

КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С ВПРЫСКОМ ПАРА В ПРОЦЕССЕ УТИЛИЗАЦИИ ТКО

**М.И. Морозенко, В.В. Гришакова, С.Н. Никулина,
О.В. Яковлева, М.Е. Сафронова**

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Исследована возможность использования технологии микробиологической деградации для утилизации отходов растительного происхождения с образованием биогаза и дальнейшей генерацией электрической и тепловой энергии на базе контактной газотурбинной установки (ГТУ) небольшой мощности с глубокой утилизацией высокопотенциальной и низкопотенциальной теплоты газопаровой смеси, выходящей из газовой турбины. Более низкий температурный режим (в сравнении с ГТУ-ТЭЦ) в утилизационном теплообменнике конденсационного типа позволит применить более дешевые материалы для его изготовления и увеличить ресурс работы оборудования. Приведены данные исследований ресурсосберегающих утилизационных ГТУ указанного типа. Показано, что при использовании технологии микробиологической биодegradации вырабатывается биогаз, который используется в когенерационной контактной ГТУ, что позволяет экономить топливо и одновременно решать актуальные проблемы современных городов, связанные с обезвреживанием ТКО.

Ключевые слова: биогаз, утилизация теплоты, микробиологическая деградация, газотурбинная установка, впрыск пара, твердые коммунальные отходы

The Cogeneration Installations with Injection of Steam in the Course of Utilization

M.I. Morozenko, V.V. Grishakova, S.N. Nikulina, O.V. Yakovleva, M.E. Safronova

Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), 248000 Kaluga, Russia

The possibility of effective use of technology of microbiological degradation for recycling of a phytogenesis with receiving biogas and further development of electric and thermal energy on the basis of small-sized gas turbine installation with injection of steam with two-level utilization of warmth is investigated. Settlement indicators of efficiency of GTU with injection of steam and the utilization boiler are given. Lower temperature condition in UVK of condensation type will allow to use less expensive materials for production of the heat exchanger and to increase a work resource. It is shown that when using this technology production of biogas which it can be useful is carried out it is used for complex development of energy that promotes economical, rational optimum use of natural resources with the simultaneous solution of the current problems in the field of protection of the surrounding environment connected with utilization and neutralization of solid municipal waste of consumption and production.

Keywords: biogas, warmth utilization, microbiological degradation, gas-turbine installation, steam injection, solid municipal waste

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-04-8-11

Обезвреживание твердых коммунальных отходов (ТКО) в современной России — одна из главных экологических задач, так как наблюдается прогрессирующий рост количества ТКО, особенно в крупных городах, вызванный ростом населения, изменением социальных, экономических и технологических условий существования человека [1, 2]. Этот актуальный вопрос обсуждался на заседании Госсовета от 24.01.2017 г. и вошел в перечень поручений Президента РФ,

принятых по его итогам, и подкреплен рядом законов и нормативных актов.

В Калужской области, и особенно в г. Калуге, эта проблема стоит чрезвычайно остро.

Класс опасности	I	II	III	IV	V
Количество отходов, тыс. т	0,147	0,322	84,355	1083,915	1123,597

В г. Калуге образуется широкий спектр ТКО [3]. В 2017 г. на предприятиях области образовалось 2292,346 тыс. т отходов, из которых 1094,746 тыс. т было утилизировано, а 7,627 тыс. т

— обезврежено. Сведения об образовании отходов производства и потребления по Калужской области, систематизированные по классам опасности, приведены ниже.

Одним из основных путей решения проблемы обращения с отходами считается использование ТКО в качестве источника вторичного сырья, что обеспечивает повышение эф-

Удельные показатели эффективности традиционной ГТУ-ТЭЦ (вариант 1) и когенерационной ГТУ с впрыском пара с использованием технологии микробиологической деградации отходов (вариант 2)

Specific indicators of the effectiveness of traditional GTU-CHP (option 1) and cogeneration GTU with steam injection using the technology of microbiological degradation of waste (option 2)

Показатель	Энергоустановки	
	Вариант 1	Вариант 2
Относительная влажность воздуха на входе в установку, %	60,00	60,00
Температура на входе $T_{вх}$, К	288,00	288,00
Давление на входе $P_{вх}$, МПа	0,1013	0,1013
Температура газов на выходе, К:		
из парогенератора $T_{вых\ УПГ}$	–	393,00
из УВК конденсационного типа $T_{вых\ УВК}$	–	313,00
Давление газов на выходе парогенератора $P_{вых\ УПГ}$, МПа	–	0,1013
Степень повышения давления π_k	6,100	6,100
Температура воздуха на выходе из компрессора T_2 , К	538,56	538,56
Давление воздуха на выходе из компрессора P_2 , МПа	0,6056	0,6056
Давление на выходе из камеры сгорания $P_{зкс}$, МПа	0,5747	0,5747
Коэффициент избытка воздуха	3,3480	2,6930
Температура рабочего тела, К:		
перед турбиной T_3	1250,00	1250,00
на выходе из турбины T_4	883,41	895,58
Давление рабочего тела, МПа:		
перед турбиной P_3	0,5747	0,5916
на выходе из турбины P_4	0,1042	0,1042
Удельный расход впрыскиваемого пара d , кг/кг	–	0,1873
Температура пара $T_{пара}$, К	–	815,58
Удельный расход топлива, кг/кВт·ч	0,4173	0,2805
КПД установки, %	20,10	29,91
Удельная мощность $N_{е}$, кДж/кг:		
электрическая	168,17	310,99
тепловая	508,59	519,85
Коэффициент использования тепла топлива $K_{ит}$, %	83,90	93,90

ферментации управляется посредством программного обеспечения. В ферментере происходит переработка биомассы с образованием биогаза под действием микроорганизмов.

Перед началом процесса в ферментационную емкость загружается измельченная биомасса и заливается вода. Сюда же вносится инокулюм, затем ферментер герметично закрывается крышкой, свободный объем биореактора продувается азотом для вытеснения кислорода воздуха. По мере достижения заданной температуры в ферментере начинается процесс активной биодegradации отходов с выделением биогаза. В качестве инокулюма могут применяться сообщества микроорганизмов и простейших активного ила. При этом давление в биореакторе и риве-

ре повышается. Давление регулируется соответствующим тумблером.

Завершение процесса биодegradации определяется по прекращению выделения биогаза. После окончания процесса в ферментере остается твердый остаток, состоящий из органического и минерального компонентов, а также вода. Воду удаляют после механической фильтрации твердого остатка в нижней части биореактора. Оставшийся шлам выгружают после открытия крышки ферментера. Для поддержания оптимальной температуры в биореакторе установка снабжена системой охлаждения.

Принципиальная схема биоэнергетической установки, в которой реализуется энергетический потенциал биогаза

благодаря применению технологии микробиологической биодegradации отходов растительного происхождения в ГТУ с впрыском пара с утилизационным водогрейным котлом (УВК) для получения двух видов энергии (электрической и тепловой), показана на рисунке.

При использовании метаногенерирующих бактерий возможно получение биогаза с высоким процентным содержанием метана — более 90 %. Использование такого биогаза в качестве энергоносителя позволяет решить сразу несколько важных и актуальных в настоящее время природоохранных задач: безопасно утилизировать твердые коммунальные отходы, хранение которых, в свою очередь, загрязняет атмосферный воздух, водную среду и почву прилегающих территорий, а также даст возможность экономить и более рационально использовать невозобновляемые природные ресурсы — нефть и газ [8].

Показатели эффективности традиционной ГТУ-ТЭЦ и биоэнергетической установки с использованием технологии микробиологической утилизации отходов на базе малоразмерной когенерационной ГТУ с впрыском пара представлены в таблице. Предполагается, что когенерационная ГТУ с впрыском пара и ГТУ-ТЭЦ выполнены на базе одного двигателя.

Оценивая газотурбинные установки с впрыском пара и УВК с традиционными ГТУ-ТЭЦ следует подчеркнуть их преимущества:

- повышение удельной электрической мощности на 70–90 % (относительных);
- повышение эффективности КПД на 48–67 % (относительных);
- обеспечение дополнительной тепловой мощности в водогрейном котле;
- увеличение коэффициента использования тепла топлива до 90 % и выше;
- улучшение экологических показателей в результате по-

давления генерации токсичных компонентов двухкаскадной утилизацией теплоты после газовой турбины.

Оптимальный режим в рассматриваемой установке с впрыском пара, как и для любой ГТУ, выбирается исходя из оптимальных параметров цикла: значения степени повышения давления в цикле и температуры газа перед турбиной.

В заключение следует отметить, что использование когенерационной установки с впрыском пара с применением альтернативных видов топлива позволит получить значительный эколого-экономический эффект, сохранить невозобновляемые природные ресурсы, а также повысить эффективность преобразования содержащейся в биогазе энергии в электричество и тепло. Уста-

новлено, что при применении впрыска водяного пара в газовую турбину эффективность работы установки повышается.

Результаты исследований могут быть реализованы благодаря применению утилизационных ГТУ небольшой мощности в качестве автономного источника энергообеспечения и теплоснабжения в отдаленных от энергосистем районах.

Литература

1. Морозенко М.И., Кусачева С.А., Черняев С.И. Оценка технико-экономических показателей технологии пароплазменной газификации твердых коммунальных отходов, а также отходов производства и потребления. Современные наукоемкие технологии. 2016. №6. С. 60–64.
2. Каплина С.П. Семенова М.В. Дзюба К.С. Андронов С.В. Каманина И.З. Старостина И.А. Твердые коммунальные отходы как вторичные материальные ресурсы (на примере города Дубна Московской области). Успехи современного естествознания. 2018. № 2 С. 93–98.
3. Доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2017 году. Министерство природных ресурсов и экологии Калужской области. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.admoblkaluga.ru/sub/ecology/OOC.html> / (дата обращения 2.12.2018).
4. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Основные положения. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energsovet.ru/stat835.html> (дата обращения 16.05.2018).
5. Морозенко М.И., Черняев С.И., Попова Е.В., Морозенко Д.Н., Карева Е.О. Исследование характеристик генераторного газа при пароплазменной газификации ТБО. Успехи современного естествознания. 2016. № 5 (часть 1). С. 141–147.
6. Сафронова С.А. Эколого-гигиеническое обоснование технологии биodeградации пищевых отходов применительно к задачам жизнеобеспечения гермообъектов и других открытых антропоэкосистем. Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 14.00.32; 03.00.16. Калуга, 2002. 20 с.
7. Морозенко Д.Н., Кусачева С.А., Черняев С.И. Производство электрической и тепловой энергии в процессе утилизации твердых бытовых отходов. Международный журнал прикладных исследований. 2016. №7 (часть 6). С. 943–948.
8. Кусачева С.А., Морозенко М.И., Черняев С.И., Жукова Ю.М. Фундаментальные и прикладные аспекты производства биоэлектрической энергии. Фундаментальные исследования. 2015. № 6. С. 479–484.

References

1. Morozenko M.I., Kusacheva S.A., Chernyaev S.I. Otsenka tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei tekhnologii paroplazmennoi gazifikatsii tverdykh kommunal'nykh otkhodov, a takzhe otkhodov proizvodstva i potrebleniya. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2016. №6. С. 60–64.
2. Kaplina S.P. Semenova M.V. Dzyuba K.S. Andronov S.V. Kamanina I.Z. Starostina I.A. Tverdye kommunal'nye otkhody kak vtorychnye material'nye resursy (na primere goroda Dubna Moskovskoi oblasti). Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 2 S. 93–98.
3. Doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okhrane okruzhayushchei sredy na territorii Kaluzhskoi oblasti v 2017 godu. Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii Kaluzhskoi oblasti. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.admoblkaluga.ru/sub/ecology/OOC.html> / (data obrashcheniya 2.12.2018).
4. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2035 goda. Osnovnye polozheniya. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.energsovet.ru/stat835.html> (data obrashcheniya 16.05.2018).
5. Morozenko M.I., Chernyaev S.I., Popova E.V., Morozenko D.N., Kareva E.O. Issledovanie kharakteristik generatornogo gaza pri paroplazmennoi gazifikatsii TBO. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2016. № 5 (chast' 1). S. 141–147.
6. Safronova S.A. Ekologo-gigienicheskoe obosnovanie tekhnologii biodegradatsii pishchevykh otkhodov primenitel'no k zadacham zhizneobespecheniya germoob'ektov i drugikh otkrytykh antropoekosistem. Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 14.00.32; 03.00.16. Kaluga, 2002. 20 s.
7. Morozenko D.N., Kusacheva S.A., Chernyaev S.I. Proizvodstvo elektricheskoi i teplovoi energii v protsesse utilizatsii tverdykh bytovykh otkhodov. Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh issledovaniy. 2016. №7 (chast' 6). S. 943–948.
8. Kusacheva S.A., Morozenko M.I., Chernyaev S.I., Zhukova Yu.M. Fundamental'nye i prikladnye aspekty proizvodstva bioelektricheskoi energii. Fundamental'nye issledovaniya. 2015. № 6. С. 479–484.

М.И. Морозенко – канд. техн. наук, доцент, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, 248000 Россия, г. Калуга, ул. Баженова 2, e-mail: morozenko_mi@mail.ru
 ● В.В. Гришаква – ст. преподаватель, e-mail: Voinsveta579@mail.ru ● С.Н. Никулина – канд. техн. наук, доцент, e-mail: Voinsveta579@mail.ru ● О.В. Яковлева – канд. техн. наук, доцент, e-mail: yakowlewaolga24@mail.ru ● М.Е. Сафронова – студентка, e-mail: Svetlaya.dom@mail.ru

M.I. Morozenko – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), 248000 Russia, Kaluga, Bazhenov Str. 2, e-mail: morozenko_mi@mail.ru ● V.V. Grishakova – Senior Lecturer, e-mail: Voinsveta579@mail.ru ● S.N. Nikulina – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, e-mail: Voinsveta579@mail.ru ● O.V. Yakovleva – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, e-mail: yakowlewaolga24@mail.ru ● M.E. Safronova – Student, e-mail: Svetlaya.dom@mail.ru