финляндия).

1 – газификатор, 2 – воздухоподогреватель, 3 – циклон, 4 – бункер для хранения и перемешивания топлива, 5 – шаровой затвор.

Газификатор Pyroflow с циркулирующим кипящим слоем

Газификатор Pyroflow с ЦКС был разработан компанией A. Ahlstrom Oy. Первый коммерческий газификатор мощностью 35 МВт_т был установлен в 1983 г. для обжиговой печи компании Wisaforest Oy (Финляндия). После этого еще три газификатора мощностью 15...35 МВт_т были установлены для коммерческого использования полученного газа в обжиговых печах в Швеции и Португалии. Несмотря на многочисленные технические проблемы в начале эксплуатации (засорение систем сушки и загрузки сырья, износ дробилок, коррозия и эрозия труб), все газификаторы до сих пор работают. Попытки коммерциализации газификаторов Pyroflow, соединенных с газодизельным двигателем, окончились неудачей вследствие высокого уровня содержания смол в генераторном газе.

В 1998 г. Foster Wheeler Energia Oy ввела в эксплуатацию новый газификатор Pyroflow стоимостью около 15 млн долл. на ТЭЦ Kymiärvi (Lahti, Финляндия). Газификатор был подсоединен к существующему угольному котлу (рис. 1). Производительность газификатора по топливу (древесная биомасса и горючая часть отходов)

составляет около 300 ГВт·ч/год. С технологической точки зрения основное отличие от газификаторов Pyroflow, установленных в 1980-х гг. для обжиговых печей, состоит в том, что газификатор в Lahti перерабатывает сырье без сушки. Влажность топлива может достигать до 60 %. Мощность газификатора колеблется в диапазоне 40...70 МВт_т в зависимости от влажности и теплотворной способности сырья. Процесс проходит при атмосферном давлении и температуре около 850 °С. Производится низкокалорийный генераторный газ (2,0...2,5 МДж/нм³) следующего состава: CO₂ 12,9 %, CO 4,6 %, H₂ 5,9 %, N₂ 40,2 %, H₂O 33 %, C_xH_y 3,4 %. Газ очищается в циклоне, немного охлаждается в воздухоподогревателе (подготовка дутья для газификатора) и поступает в котел. В котле имеются две газовые горелки, расположенные ниже угольных. Генераторный газ замещает около 15 % угля, потребляемого котлом [4].

Простая технология газификации, реализованная на ТЭЦ Kymiärvi, подходит только для древесной биомассы и чистой горючей части отходов. При такой технологии много золы вместе с генераторным газом попадает в угольный котел. Использование ряда других потенциальных видов биомас-

сы (солома, энергетические культуры) и отходов (промышленные, ТБО) практически невозможно, поскольку они содержат большое количество хлора, щелочных металлов и алюминия, которые вызывают коррозию и засорение трактов котла.

Газификатор Lurgi с циркулирующим кипящим слоем

Немецкая компания Lurgi Energie und Umwelt является известным разработчиком и производителем газификаторов с циркулирующим кипящим слоем. С 1983 г. в исследовательском центре Lurgi действует экспериментальный газификатор мощностью 1,7 МВт_т, который наработал более 8000 часов. Первый коммерческий газификатор мощностью 27 МВт_т был установлен в 1987 г. на крупной бумажной фабрике в Pöls (Австрия) и работал на древесной коре. Процесс газификации протекал при давлении около 1 бара, произведенный ГГ частично охлаждался и сжигался в печи для обжига извести. В процессе эксплуатации газификатора оказалось, что высокое содержание частиц золы в ГГ приводит к нежелательному загрязнению извести. Поэтому в настоящее время газификатор работает лишь периодически в экспериментальных и исследовательских целях. С 1996 г. реактор Lurgi 100 МВт_т эксплуатируется на цементном заводе в Rüdersdorf (Германия). Степень конверсии углерода в этом газификаторе оказалась существенно ниже, чем ожидалось (всего 84 %) вследствие высокого уноса частиц сырья в циклон. Генераторный газ используется в кальцинаторе цементной печи, обеспечивая 30...40 % необходимой тепловой энергии. Зола применяется для производства цемента. Газификатор работает только на достаточно чистой биомассе (древесных отходах), поскольку в противном случае это отрицательно сказывается на качестве цемента. Lurgi имеет также установки на электростанциях в Нидерландах и Италии (однако в Италии газификатор Lurgi сейчас заменяется реактором компании Carbona Inc.).

Газификатор PRM Energy Systems с восходящим движением газа

PRM Energy Systems (США) уже более 20 лет специализируется на коммерческих газификаторах ВДГ и имеет 19 установок, работающих на пяти континентах мира. Ежегодно на этих установ-

ках перерабатывается около 500 тыс. т биомассы, в основном рисовой шелухи. Как правило, произведенная тепловая энергия используется в промышленных сушильных аппаратах или в промышленных технологических процессах в виде насыщенного пара низкого давления. Ряд установок также вырабатывает электроэнергию. На своем экспериментальном газификаторе PRM Energy Systems в 1984-1988 гг. успешно отработала получение чистого ГГ из различных видов биомассы: рисовая шелуха, солома риса, куриный помет, древесные опилки, щепа и кора, торф, солома пшеницы, початки и стебли кукурузы и многие другие. Первые два коммерческих газификатора были внедрены на крупной фабрике по переработке риса в 1982 г. в США. Произведенный ГГ сжигается в котле, замещая потребление природного газа, а пар используется в сушильных аппаратах. С 1985 г. газификаторы этой компании работают в Австралии, с 1987 г. – в Малайзии, с 1995 г. – в Коста-Рике.

Одна из последних установок PRM Energy Systems (4 МВт_э) построена в 2003 г. в Rossano (Италия). Она состоит из газификатора PRMES KC-18, системы охлаждения, очистки и контроля качества генераторного газа, а также шести газовых двигателей Guascor S.A. (Испания). Газификатор работает на жмыхе маслин (потребление 4500 кг/час) без какой-либо предварительной подготовки сырья. Газификационная система включает систему подачи и дозирования сырья, газификатор, выложенный изнутри огнеупорным материалом, автоматическую водоохлаждаемую систему непрерывной выгрузки золы, многозонную систему подачи дутья и систему автоматизации. Генераторный газ охлаждается водой в теплообменнике и поступает в скруббер, где происходит дальнейшее охлаждение и очистка от твердых частиц и смол. Смолы поступают обратно в газификатор, ГГ немного сжимается и подается в двигатели. Установка в Rossano – первая в мире газификационная установка, работающая на жмыхе маслин с целью производства электроэнергии [6].

Другие газификаторы

Организация Wamsler Umwelttechnik GmbH (теперь Hugo Petersen Umweltengineering, Германия) имеет успешный опыт работ по созданию

газификационных установок с нисходящим движением газа. В 1994 г. три такие установки тепловой мощностью 0,6...1,5 МВт были запущены в Германии, с 1998 г. работает демонстрационная установка мощностью 0,6 МВт. Wamsler также имеет опыт в очистке генераторного газа в скрубберах и эксплуатации газодизельного двигателя мощностью 200 кВт_э, работающего на генераторном газе.

Институт технологий газа (Institute of Gas Technology, США) и фирма Enviropower Inc. (совместное предприятие Tampella Power Systems, Финляндия, и Vattenfall AB, Швеция), теперь Carbona Inc. (Финляндия), провели работы по доведению до коммерческого уровня технологии газификации БМ под давлением с использованием парогазотурбинных установок. В рамках этой программы в г. Тампере (Финляндия) была сооружена и в 1993 г. запущена пилотная установка с газификатором Tampella ЦКС мощностью 15 МВт_т. Установка использовалась для отработки газификации под давлением и производства тепловой энергии. Было наработано более 2000 часов и переработано более 5000 т сырья. Сырьем для газификации служит смесь кокса, биомассы и угля. Биомасса представляет собой различные виды древесных отходов, солому и стебли люцерны. Сырье подвергается предварительному измельчению и просушке. Газификация протекает при температуре 850 °С и давлении 20 бар. Генераторный газ после выхода из газификатора проходит очистку в двух циклонах, устройстве по удалению серы и фильтре горячей очистки. После очистки одна часть газа возвращается в газификатор для создания дутья, другая – поступает в котел для выработки теплоты. После котла продукты сгорания проходят через электростатический фильтр и выбрасываются в дымовую трубу [7, 8].

Совместные работы Института технологий газа и Carbona Inc. закончились созданием коммерческого газификатора IGT RENUGAS™. Газификация в этом реакторе проходит при температуре 840...950 °С. Дутьем является смесь воздуха и пара. Воздух подается из компрессорной секции газовой турбины через бустер-компрессор, пар подводится из паровой турбины. Газификатор работает с т.н. “фонтанирующим” слоем, в котором происходит интенсивная цир-

куляция твердых частиц от верхней до нижней части ректора, что обеспечивает высокую скорость процесса газификации и максимальный уровень крекинга смол. В настоящее время установка описанной конструкции мощностью 8 МВт_э действует на сахарном заводе в Paia, Гавайи (мощность по сухому сырью 50 т/день).

FERCO Enterprises, Inc. (США) в течение многих лет занимается разработкой и исследованием технологии газификации биомассы в двух реакторах кипящего слоя. Технология SilvaGas® воплощена на демонстрационной установке в г. Берлингтон, США (60 МВт_т). Установка работает на БМ различного вида влажностью 10...50 % и производит среднекалорийный генераторный газ (17...19 МДж/нм³), который сжигается в котлах. В настоящее время FERCO Enterprises работает над проблемой использования ГГ в ПГТУ ВГ. Demag Delaval Industrial Turbomachinery (Великобритания) продемонстрировала возможность сжигания ГГ SilvaGas в газовой турбине с минимальной модификацией ее конструкции. Разрабатывается концепция электростанции мощностью 23 МВт_э [9].

Научно-исследовательские и демонстрационные работы

Продолжаются научно-исследовательские и демонстрационные работы по дальнейшему развитию и совершенствованию технологий газификации. Их можно разделить на две группы. В области газификационных установок малой мощности работы в основном сосредоточены на газификаторах НДГ, очистке газа в циклонах, скрубберах или фильтрах и использовании генераторного газа в двигателях внутреннего сгорания с целью получения теплоты и электроэнергии. Ряд организаций продолжает серьезные работы в области газификаторов ВДГ, хотя в общем интерес к этой технологии снизился. В области крупных газификационных систем научно-исследовательские и демонстрационные работы сосредоточены на газификаторах с КС и ЦКС, предназначенных для использования в ПГТУ ВГ. Последние исследования показывают, что технологии КС экономически целесообразнее использовать на установках средней мощности (15...40 МВт_т), тогда как газифи-

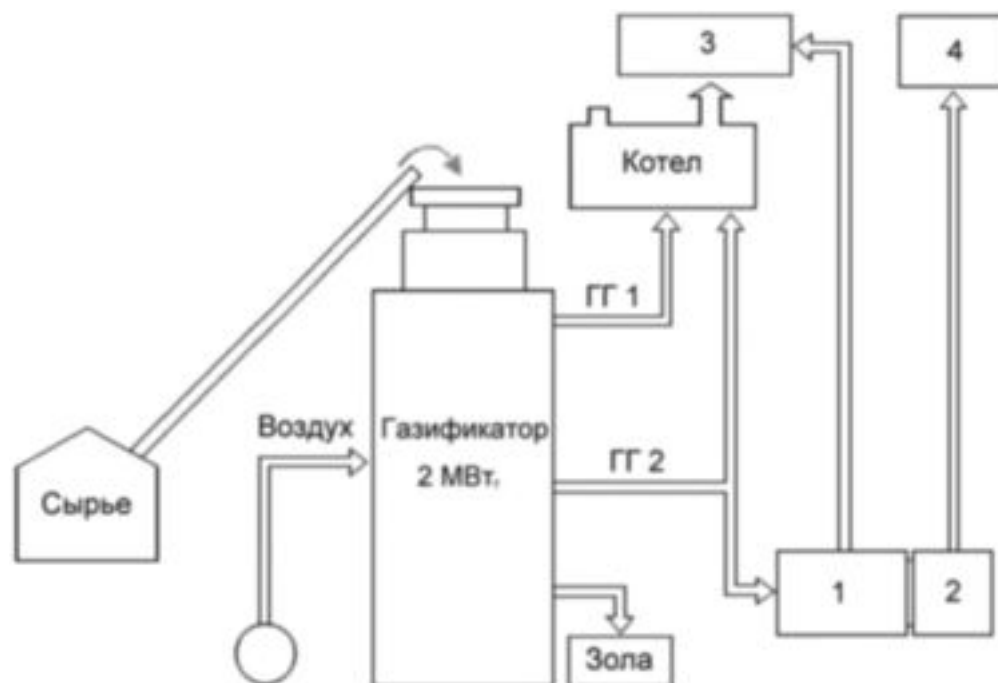


Рис. 2. Демонстрационная газификационная установка компании *Entimos Oy* (Tervola, Финляндия). 1 – двигатель с турбонаддувом, 2 – генератор, 3 – система теплоснабжения, 4 – электрическая сеть, ГГ 1, ГГ 2 – генераторный газ.

фикаторы ЦКС больше подходят для крупных установок 40...100 МВт_т.

Одной из наиболее перспективных сегодня считается новая технология газификации, разработанная *Entimos Oy* (Финляндия). Газификатор *Entimos* представляет собой комбинацию НДГ и ВДГ. Генераторный газ, выходящий из верхней части газификатора (ГГ 1, рис. 2), сжигается в котле с целью выработки тепловой энергии. Газ из средней части газификатора (ГГ 2) поступает в двигатель с турбонаддувом для производства электроэнергии. Когенерационная демонстрационная установка мощностью 1,1 МВт_т+450 кВт_э с 2001 г. работает в Tervola (Финляндия), обеспечивая теплотой и электроэнергией местную общину. В качестве сырья используются отходы лесопильного завода и остатки лесной древесины [4].

VTТ и *Condens Oy* разработали газификатор новой конструкции *Novel*, который является комбинацией ВДГ и ПДГ. Целью работы было использовать преимущества конструкции *Bioneer* и достичь низкого содержания смол в ГГ, свойственного газификаторам с НДГ. Газификатор новой конструкции предназначен для пере-

работки древесной щепы, опилок, коры, торфа и горючей части ТБО. Успешная апробация газификатора прошла в 1999-2001 г.г. на пилотной установке VTТ мощностью 500 кВт_т. VTТ и *Condens Oy* разработали также систему очистки ГГ. Газификатор может использоваться на тепловых станциях мощностью до 10 МВт и на ТЭЦ мощностью до 3 МВт_э. Первая демонстрационная установка 4,3 МВт_т+1,8 МВт_э (газификатор *Novel* и двигатели *Jenbacher*) стоимостью 4,5 млн Евро запущена зимой 2004/2005 г.г. на тепловой станции *Kokemaki* [4, 10].

Ekogastek Oy (Финляндия) в 1998 г. запустила пилотную установку мощностью 4 МВт_т с газификатором ВДГ. Инновационной чертой газификационной технологии является использование керамических шариков, которые загружаются в газификатор вместе с сырьем и затем удаляются из золы. Пилотная установка работает на горючей части ТБО.

Технология двухстадийной газификации биомассы на основе реактора с НДГ разработана в Техническом университете Дании (DTU). Основная идея состоит в оптимальном разделении зон

пиролиза, вторичного разложения пиролизных смол и газификации углистого вещества. Сырье поступает в шнековый питатель, подогреваемый снаружи воздухом, где происходит его сушка и пиролиз. После питателя сырье загружается в верхнюю часть газификатора. Подогретый воздух подается в среднюю зону реактора, где происходит частичное окисление биомассы. Из зоны частичного окисления биомасса опускается вниз в зону газификации. Технология реализована на демонстрационной установке “Viking” мощностью 80 кВт_т [11, 12].

Немецкая компания VER GmbH разработала новую конструкцию газификатора плотного слоя с поперечным движением газа. Отличительной чертой конструкции является горелка для ГГ, встроенная непосредственно в газификатор. Сооружена пилотная установка мощностью 20 кг сырья/час, работающая на древесных отходах всех видов с характерным размером частиц 1...6 см. Ожидается, что содержание смол в ГГ будет ниже, чем при газификации с ВДГ, а выгорание углистого вещества – лучше, чем при газификации с НДГ [13].

VTТ с 1997 г. выполняет разработку и совершенствование систем горячей очистки ГГ, полученного при газификации различных видов БМ в газификаторе с ЦКС. Принцип горячей очистки основан на фильтрации ГГ при температуре 400 °С и использовании сорбентов для удаления хлора. Перед поступлением газа в тканевые фильтры, в него впрыскивается гидроокись кальция для связывания HCl. Разработанная технология горячей очистки ГГ была проверена на экспериментальной установке VTТ 300 кВт_т с газификатором ЦКС и на пилотной установке Foster Wheeler 3 МВт_т с газификатором ЦКС. Эта технология подходит также для газификаторов с КС, что было продемонстрировано VTТ при выполнении совместного проекта с финскими компаниями Pohjolan Voima Oy и Varo Oy в 2001 г. Проект направлен на оптимизацию технологии газификации промышленных и бытовых отходов в реакторе КС и охватывает весь процесс от подготовки сырья до выработки электроэнергии из ГГ.

В Институте технической теплофизики НАН Украины сооружается пилотная газификационная установка с двумя реакторами кипящего слоя мощностью 50 кВт_т. На установке планируется

исследование процесса газификации твердых бытовых отходов.

Экономические аспекты процесса газификации БМ с целью получения теплоты

Газификатор Bioneer продемонстрировал хорошие технико-экономические показатели работы, в том числе при частичной загрузке (85...90 %). Для обслуживания тепловой станции с газификатором Bioneer необходим персонал в количестве 3-4 чел. Эксплуатационная готовность газификатора 95...97 %. Удельные капитальные затраты составляют 420 долл./кВт, эксплуатационные затраты – около 20 долл./МВт·ч. Стоимость произведенной тепловой энергии 24 долл./МВт·ч [13].

В работе [10] проведена оценка капитальных затрат и срока окупаемости газификатора Novel. Рассмотрено три варианта внедрения газификатора: в условиях Финляндии для производства тепловой и электрической энергии (3,9 МВт_т+1,8 МВт_э); в условиях Италии для выработки только электроэнергии (1,8 МВт_э) и для выработки теплоты и электроэнергии (1,1 МВт_т+0,6 МВт_э). Во всех случаях электроэнергия производится путем сжигания генераторного газа в двигателе внутреннего сгорания. В первом варианте (Финляндия) капитальные затраты составляют 4,5 млн Евро с учетом наличия 40 % государственной субсидии на внедрение новой технологии. При тарифе на электроэнергию 28 Евро/МВт·ч, тарифе на тепловую энергию 26 Евро/МВт·ч, стоимости топлива (древесина) 6 Евро/МВт·ч и ставке дисконта 5 % срок окупаемости капиталовложений составляет 13 лет. Для условий Финляндии это нормальный показатель, поскольку там считается, что экономически целесообразный срок окупаемости инвестиций подобного типа лежит в диапазоне 10-13 лет. Если же сырьем для газификации служит горючая часть отходов с отрицательной стоимостью, срок окупаемости установки снижается до 5 лет. В Италии стоимость электроэнергии существенно выше, чем в Финляндии (120 Евро/МВт·ч), поэтому срок окупаемости проекта намного ниже – 3-6 лет. Для варианта производства только электроэнергии капитальные затраты составляют 4,8 млн Евро

Табл. 2. Капитальные и эксплуатационные затраты газификаторов TPS и Tampella [15].

Показатели	Газификатор TPS	Газификатор Tampella
Мощность, МВт _т	140	140
Расход топлива (древесина), т/ч	63700	69040
Капитальные затраты, тыс. долл.		
сушилка	6500	6500
газификационная система	25438	23246
факел	350	350
погрузочно-разгрузочные операции	6937	6986
строительные работы	16910	13416
непрямые затраты	7298	6565
непредвиденные расходы	6343	5706
Всего	69776	62769
Эксплуатационные затраты, тыс. долл.		
материалы	1530	1816
оплата труда	1677	1643
Всего	3207	3459

(2,67 тыс. Евро/кВт_т), в случае производства теплоты и электроэнергии – 2,8 млн Евро (1,22 тыс. Евро/кВт_т).

Авторы [14] методом компьютерного моделирования провели сравнение технико-экономических показателей двухстадийного газификатора, разработанного в Техническом университете Дании, и разновидности газификатора с НДГ – реактора с постоянным поперечным сечением (без горловины), в который биомасса подается непосредственно через открытый верх. Рассматривался случай работы газификаторов в составе мини-ТЭЦ. Мощность обоих газификаторов составляла 2 МВт_т, капитальные затраты – 1 млн Евро/МВт_т. В расчетах была заложена средняя стоимость электрической и тепловой энергии в Дании – 38 Евро/МВт·ч_э и 36 Евро/МВт·ч_т. Поскольку в Дании существует государственная субсидия на производство электроэнергии из биомассы, доход ТЭЦ от продажи электроэнергии увеличивается до 74 Евро/МВт·ч_э. Результаты исследования показали, что система с двухстадийным газификатором имеет больший КПД выработки электроэнергии (32,5 %), тогда как система с реактором с НДГ – больший КПД производства

тепловой энергии (63,5 %). В целом работа мини-ТЭЦ с двухстадийным газификатором является чуть более экономичной – доход от продажи электроэнергии больше на 10 тыс. Евро/год по сравнению со случаем газификатора с НДГ.

В работе [15] выполнено сравнение капитальных и эксплуатационных затрат двух газификаторов ЦКС – TPS (газификация при низком давлении) и Tampella (газификация при высоком давлении). Рассматривается вариант производства генераторного газа для использования в печах для обжига извести. Результаты представлены в табл. 2, из которой видно, что затраты на строительство и эксплуатацию обоих газификаторов очень близки между собой. Удельные капитальные затраты составляют 498 долл./кВт_т для TPS и 448 долл./кВт_т для Tampella. Эксплуатационные расходы (без учета стоимости сырья) составляют 4,6 % и 5,5 % от капитальных затрат для TPS и Tampella соответственно.

Выводы

1. Газификация является одной из перспективных технологий получения энергии из био-

массы. Газификация БМ с целью получения тепловой энергии уже достигла коммерческого уровня, хотя занимает довольно ограниченный сегмент на энергетическом рынке, особенно в развитых странах. Для расширения этого сегмента необходимо преодолеть ряд экономических и других нетехнических барьеров. С точки зрения капитальных затрат, которые выше по сравнению со станциями, работающими на ископаемом топливе, экономически рентабельная работа газификационной установки во многих случаях возможна только при использовании очень дешевого сырья. Интерес к газификационным технологиям все более смещается от производства только тепловой энергии к возможности комбинированной выработки тепловой и электрической энергии. Перспективными путями применения ГГ являются совместное сжигание с углем и природным газом на существующих электростанциях и применение в ПГТУ ВГ. Наиболее привлекательными и готовыми для коммерческого использования с целью выработки электроэнергии являются сейчас технологии атмосферной газификации в ЦКС и КС.

2. В результате широкой научно-исследовательской работы, проведенной за последнее десятилетие, технологии газификации БМ от предварительной подготовки сырья до очистки газа достигли высокого уровня развития и воплощения на лабораторном, пилотном и демонстрационном уровне. Представляют интерес работы как по созданию новых технологий (двухстадийная газификация Технического университета Дании), так и по совершенствованию и модернизации хорошо известных старых конструкций газификаторов (газификатор Novel компании Condens Oy, Финляндия). С другой стороны, опыт долговременного использования генераторного газа в двигателях или турбинах до сих пор невелик. Несмотря на заметный прогресс, достигнутый в последние годы в области очистки газа, система очистки является критической составляющей любой газификационной установки. Продолжаются поиски оптимальных решений для достижения требуемых уровней очистки при минимальных затратах. Наиболее активными в этой области являются такие организации, как VTT (Финляндия), BTG (Нидер-

ланды), Мадридский университет Complutense, TPS (Швеция).

Материалы статьи подготовлены в рамках работы над проектом УНТЦ № 3036.

ЛИТЕРАТУРА

1. *A.V. Bridgwater.* Thermal conversion of biomass and waste: the status. Proc. of Conference "Gasification: the Clean Choice for Carbon Management", 8–10 April 2002, Noordwijk, the Netherlands, pp. 1–25.
2. *Гелетуха Г.Г., Железная Т.А.* Обзор технологий газификации биомассы // Экологические и ресурсосбережение. – 1998. – N 2, с. 21–29.
3. *Ir. H.A.M. Knoef.* Gasification of biomass & waste – practical experience. Proc. of III International Slovak Biomass Forum, 3–4 February 2003, pp. 41–44.
4. *Review of Finnish biomass gasification technologies.* OPET Report 4. VTT, ESPOO 2002, pp. 1–19.
5. *Kurkela E., Stahlberg P., Leppalahti J.* Updraft Gasification of Peat and Biomass // Biomass, N19, 1989, pp. 37–46.
6. *R. Bailey, Sr.* A 4 MWe biogas engine plant fueled by the gasification of olive oil production wastes (sansa). Proc. of 1st International Ukrainian Conference on Biomass for Energy, 20–22 September, Kiev, Ukraine. CD-ROM.
7. *Dinkelbach L., Kaltschmitt M.* Gasification of Biomass in Europe – State-of-the Art and Prospects. Proc. of the 9th European Bioenergy Conf., Copenhagen, Denmark 24–27 June, 1996. Pergamon. Vol.2, pp. 1382–1387.
8. *Spliethoff H.* Status of biomass gasification for power production // IFRF Combustion Journal, November 2001, pp. 1–25.
9. *Paisley M.A., Overend R.P., Welch M., Igoe B.M.* FERCO's Silvagas biomass gasification process commercialization opportunities for power, fuels, and chemicals. Proc. of Second World Biomass Conference, 10–14 May 2004, Rome, Italy, pp. 1675–1678.
10. *Simell P., Kurkela E., Haavisto I.* at al. Novel small scale gasification process for CHP – green power by lower cost and lower emissions. Proc. of Second World Biomass Conference, 10–14 May 2004, Rome, Italy, pp. 1749–1752.

11. *E. Kurkela, M. Nieminen, P. Simell.* Development and commercialization of biomass and waste gasification technologies from reliable and robust co-firing plants towards synthesis gas production and advanced power cycles. Proc. of Second World Biomass Conference, 10–14 May 2004, Rome, Italy, pp. 10–15.

12. *B. Staiger, L. Wiese, R. Berger, K.R.G. Hein.* Investigation of existing gasifier and gas cleaning technologies with an online tar measuring system. Proc. of Second World Biomass Conference, 10–14 May 2004, Rome, Italy, pp. 789–792.

13. *A.A.C.M. Beenackers, K. Maniatis.* Gasification technologies for heat and power biomass. Proc. of EuroSun'96, September 16–19, 1996, Freiburg, Germany, pp. 1311–1335.

14. *F. Foch, K.P.B. Thomsen, N. Houbak, U. Henriksen.* The Pinch-method applied on a biomass gasifier system. Proc. of ECOS 2000 Conference, 5–7 July 2000, Enschede, The Netherlands.

15. *P. Tam, E. Mazzi, K. Cheng, W. Edwards.* Assessment of gasification technologies and prospects for their commercial application. Proc. of Forest Sector Table. National Climate Change Process. 9 April 1999, Richmond, USA, No. 499–0101.

16. *Beenackers A.A.C.M., Maniatis K.* Gasification Technologies for Heat and Power from Biomass. Proc. of the 9th European Bioenergy Conf., Copenhagen, Denmark 24–27 June, 1996. Pergamon. Vol.1, pp. 228–259.

Получено 13.09.2006 г.

УДК 662.638

**ЖОВМИР Н.М., ГЕЛЕТУХА Г.Г.,
ЖЕЛЕЗНАЯ Т.А., СЛЕНКИН М.В.**

Институт технической теплофизики НАН Украины

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ СОВМЕСТНОГО СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ И УГЛЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Проведено аналіз сучасних технологій сумісного спалювання біомаси і вугілля. Зібрано дані по існуючим у світі електростанціям, що реалізують різні технології сумісного спалювання. Розглянуто нові, що знаходяться ще у стадії дослідження технології, такі як сумісне спалювання піропалива з біомаси і вугілля або природного газу. Проаналізовано перспективи України щодо впровадження технологій сумісного спалювання біомаси та традиційних палив. Зроблено висновок про те, що Україна має всі необхідні передумови для поступового впровадження таких технологій, що дасть змогу знизити споживання дорогих викопних енергоносіїв і призведе до покращення екологічних показників роботи електростанцій.

Выполнен анализ современных технологий совместного сжигания биомассы и угля. Собраны данные по существующим в мире электростанциям, реализующим различные технологии совместного сжигания. Рассмотрены новые, находящиеся в стадии исследования технологии, такие как совместное сжигание пиротоплива из биомассы с углем или природным газом. Проанализированы перспективы Украины по внедрению технологий совместного сжигания биомассы и традиционных топлив. Сделан вывод о том, что Украина обладает всеми необходимыми предпосылками для постепенного внедрения таких технологий, что позволит снизить потребление дорогостоящих ископаемых энергоносителей и приведет к улучшению экологических показателей работы электростанций.

Modern technologies for co-combustion of biomass and coal are analyzed. Data on existing in the world power plants which realize different co-combustion technologies are collected. New co-combustion technologies, which have been still under investigation, are reviewed, for example, co-combustion of bio-oils with coal or natural gas. Prospects for Ukraine as for the introduction of co-combustion of biomass and fossil fuels are considered. It is concluded that Ukraine has all the necessary prerequisites for gradual introduction of these technologies. It will give an opportunity to reduce consumption of expensive fossil energy carriers and will improve environmental performance of power plants.