

Когенерационная установка на базе СО-газогенератора и ОЦР-электропарогенератора, работающая на биотопливе

Жуков А. В., магистрант, Федореев С. А., Гоман В. В., кандидаты техн. наук,
Щеклеин С. Е., доктор техн. наук

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Рассмотрены возможности снижения влияния на окружающую среду деревообрабатывающих предприятий за счет использования вторичных ресурсов — отходов их производств. Обоснована целесообразность создания современных когенерационных установок на базе СО-газогенератора и ОЦР-парогенератора для обеспечения электрической и тепловой энергией удаленных мест проживания малочисленного населения. В процессе газификации древесных отходов получается высококоливидный генераторный газ, используемый далее в органическом цикле Ренкина (ОЦР). Низкокипящие органические жидкости позволяют использовать низкую температуру нагрева для парообразования. Созданы прототипы газогенераторной установки и ОЦР-парогенератора. Исследована работа газогенератора на различных видах топлива и отходах лесопереработки. В газогенераторе применен уникальный алгоритм управления процессом газификации. Эффективность установки повышается за счет возможности одновременной генерации тепловой и электрической энергии.

Ключевые слова: утилизация отходов, биотопливо, лесное хозяйство, когенерация, газогенерация, пиролиз, автоматизация процессов горения, низкопотенциальная теплота, ОЦР-парогенератор.

В настоящее время в России существует ряд проблем экологического и энергетического характера:

1. Проблема утилизации отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности (так, в Свердловской области объем отходов и низкосортной древесины, по разным оценкам, составляет около 1,4 – 2 млн м³ в год, а в целом по России — 70 млн т в год [1, 2]). Не более 50 % этого объема используется для производства кусковой древесины, древесного угля. При этом отходы лесопильных производств, как правило, вывозятся на незаконные свалки, что приводит к загрязнению окружающей среды и является потенциальной причиной пожаров).

2. Проблема обеспечения энергетическими ресурсами (тепловой и электрической энергией) удаленных мест проживания людей и изолированных районов, проблема дефицита электрических мощностей при подключении к сетям.

3. Проблема ограниченного объема местных топливных ископаемых, постоянно возрастающей стоимости мазута, дизельного топлива, каменного угля и природного газа и низкой экологичности выработки тепловой и электрической энергии путем сжигания ископаемых видов топлива.

В Свердловской области за счет местных ископаемых топливных ресурсов обеспечивается не более 5 % ее потребности, энергети-

ка области зависит от поставок угля с казахстанских месторождений на значительные расстояния [1]. Энергоресурсы отходов лесопромышленного производства в области сегодня составляют по разным оценкам около 0,8 – 1,6 млн т (в пересчете на условное топливо), а в целом по России — 145 млн т [2, 3].

По предварительным прогнозам в области существует потребность в переводе на биотопливо около 180 котельных муниципальных образований, более 40 котельных бюджетной и околобюджетной сфер, более 70 котельных малых предприятий. При использовании отходов древесины и торфа Свердловская область может полностью перевести на возобновляемые ресурсы ЖКХ периферийных муниципальных образований, а также значительную часть промышленных предприятий, имеющих котельные на угле, мазуте и электроэнергии.

Следует также учитывать, что Федеральный закон от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ “Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”, Указ Президента РФ от 04 июня 2008 г. № 889 “О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики”, Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ “О теплоснабжении”, распоряжение Правительства Российской Феде-

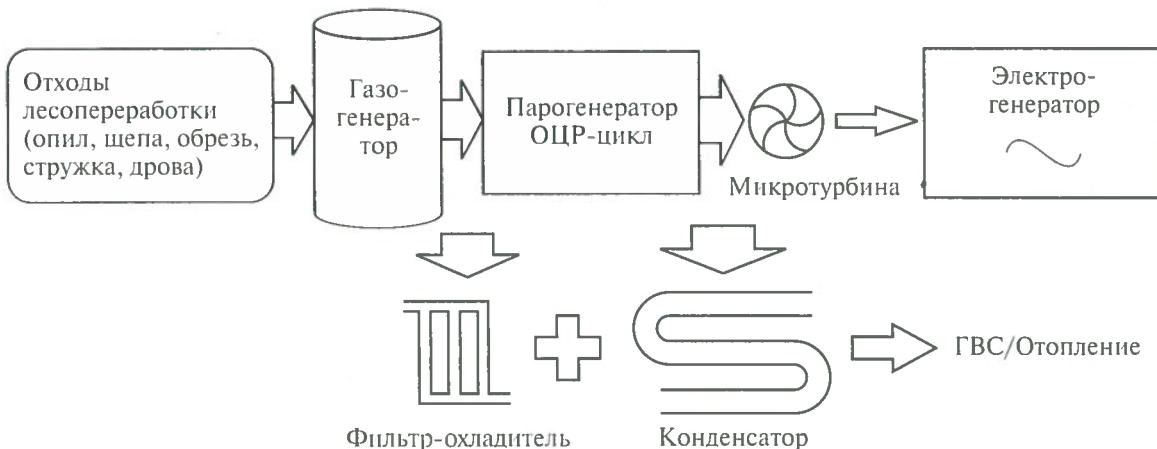


Рис. 1

рации от 01.12.2009 г. № 1830-р, Закон Свердловской области от 25 декабря 2009 г. № 117-ОЗ “Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности на территории Свердловской области”, а также “План мероприятий по созданию благоприятных условий для использования возобновляемых древесных источников для производства тепловой и электрической энергии”, утвержденный Правительством РФ 31.05.2013 г., определяют необходимость вовлечения в энергетику ресурсов местных возобновляемых топливных источников.

В связи с изложенным представляются актуальными разработка и внедрение современных когенерационных установок на основе использования местных возобновляемых сырьевых ресурсов (древесных отходов) для получения тепловой и электрической энергии в лесоизбыточных, удаленных и изолированных районах проживания людей и на предприятиях лесной и деревообрабатывающей промышленности. Можно выделить два основных направления полезного использования древесных отходов:

1. *Сжигание.* Имеет низкую эффективность при высокой влажности отходов. Существует проблема недожога топлива. Установки характеризуются сравнительно низким КПД, большими габаритными размерами, сложностью регулирования вырабатываемой энергии и не соответствуют экологическим требованиям.

2. *Газификация.* Преимущество данной технологии — низкий уровень воздействия на окружающую среду, так как в результате более полного сгорания газообразного топлива (по сравнению с прямым сжиганием твердого топлива) образуется значительно меньше вредных для окружающей среды химических

соединений. Это позволяет экономить на дорогостоящем оборудовании для очистки дымовых газов. При газификации происходит полная конверсия углерода, практически отсутствует непрореагировавший углерод [4]. КПД установок относительно высок.

Утилизация древесных отходов приводит к дополнительным затратам и экологическим рискам без какого-либо полезного эффекта. При этом необходимы значительные территории под складирование и захоронение отходов производства. Но еще в 40-е годы XX в. в качестве топлива использовали генераторный газ для грузовых автомобилей и сельскохозяйственной техники [5]. Газогенераторные установки тех лет требовали первичное топливо определенных размеров и с определенной влажностью для обеспечения стабильной работы. В настоящее время, учитывая появление новых материалов, а также элементов систем автоматизации процессов горения, имеется возможность управлять ими и составом генераторного газа, что позволяет снизить требования к подготовке первичного топлива. Таким топливом могут быть деревянные бруски, опил, щепа, кора.

Таким образом, наиболее целесообразны когенерационные установки (рис. 1) на основе процесса газогенерации. Принцип работы таких установок следующий. Биотопливо (древесные отходы) загружается в газогенератор для получения генераторного газа. После фильтрации он используется для нагрева рабочего тела парогенератора с органическим циклом Ренкина и для подготовки первично-го биотоплива. В случае применения совмещенного фильтра-охладителя можно организовать отбор тепловой энергии для нужд отопления. Полученный пар вращает микротурбину, соединенную с валом электрогене-

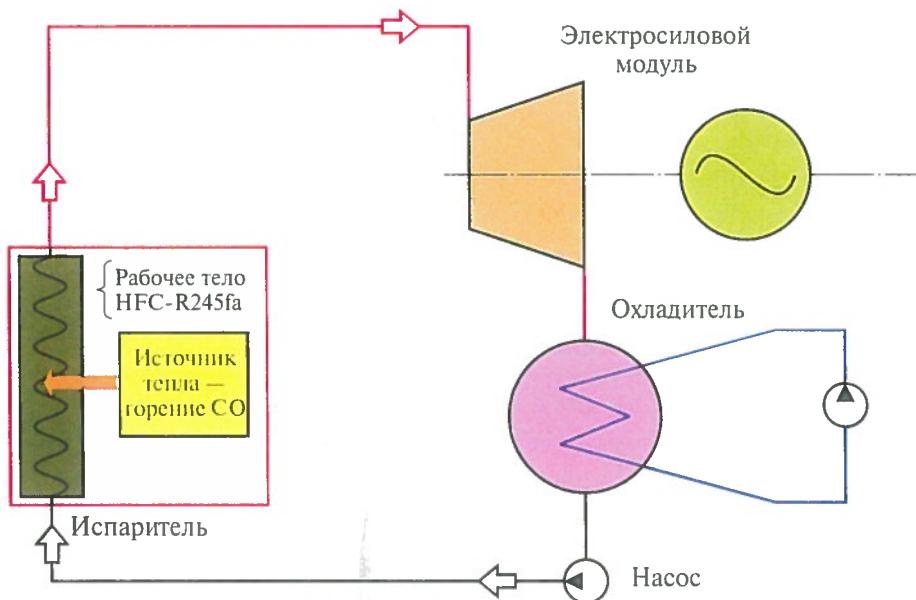


Рис. 2

ратора, который может работать автономно либо параллельно с сетью. В качестве рабочего тела ОЦР-парогенератора можно использовать хладагент R245fa с температурой испарения 121 °C при давлении 19,6 бар. Паровая фаза данного хладагента позволяет вырабатывать электроэнергию при низких температурах.

Газогенератор оснащается системой управления подачей воздуха и пара с обратной связью по химическому составу генераторного газа, его расходу и температуре зоны горения. Система управления используется для

стабилизации процесса газификации, обеспечения требуемого химического состава генераторного газа, защиты котла от перегрева. Управление процессом позволяет снизить требования к используемому топливу — увеличить диапазон его допустимой влажности с 0 – 14 до 40 %.

Установка оснащается газоанализатором с каналами измерения концентрации CO, CO₂, H₂, расходомером и датчиками температуры газа и зоны горения. Контроллер на основе разработанного уникального алгоритма формирует управляющие сигналы для систем подачи пара/кислорода в активную зону горения. Контроль за температурой газа необходим, так как при определенных температурах усиливаются реакции окисления, которые смещают содержание “ненужного газа” CO₂ в сторону увеличения, а горючего газа CO — в сторону уменьшения. Более того, сам котел может перегреваться и выходить из строя, что крайне нежелательно. Снижение же температуры газификации топлива ведет к нестабильной выработке энергии [5].

В настоящее время разработан лабораторный прототип газогенератора с системой автоматического регулирования режимов работы. На рис. 2 приведена схема парового цикла установки, а на рис. 3 показан внешний вид лабораторного прототипа парогенератора для проведения исследований на органических жидкостях. В качестве основного варианта принято использование ОЦР-парогенератора и турбины, вращающей электрогенератор [6]. Вместе с тем возможен альтернативный ва-

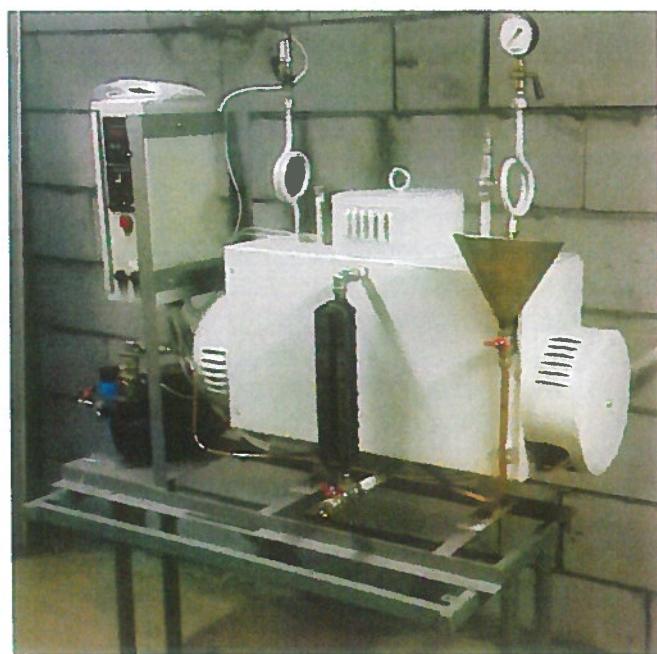


Рис. 3

риант — подача генераторного газа после очистки и фильтрации в двигатель внутреннего сгорания, который в свою очередь приводит в движение электрогенератор. Однако в этом варианте для достижения приемлемого срока службы двигателя внутреннего сгорания требуется сложное оборудование газоочистки. А при использовании турбины достаточно лишь грубой фильтрации, причем не очищенный от горючих органических соединений (спиртов и смол) газ имеет большую теплоту сгорания. Физическая теплота генераторного газа при отсутствии охладителей, необходимых при применении двигателя внутреннего сгорания, усилит нагрев рабочего тела парогенератора [4].

В рамках дальнейшей работы над установкой планируется провести ряд исследований по определению эффективности газогенератора на различных видах топлива и экспериментов по снятию рабочих характеристик ОЦР-парогенератора. Еще необходимы подбор микротурбины и электрогенератора, а также согласование всех элементов установки по мощности и производительности. В результате планируется разработать серию инновационных газогенераторных установок малой и средней мощности (от 10 до 200 кВт) для производства электрической и тепловой энергии, широкое применение которых позволит решить проблемы утилизации отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности и обеспечения энергетическими ресурсами удаленных мест проживания людей.

Данная работа является совместным проектом двух кафедр Уральского энергетического института УрФУ: Атомных станций и возобновляемых источников энергии и Электротехники и электротехнологических систем, а также кафедры Мехатроники, автоматизации и электроники Нижнетагильского технологического института УрФУ. Она выполняется в рамках реализации программы развития УрФУ для победителей конкурса "Молодые ученые УрФУ".

Список литературы

1. Добрачев А. А. Перспективы теплоэнергетики муниципальных образований. — В кн.: Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Тр. Международного Евразийского симпозиума, 2011.
2. Стратегия развития лесопромышленного комплекса Свердловской области на период до 2020 года (http://econom.midural.ru/sites/default/files/documents/lesoprom_kompl.pdf).
3. Самылин А., Яшин М. Современные конструкции газогенераторных установок. — ЛесПроМИнформ, 2009, № 1 (59).
4. Копытов В. В. Газификация твердых топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития. — Альтернативная энергетика и экология, 2011, № 6 (98).
5. Токарев Г. Г. Газогенераторные автомобили. — М.: Машгиз, 1955.
6. Паровые ОГР-турбины Capstone WHG125 (http://www.bpcenergy.ru/upload/bpcenergy/information_system_88/1/2/6/item_1264/information_items_property_6612.pdf).

ale772009@yandex.ru

Cogeneration power plant on the basis of CO-gas generator and the ORC-steam generator running on a biofuel

Zhukov A. V., Fedoreev S. A., Goman V. V., Shcheklein S. E.

A possibility of reducing the environmental impact of wood-processing enterprises using secondary resources — their production waste — is considered. Developing of modern cogeneration plants on the basis of a CO gas generator and the ORC-steam generator is shown expedient to provide electricity and heat supply to the remote areas with a small population. Gasification of waste wood results in production of highly liquid generator gas used later in organic Rankine cycle. Low boiling organic liquids allow the use of low heating temperature for steam formation. Prototypes of gas-generating units and ORC-steam generator are developed. Operation of the gas generator on different fuels and waste of wood processing is analyzed. A unique algorithm of gasification process control is realized in the gas-generator. The efficiency of the installation also increases due to the possibility of simultaneous generation of heat and electricity.

Keywords: waste recycling, biofuel, forestry, co-generation, gas generation, pyrolysis, automation of combustion process, low-grade heat, steam-ORC.