

УДК 621.3

МЕДВЕДЕВА А.Н., студент гр. 10606122 (БНТУ)
Научный руководитель ПАНТЕЛЕЙ Н.В., ст. преподаватель (БНТУ)
г. Минск

СРАВНЕНИЕ МИКРОТУРБИН И ГАЗОПОРШНЕВЫХ АГРЕГАТОВ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОГАЗЕ

Для повышения энергоэффективности и рационального использования органических отходов, включая сельскохозяйственные отходы и отходы жизнедеятельности, существуют и уже эксплуатируются биогазовые установки, которые можно установить как вблизи предприятий аграрной промышленности и водоочистных сооружений, так и на территории теплоэлектростанций. Такие установки позволяют переработать органические отходы в биогаз с последующим его использованием для производства тепла и электроэнергии. Станции с комбинированной выработкой тепла и электричества называют когенерационными, а сам процесс преобразования – когенерацией. Данные технологии не только позволяют производить электроэнергию и тепло, но также способствуют переходу к экологически более чистым источникам энергии, отвечая современным стандартам энергоэффективности и стремления к сокращению выбросов углекислого газа.

Преимущество когенерационных установок заключается в их высокой энергоэффективности, позволяющей использовать топливные ресурсы с максимальной выгодой в денежном эквиваленте, что крайне тяжело достигается при раздельном производстве тепло- и электроэнергии.

Эффективное использование первичных энергоресурсов является ключевым фактором, определяющим перспективность когенерационных технологий в энергетике. Стремление к ресурсосбережению в настоящее время стало одной из важных задач для многих государств, и в конечном итоге именно когенерация проявила себя как одно из наиболее эффективных решений.

Когенерация позволяет значительно повысить КПД использования топлива по сравнению с традиционными методами. В отличие от электростанций, которые выбрасывают значительное количество тепловой энергии в окружающую среду, когенерационные установки используют это тепло для отопления, горячего водоснабжения или технологических процессов. Это принципиальное отличие обеспечивает существенную экономию топлива и снижает выбросы вредных веществ в атмосферу.

Одним из важных преимуществ когенерационных систем является их гибкость в выборе топлива. Они способны работать на различных видах сырья, что делает их универсальными и позволяет им работать бесперебойно на местных видах топлива. Источником энергии для когенерационных систем может выступать не только природный газ, который традиционно используется в качестве топлива для таких установок, но и целый ряд других газообразных химических

веществ: пропан, бутан, попутный нефтяной газ (ПНГ), различные газы химической промышленности, древесный газ, биогаз, даже пиролизный газ, образующийся при высокотемпературной обработке органических веществ и т.д. Такой широкий спектр возможных видов топлива позволяет оптимизировать работу когенерационной установки под конкретные условия, используя доступные и экономически выгодные ресурсы.

Современный уровень технологического развития позволяет подобрать оптимальный тип когенерационной установки для любого региона с учетом специфики доступных газообразных топлив. В этой связи инженеры могут разработать и реализовать проекты, учитывающие все особенности местной энергетической инфраструктуры и потребности в тепле и электроэнергии, что включает в себя оценку эффективности различных типов установок, подбор оптимального оборудования, разработку системы автоматического управления и контроля, а также проведение необходимых экологических экспертиз. Благодаря такому комплексному подходу когенерация становится всё более востребованной технологией, способствующей снижению энергетической зависимости и улучшению экологической обстановки.

В зависимости от типа двигателя различают следующие когенерационные установки:

- газотурбинные;
- газопоршневые;
- микротурбинные.

Среди наиболее перспективных проектов выделяются когенерационные электростанции, использующие микротурбинное оборудование. Интерес к таким установкам обусловлен их особыми техническими характеристиками, в частности, способностью работать без предварительной обработки газа на различных видах топлива.

Для выявления преимущества работы станций с микротурбинным оборудованием необходимо провести сравнение с уже существующими маломощными станциями, использующими газопоршневое оборудование, поскольку эта технология применяется достаточно давно и на данный момент является устойчивой эксплуатируемой системой.

В том секторе энергетики, который отвечает за энергоснабжение отдельных предприятий и районов, мини-ТЭЦ (теплоэлектроцентрали небольшой мощности) играют всё более важную роль. Среди различных типов мини-ТЭЦ, газотурбинные и газопоршневые занимают лидирующие позиции, и каждая имеет свои преимущества и области применения.

Так, газотурбинные мини-ТЭЦ являются энергетическими установками, использующими в качестве основного двигателя газовую турбину, приводящую в движение вал электрогенератора. Такие установки чаще всего используются для крупных промышленных потребителей, нуждающихся в значительных объёмах электроэнергии – их эффективная работа начинается с мощности около 6 МВт и выше. Целесообразность применения газотурбинных мини-ТЭЦ напрямую свя-

зана с масштабом энергопотребления. Необходимость в меньшей мощности потребления требует более экономичного варианта: например, можно эксплуатировать газопоршневые установки [2].

Газопоршневые мини-ТЭЦ, в отличие от своих газотурбинных «собратьев», применяют поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС), работающие на газообразном топливе, для привода электрогенератора. На сегодняшний день это наиболее распространённый тип когенерационных систем малой и средней мощности. Их популярность объясняется высокой экономической эффективностью в диапазоне мощностей, не требующих применения крупных газотурбинных установок. Более того, многие современные газопоршневые мини-ТЭЦ обладают значительным преимуществом: они способны к тригенерации, т.е. выработке не только электроэнергии и тепла, но также и холода. Это особенно актуально для промышленных предприятий, требующих охлаждения оборудования или обеспечения систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Тригенерация позволяет значительно повысить эффективность использования топлива и снизить общие эксплуатационные расходы.

Основным топливом для мини-ТЭЦ, в том числе и газопоршневых, является природный газ. Однако, как уже говорилось, в настоящее время достижения в области энергетики позволяют расширить спектр возможных источников энергии для таких установок. Сегодня широко применяются как высококалорийные газообразные топлива, такие как пропан и бутан, обеспечивающие высокую энергоэффективность, так и низкокалорийные, к которым относятся древесный газ, коксовый газ, пиролизный газ, попутный нефтяной и биогаз, производимый из органических отходов. Такое разнообразие выбора топлива позволяет газопоршневым агрегатам (ГПА) быть универсальными, адаптироваться к различным условиям эксплуатации и работать на местных видах топлива, не требуя при этом специальных модификаций. Многие современные модели газопоршневых установок даже допускают плавное переключение между различными типами газового топлива без необходимости проведения сложных и дорогостоящих ремонтных работ или замены оборудования, что существенно упрощает их эксплуатацию и обслуживание.

Одним из наиболее важных достоинств ГПА является их способность эффективно работать при частичных нагрузках. В отличие от некоторых других типов оборудования, газопоршневые агрегаты демонстрируют высокую эффективность даже при снижении нагрузки до 30-50% от номинальной мощности. Замечательно, что при работе в этом диапазоне снижение электрического КПД незначительно: это свидетельствует о возможности эффективной работы даже при переменных нагрузках и является существенным преимуществом в условиях неравномерного энергопотребления.

Ещё одной важной характеристикой является высокий КПД топливоиспользования, который может достигать 90%. Это означает, что большая часть энергии преобразуется в полезную работу, что делает газопоршневые мини-ТЭЦ экономически выгодными в долгосрочной перспективе. Высокий КПД в сочетании с длительным ресурсом работы и гибкостью в выборе топлива делает газопоршне-

вые мини-ТЭЦ привлекательным вариантом для различных отраслей промышленности и коммунальной сферы. Таким образом, выбор между газотурбинными и газопоршневыми мини-ТЭЦ напрямую зависит от конкретных потребностей в мощности и от специфики технологического процесса.

Микротурбинные когенерационные системы являются перспективным решением в области комбинированной выработки энергии, сочетающей производство тепла и электроэнергии посредством небольшой газовой турбины мощностью от 25 до 300 кВт. Отличительной чертой микротурбин является её конструкция, включающая единственный врачающийся элемент – вал, объединяющий турбину, генератор и компрессор. Подобная компоновка обеспечивает надежность и компактность устройства. Ключевое достоинство микротурбин – способность эффективно функционировать при любой нагрузке (от 0 до 100%) без ущерба для срока службы. Кроме того, они характеризуются низким уровнем шума и экологичностью, что позволяет использовать их в городской среде.

Основным ограничением микротурбинных установок по сравнению с газопоршневыми аналогами является более высокая стоимость электроэнергии (1600-1800 долларов за 1 кВт [1]). Существенная разница в цене объясняется тем, что микротурбины – относительно новая технология, внедрение которой началось в конце 90-х годов, в то время как газопоршневые мини-ТЭЦ — достаточно старая и проверенная технология с уже выявленными преимуществами и недостатками эксплуатации.

Получение энергии из биогаза посредством использования газопоршневых генераторов представляет собой распространенную и хорошо отработанную технологию. Генератор, обычно работающий на частоте 50 Гц и выдающий напряжение 400 В, напрямую соединен с выходным валом двигателя. Для поддержания стабильной частоты 50 Гц, необходимой для синхронной работы с энергосетью, используется сложная электронная система управления. Эта система позволяет контролировать скорость вращения вала и регулировать подачу топлива в двигатель, обеспечивая точное соответствие частоты вращения генератора требуемой частоте сети.

Примечательно, что установка комбинированной генерации, типичная для газопоршневых систем, позволяет эффективно использовать тепло, которое обычно теряется в процессе сгорания топлива. Это тепло может применяться для отопления помещений или технологических процессов, существенно снижая общие затраты на энергообеспечение. Экономический эффект от такого подхода значителен и, согласно оценкам, позволяет сократить годовые расходы на электроэнергию примерно на 100 \$/кВт [3].

Газотурбинные мини-ТЭЦ, в отличие от газопоршневых установок, характеризуются значительно более высокой частотой вращения турбины, что обуславливается конструктивными особенностями агрегата. Однако высокая частота вращения создает большой момент инерции, из-за чего резкое изменение частоты вращения турбины затруднительно, а порой даже невозможно. Поэтому в установках такого рода используется генератор постоянного тока. Для преобразования полученной энергии в переменный ток с необходимыми параметрами напряжения и частоты используется инвертор. Также для сглаживания колебаний

нагрузки в системах с переменным энергопотреблением в микрогазотурбинных установках используются аккумуляторные батареи. Аккумуляторы эффективно компенсируют скачки напряжения, обеспечивая более стабильное и надежное энергоснабжение потребителя. Однако стоит учесть, что их применение достаточно затратно, а их цена возрастает с увеличением мощности станции, что существенно удорожает всю конструкцию; следовательно, увеличивается и удельная стоимость одного киловатта электрической мощности. Тогда можем сделать вывод о том, что, несмотря на более высокую стоимость технического обслуживания и меньший срок службы до капитального ремонта, газопоршневые агрегаты (ГПА) обладают существенным преимуществом в плане капитальных затрат на единицу мощности [4].

Для сравнения двигателей также рассмотрим установки приблизительно одинаковой мощности: фирмы Jenbacher (производитель ГПА) и фирмы Capstone (производитель микро-ГТУ) [1]. Все данные сравнения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение ГПА и микро-ГТУ

Критерии сравнения	GE Jenbacher 416	Capstone C1000
Электрическая мощность (кВт)	1189	1000
Тепловая мощность (кВт)	1187	1424
Расход газа (м ³ /час)	289	325
Удельный расход газа (м ³ /кВт · час)	0,12	0,13
Соотношение тепловой нагрузки к электрической	1	1,42
Регулировочный диапазон	0 – 100	50 – 100
Вес	14200	12927

По результатам сравнения можно сделать вывод, что тепловая мощность у микро-ГТУ немного больше, чем у ГПА, однако турбинное оборудование требует большее количество газа для получения энергии и имеет меньший регулировочный диапазон. Исходя из таблицы, также можно сказать, что использование ГПА более эффективно для выработки электроэнергии, чем микротурбинное оборудование, однако менее эффективно при выработке тепловой энергии.

Газопоршневые двигатели, несмотря на распространенность, также обладают существенными недостатками. Главной их проблемой является высокая чувствительность к примесям, присутствующим в биогазе. Даже небольшие количества агрессивных газов, таких как аммиак (NH_4) и сероводород (H_2S), могут негативно воздействовать на работу установки. Содержание NH_4 и H_2S в топливе приводит к коррозии цилиндров, поршней и выхлопных труб, окислению масла и изменению его химического состава и, как следствие, потере смазывающих и защитных свойств. В итоге из-за снижения смазки происходит повышенный износ трущихся частей, что значительно сокращает срок службы двигателя. Потеря смазочных свойств масла также может привести к заклиниванию поршня или

других движущихся частей, что приведет к необходимости дорогостоящего ремонта или полной замены двигателя. Кроме того, к нарушениям работы ГПА может привести повышенное содержание в биогазе углекислого газа (CO_2), который существенно влияет на детонационные свойства топливно-воздушной смеси. Углекислый газ имеет большую инертность и разбавляет горючую смесь, снижая ее энергетическую плотность, что затрудняет процесс горения и требует более сложной системы управления зажиганием. Неисправность, вызванная неконтролируемым горением из-за наличия CO_2 , может привести к перегреву двигателя, повреждению поршней и цилиндров, а также к увеличению выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Несмотря на то, что работа на газообразном топливе считается более щадящим режимом для поршневых двигателей по сравнению с работой на жидким топливом, вышеупомянутые негативные факторы, связанные с использованием биогаза, существенно ограничивают срок службы ГПА. Это приводит к необходимости частых ремонтов и замены деталей, а также значительно более высоким эксплуатационным расходам по сравнению с первоначальными прогнозами, что в ряде случаев делает использование газопоршневых двигателей для работы на биогазе экономически невыгодным в долгосрочной перспективе [4].

В качестве альтернативы газопоршневым установкам предлагается использовать микротурбинное оборудование, работающее в когенерационном режиме. Микротурбины характеризуются существенно большей эффективностью использования топлива – почти на 25% выше, чем у ГПА. Помимо этого, эксплуатационные затраты на микротурбины вдвое ниже, чем у традиционных газопоршневых установок. Это достигается за счёт более высокой надежности, меньшего износа деталей и более простой системы обслуживания. К другим преимуществам микротурбин можно отнести более низкий уровень шума во время работы, что делает их более удобными для использования в жилых районах. Выхлопные газы микротурбин значительно чище, что способствует снижению негативного воздействия на экологическую обстановку. Небольшие габариты и низкий уровень вибрации позволяют устанавливать микротурбины даже на крышах зданий, что расширяет возможности их применения. К преимуществам микро-ГТУ также относятся воздушная система охлаждения и возможность компактного размещения котла-utiлизатора внутри энергоблока. Все эти факторы позволяют применять микро-ГТУ на объектах с неравномерным потреблением электроэнергии, главной задачей энергоснабжения которых является покрытие собственных нужд электроэнергии, а не экономия ресурсов, а также на объектах, где за счёт высокой стоимости присоединения к энергосетям подключение к ним экономически нецелесообразно.

Использование микротурбинной мини-ТЭЦ может быть финансово оправдано в диапазоне мощностей до 200 кВт и в том случае, если ключевые преимущества турбоустановок имеют принципиальное значение. Газопоршневые установки, в свою очередь, представлены в диапазоне единичных мощностей от 250 кВт до 6 МВт.

В итоге можно сделать вывод о том, что применение газопоршневых и микротурбинных агрегатов имеет свои преимущества и недостатки. Установка оборудования зависит от нужд потребителя, от значимости для него ключевых преимуществ той или иной установки.

Список литературы:

1. Микротурбины и газопоршневые двигатели — сравнение эффективности [Электронный ресурс]. Код доступа: <https://eneeca.by/novosti/energetika-i-energoeffektivnost/gazoporshnevoy-agregat-ili-mikroturbinnaya-ustanovka/>
2. Микротурбины и газопоршневые двигатели — сравнение эффективности [Электронный ресурс]. Код доступа: <https://fas.su/новости/публикации/микротурбины-и-газопоршневые-двигатели---сравнение-эффективности>
3. Баадер, В. Биогаз: теория и практика (Пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного.) / Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. — Москва: Колос, 1982.— 148 с.
4. Газовая турбина и газопоршневой двигатель в системах электроснабжения агропромышленных предприятий / А.А. Виноградов, В.В. Недосеков, А.Ю. Мамонтов, Н.О. Шаршуков // Энергобезопасность и энергосбережение // Диагностика и надёжность энергооборудования. – 2016. – №2 – С.31 – 34.