

# ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ – МИКРОТУРБИНЫ

**Долгое время в России централизованная энергетика не имела достаточного финансирования, и, как следствие, применяемое оборудование и технологии морально и физически устарели. Механизм реформирования энергетической отрасли был запущен совсем недавно.**

## РАСШИРЯЯ ДИАПАЗОН РЕШЕНИЙ

Для устранения существующих проблем, по оценке специалистов, потребуются огромные инвестиции и не менее 5 лет для получения первых ощутимых результатов. В сложившейся ситуации первостепенную роль играет выработка нового подхода к энергообеспечению потребителей, способного поддержать отрасль в период реформ и впоследствии стать качественным дополнением энергетической инфраструктуры страны. Малая энергетика и автономная генерация вполне могли бы стать такой опорой.

Внедрение ведущих мировых достижений в области теплоэнергоснабжения и приход на российский рынок нового поколения генерирующего оборудования уже дали ощутимый импульс развитию малой энергетике в России, ранее сдерживаемому слабой отечественной материально-технической базой. В качестве примера возможностей малой энергетике можно привести выход на российский рынок таких современных источников выработки энергии, как микротурбинные электростанции.

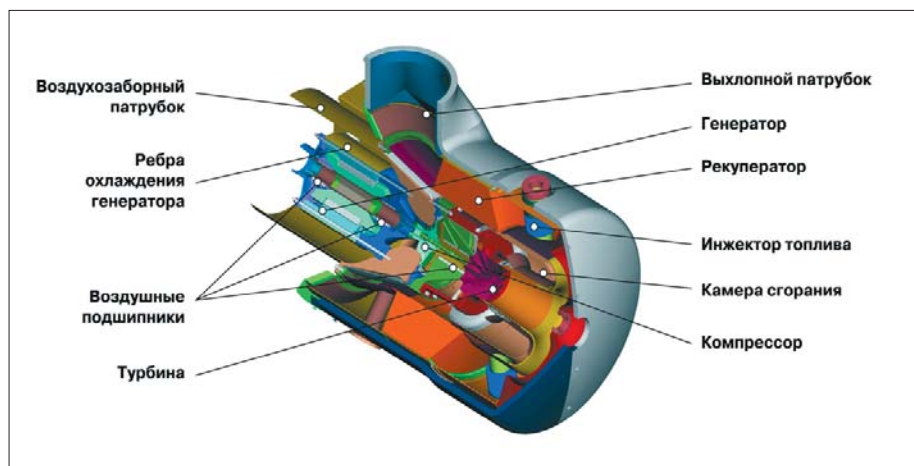
В России на данный момент представлены всего три торговые марки: Capstone Turbine Corporation (США), Calnetix Power Solution (США) и Turbес (Швеция). Более 70% российского рынка микротурбинных установок на сегодняшний день принадлежит оборудованию фирмы Capstone — более 400 МТУ. Еще около 100 установленных в России МТУ приходится на фирму Calnetix. Микротурбинные установки позволяют осуществлять энергоснабжение на основании концепции распределенной энергетике, которая уже давно и эффективно используется во многих странах мира. В соответствии с этой концепцией производители электроэнергии и тепла максимально приближены к потребителю и сбалансированы с ним по нагрузке. Новейшие технические разработки в этом направлении (например, микротурбины Capstone) некоторыми специалистами выделяются даже в отдельный класс энергетических установок.

Как и любая серьезная инновация, первые микротурбины, «дебютировавшие» на мировом рынке, сначала столкнулись с консерватизмом потребителей и скепсисом конкурентов. Но уже через несколько лет подобные энергоустановки получили широкое распространение во всем мире. Микротурбины последнего поколения сродни персональному компьютеру, при этом их система управления отличается простотой и подчинена главному принципу — «включи и работай».

По прогнозам специалистов, в обозримом будущем микротурбины вполне могут стать неотъемлемым компонентом (аналогично IT-технологиям) глобальной эко-

## ПРЕДПОСЫЛКИ РОСТА

Конструктивные особенности и потребительские свойства современных микротурбин отвечают актуальным требованиям по энергоэффективности и делают их перспективными для широкого промышленного применения. К примеру, микротурбинный двигатель Capstone состоит всего из одной движущейся детали — вращающегося вала, на котором соосно расположены электрический генератор, компрессор и непосредственно турбина. В установке не используются редукторы или другие механические приводы, что объективно повышает надежность работы установки в целом. Инновационной конструктивной особен-



номической инфраструктуры. Удовлетворение растущих потребностей в качественной энергии всевозможных объектов (от муниципальных образований, школ и больниц, стадионов и аквапарков до торговых и развлекательных центров, предприятий транспорта и связи, частных жилых домов, промышленных предприятий самых различных отраслей экономики) требует постоянного внедрения новых надежных и энергоэффективных разработок. Рыночные механизмы в российской энергетике подталкивают потребителей к разумному инвестированию, повышению надежности и отдаче от каждого вложенного рубля, стремлению к экономии, прежде всего, в долгосрочной перспективе. Исходя из потребительских свойств и низких эксплуатационных расходов, существующих микротурбинам, совокупные инвестиции на их внедрение вполне сопоставимы, а в ряде случаев даже ниже затрат, связанных с использованием традиционных решений на основе газопоршневых и газотурбинных двигателей или дизельных генераторов.

ностью двигателя являются воздушные подшипники, которые удерживают вал ротора генератора на воздушной подушке. Воздушные подшипники обеспечивают скорость вращения вала до 96 тыс. оборотов в минуту. Внедрение этой инновации позволяет отказаться от использования масла, высокий расход которого у других видов оборудования составляет значительную часть эксплуатационных затрат. Генератор охлаждается набегающим потоком воздуха, что исключает необходимость организации системы жидкостного охлаждения и повышает надежность и экономичность оборудования. Тогда как наличие в поршневом двигателе большого количества движущихся частей создает предпосылки к механическим поломкам, в процессе работы двигателя микротурбины не возникает трения и вибраций, поэтому риск поломки существенно уменьшается.

Благодаря малому количеству регламентных запчастей, отсутствию масла и охлаждающей жидкости потребность в сервисном обслуживании микротурбин возникает не чаще одного раза за 8 тыс. часов, то

есть 1 раз в год. При этом ресурс работы до капитального ремонта достигает 60 тыс. часов, а непосредственно стоимость капитального ремонта микротурбинной установки в среднем составляет 35 – 40% от общей стоимости.

Достаточно высокий для турбогенераторов электрический КПД (до 35%) обеспечивается благодаря использованию рекуператора (воздухо-воздушного теплообменника) в конструкции микротурбинного двигателя. При этом совокупный КПД микротурбинных установок последнего поколения в режиме когенерации и тригенерации достигает 92%, а коэффициент полезного использования топлива превышает 90%.

Высокая тепловая эффективность — важное преимущество для объектов, приоритетной задачей которых является выработка тепловой энергии (например, котельные промышленных предприятий и мини-ТЭЦ). Как правило, на подобных объектах электрическая энергия потребляется на собственные нужды, а избыток тепловой энергии направляется в общий контур, повышая таким образом эффективность котельной в целом и сокращая срок окупаемости оборудования.

Дополнительные удобства для пользователей микротурбин связаны с возможностью использования различного топлива. Таким образом, энергоцентры на базе микротурбин могут одинаково эффективно работать как на традиционных видах топлива (природном и сжиженном газе, дизельном топливе и керосине), так и на низкокалорийных и высокосернистых газах (путном газе, шахтном газе и биогазе). Такая универсальность значительно расширяет сферу их применения и является одной из составляющих высокой экономической эффективности.

Современные электростанции на основе микротурбин способны работать спутными газами после их грубой механической очистки (без специальной газоподготовки), с низкокалорийными, жирными и сернистыми газами, а также газами переменного компонентного состава и калорийности. В свою очередь, газопоршневые установки могут работать на газе с содержанием серы до 0,1% и только при условии замены масла приблизительно каждые 90 дней. Они предъявляют требования к минимальному содержанию метана в топливе — на уровне 80%. Если метановое число снижается до 50%, то происходит резкое снижение КПД газопоршневого двигателя, тогда как эффективность работы микротурбин не зависит от этого показателя, они стабильно работают при содержании метана до 35%.

Кроме того, в отличие от газопоршневых установок, микротурбины могут работать на пропан-бутане без риска повреждения двигателя и каких-либо ограничений по

мощности. Микротурбины считаются одними из наиболее технологичных и экономичных решений проблем утилизации биологических отходов. Объединенные с модулями анаэробной или пиролизной газификации биологических отходов, микротурбины позволяют практически полностью перерабатывать биогаз, полученный из различных бытовых и производственных отходов, и одновременно обеспечивать потребности в электроэнергии и тепле.

Использование биогаза для выработки энергии может позволить предприятиям снизить энергоемкость производства и улучшить экологическую обстановку путем предотвращения выбросов метана в атмосферу. Получение биологических удобрений в качестве побочного продукта при производстве биогаза также повышает рентабельность биогазовых электростанций. Себестоимость электроэнергии,

ее расходы на ее содержание. Автоматизированная система мониторинга и управления дает возможность удаленного контроля всех параметров работы микротурбин. Контроль осуществляется посредством микропроцессорной системы автоматического управления через GSM модем, координирующий работу установок вне зависимости от их расположения. Это позволяет размещать микротурбины в труднодоступных районах и на необслуживаемых объектах, таких, как удаленные месторождения, радиорелейные станции и линейная часть газопроводов.

Современные микротурбины способны работать в диапазоне от 1 до 100% нагрузки без сокращения ресурса работы и потери эффективности. Широкое использование цифровых технологий, в частности, принципа двойного инвестирования вместо механической связи с нагрузкой у



производимой биогазовыми микротурбинными электростанциями из условно бесплатного сырья, в 10 – 15 раз ниже сетевых тарифов. Низкие рабочие температуры микротурбинного двигателя снижают уровень эмиссии окислов азота, благодаря чему уровень выбросов CO и NOx не превышает 9 ppm (10 – 15 мг/куб. м), что в десятки раз ниже выбросов любого газопоршневого двигателя (200 – 500 мг/куб. м). Это позволяет отнести микротурбины к одному из самых экологически чистых источников генерации энергии.

#### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Микротурбинная электростанция работает в полностью автоматическом режиме и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала, что также снижа-

ет традиционных генераторов, обеспечивает стопроцентную эластичность к нагрузке: микротурбина следит за профилем потребления и устойчиво работает как на полной мощности, так и на самых малых нагрузках, обеспечивая оптимальный расход топлива. Благодаря этому не возникает проблемы выработки излишков электроэнергии при падении нагрузки и, следовательно, не требуется сбрасывать эти излишки в сеть.

Цифровой инвертор, применяемый в конструкции микротурбин последнего поколения, обладает трехкратным запасом надежности по максимальному току, что практически исключает вероятность его выхода из строя. Использование каскада (кластера) независимых микротурбин позволяет обеспечить гарантированное энергоснабжение объекта, а также осуществ-



влять сервисное обслуживание, не прерывая подачу электроэнергии. При этом отсутствует необходимость избыточного резервирования устанавливаемых мощностей. Например, за счет высокой степени внутреннего резервирования конструкция новейших микротурбинных систем позволяет отказаться от приобретения резервной установки большой единичной мощности, что характерно для газопоршневых электростанций.

В ряде случаев стоимость каскадного проекта на основе газопоршневых установок, аналогичного по функциональности микротурбинной электростанции, оказывается сравнима или даже выше. В отличие от газопоршневых и дизельных станций, микротурбины не требуют больших финансовых и трудовых затрат на проектные, строительные и монтажные работы благодаря высокой степени заводской готовности поставляемого оборудования, легкости его монтажа и запуска в работу.

Применение микротурбин исключает необходимость специальной шумоизоляции помещения, так как при их работе возникают только высокочастотные шумы. В основном они идут от зоны забора (всасывания) воздуха в микротурбину и не превышают 60 дБ. От таких шумов легко избавиться с помощью обычных шумозащитных экранов. При работе газопоршневых и дизельных двигателей возникают низкочастотные шумы. Для защиты от них необходимо применить капитальную систему шумоизоляции помещения с использованием специальных шумозащитных материалов. Эти работы являются более трудоемкими и более затратными.

За счет высокой экологичности выбросов и отсутствия вибрации в процессе работы микротурбины позволяют отказаться от строительства высоких дымовых труб и специального фундамента, что также снижает трудоемкость и капитальные затраты на строительство энергоцентра. Кроме того, микротурбины можно без ограничений размещать на крышах зданий.

Наряду с надежностью и высокой экономической эффективностью одним из основных преимуществ микротурбин считается их неприхотливость и низкие затраты в процессе эксплуатации. Ежегодные регламентные работы занимают около 1,5 часов на одну микротурбину и на протяжении первых 2–3 лет включают в себя только визуальный осмотр, диагностику и замену воздушных фильтров, инжекторов, термопар и свечей зажигания. Дополнительные работы, связанные с заменой регламентных запчастей занимают также не более нескольких часов. Они проводятся раз в 2,5–3 года (через каждые 20 тыс. моточасов) и тоже не являются сложными. При наработке 60 тыс. часов производят диагностику и замену горячей части двига-

теля микротурбины, что аналогично «среднему» ремонту газопоршневой установки, который необходимо выполнять как минимум каждые 25–30 тыс. часов. Сервисное обслуживание и капитальный ремонт микротурбины производятся непосредственно на месте эксплуатации и не требуют специального подъемно-транспортного оборудования.

С целью максимальной оптимизации затрат на сервисное обслуживание заказчик может приобрести сервисный контракт на 5 или 9 лет с фиксированной стоимостью и тем самым четко спланировать все расходы на эксплуатацию оборудования в течение всего срока действия контракта, а также застраховать себя от риска повышения цен на запчасти и сервисные работы. Регламент обслуживания газопоршневых и дизельных установок предполагает круглосуточный контроль, проведение регулярных проверок и добавления расходных материалов. Обычно срок замены масла составляет 500–2 000 моточасов (в зависимости от марки двигателя и масла). Раз в год требуется замена охлаждающей жидкости в двигателе и системе теплоутилизации. Одновременно с маслом меняют и масляные фильтры. Сервисное обслуживание газопоршневой установки, связанное с заменой запчастей по регламенту, и средний ремонт могут длиться несколько дней. Поэтому в состав энергоцентров обычно включают дополнительную (резервную) газопоршневую установку, что изначально удорожает проект.

Как правило, контроль работы микротурбин на объектах возлагается на одного-двух прошедших обучение специалистов, которые при этом могут совмещать обязанности электрика или главного энергетика, так как микротурбины не требуют круглосуточного наблюдения. На большинстве объектов, где эксплуатируются газопоршневые установки, за их работой круглосуточно следит дежурная смена в составе 1–3 человек и более, в зависимости от размера энергоцентра. Непрерывную работу энергоцентра обычно обеспечивают четыре смены специалистов во главе с начальником смены, который подчиняется главному энергетiku или главному инженеру. А высокие затраты на обслуживающий персонал сказываются непосредственно на себестоимости вырабатываемой энергии.

### ЭКОНОМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ

Средняя стоимость электростанции на основе микротурбин, по данным специалистов, составляет порядка 1 500–2 500 долларов за 1 кВт установленной мощности. При этом благодаря низким эксплуатационным затратам — 15–25 копеек — себестоимость вырабатываемой электроэнергии составляет 0,9–1,5 рубля за 1 кВт·ч, в зависимости от индивидуальных особенностей проекта. Благодаря тому, что стоимость эксплуатации

микротурбин примерно в 4 раза ниже, чем газопоршневой установки, себестоимость выработки 1 кВт·ч электроэнергии при использовании микротурбин оказывается примерно на 15–30% ниже, чем при применении газопоршневой установки. Это является основным показателем высокой экономической эффективности микротурбин.

Дополнительно в режиме когенерации и тригенерации возможно условно бесплатное получение до 2 кВт тепловой энергии и 1,3 кВт холода на 1 кВт выработанной электроэнергии. Таким образом, срок окупаемости электростанции на промышленных объектах в среднем составляет 3–5 лет.

Несмотря на то, что микротурбины как технология появились значительно позднее, чем другие виды энергогенерирующего оборудования, они уже успели зарекомендовать себя в качестве надежного и эффективного источника энергии, полностью подтвердив заявленные характеристики. На сегодняшний день в России микротурбинные установки нашли широкое применение при обустройстве нефтегазовых месторождений, объектов газотранспортной инфраструктуры и организации энергоснабжения таких труднодоступных объектов, как радиорелейные станции. «Гибкость» микротурбин к составу топлива делает особенно целесообразным их применение в проектах утилизации попутного нефтяного газа. В сфере ЖКХ микротурбины применяются для энергоснабжения поселков, новых микрорайонов и частных жилых домов, находящихся в удалении от тепловых и электрических сетей, а также при реконструкции городских и квартальных котельных и мини-ТЭЦ. Высокая экологичность позволила микротурбинам стать оптимальным решением для энергоснабжения объектов природоохранных и туристических зон (курортов, горнолыжных и спортивно-оздоровительных комплексов). Когенерационные и тригенерационные электростанции на базе микротурбин обеспечивают надежное энергоснабжение объектов с неравномерным потреблением (офисно-складские и торгово-развлекательные комплексы) и многих других объектов, как социальных, так и промышленных.

В прошлом году на рынок вышли микротурбинные системы номинальной мощностью 600 кВт — 1 МВт, что значительно расширило сферу применения микротурбин в самых разных отраслях экономики. Эксперты отмечают увеличение востребованности источников автономной генерации, которые позволяют потребителям повысить энергобезопасность своих объектов, а также экономить не только в краткосрочной перспективе на капитальных затратах, но и в процессе всего срока эксплуатации оборудования.

Андрей РИККИНЕН