

МИКРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ CAPSTONE



Содержание

01	Введение
02	О компании Capstone Turbine Corporation
03	Передовые микротурбинные технологии Capstone
03	Ключевые свойства микротурбин Capstone
04	Преимущества автономных электростанций на базе микротурбин
04	Модельный ряд
05	Области применения
06	Микротурбины Capstone
06	Принцип работы
08	Режимы работы
09	Потребляемое топливо
09	Варианты размещения микротурбин
09	Внешний вид микротурбинной установки
10	Устройство микротурбинной установки
11	Конструкция турбогенератора
13	Топливная система
13	Камера сгорания
13	Система контроля и управления
14	Пульт управления
15	Варианты комплектации
16	Технические характеристики базовых моделей микротурбин Capstone
17	Мировой опыт практического применения микротурбин Capstone
19	О компании БПЦ Инжиниринг

Введение

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. Для устранения существующих проблем 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, в последствии, стать качественным дополнением энергетической инфраструктуры страны. Малая энергетика и автономная генерация вполне могли бы стать такой опорой. Но для оптимизации электро- и теплоснабжения необходимо применение инновационных технологий и оборудования.

Такие технологии существуют! Современные источники выработки энергии — микротурбины Capstone — компактные, надежные и экономичные, 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. Трансфер ведущих мировых достижений в области теплоэнергоснабжения и приход на российский рынок нового поколения генерирующего оборудования, такого как Capstone, дали мощный импульс к развитию малой энергетике в России, сдерживаемому слабой отечественной материально-технической базой. Новейшие технические разработки и более чем 100 патентов позволяют выделить микротурбины Capstone в отдельный класс энергетических установок.

Как и любая знаковая инновация — микротурбины, придя на мировой рынок, столкнулись с консерватизмом потребителей и скепсисом конкурентов. Но уже через несколько лет стали очевидны их преимущества, и энергоустановки Capstone получили широкое распространение во всем мире. Микротурбины Capstone сродни персональному компьютеру, их система управления максимально проста для пользователя и подчинена главному принципу «включи и работай». Пройдет еще несколько лет и микротурбины, как в свое время компьютерные технологии, станут незаменимым атрибутом глобальной экономической инфраструктуры, снабжая качественной энергией всевозможные объекты: муниципальные образования, торговые и развлекательные центры, школы и больницы, стадионы и аквапарки, предприятия транспорта и связи, частные жилые дома, промышленные предприятия самых различных отраслей экономики.

Рыночные механизмы в российской энергетике подталкивают потребителей к разумному инвестированию, повышению надежности и отдачи от каждого вложенного рубля, стремлению к экономии, прежде всего, в долгосрочной перспективе. Учитывая низкие эксплуатационные расходы, совокупные затраты на внедрение микротурбин сравнимы, а в ряде случаев даже ниже традиционных решений.

Интегрированная инжиниринговая компания БПЦ Инжиниринг, являясь эксклюзивным представителем оборудования Capstone на территории России, стран СНГ и Прибалтики с 2002 года, накопила значительный опыт в области построения и эксплуатации распределенных энергетических систем. Издание, которое вы держите в руках, позволит подробно ознакомиться со всеми преимуществами микротурбин, техническими характеристиками и мировой практикой. В России на сегодняшний день функционирует более 900 микротурбинных установок Capstone. Об отечественном опыте их применения Вы можете узнать на страницах специального издания «Успешные отраслевые решения».

Количество проектов энергообеспечения на базе микротурбин ежегодно растет. Мы надеемся, что наш опыт и передовые технологии Capstone помогут в решении и Ваших энергетических задач!



Ольга Парфёнова
Директор по маркетингу
БПЦ Инжиниринг



О компании Capstone Turbine Corporation

Capstone Turbine Corporation — ведущий мировой производитель экологически чистых микротурбинных энергетических систем, первым представивший на мировом рынке коммерческие микротурбинные электростанции. Их уникальные потребительские свойства отмечены многочисленными наградами. На разработку инновации ушло порядка 10 лет и около 200 млн. долларов. На сегодняшний день Capstone разрабатывает и производит микротурбинные двигатели в диапазоне мощностей 15 кВт – 1 МВт, которые при объединении в кластеры способны удовлетворить потребность в энергии до 10–20 и 50–100 мегаватт. Более 6000 микротурбинных установок, эксплуатирующихся по всему миру для генерации энергии, в совокупности наработали более 50 миллионов операционных часов.

Головной офис Capstone расположен в Чатсуорте, штат Калифорния, торговые и сервисные представительства находятся в Нью-Йорке, Мехико, Милане, Ноттингеме, Сингапуре, Шанхае, Токио, Москве. Capstone Turbine Corporation является мировым лидером по производству микротурбинного оборудования с самыми низкими вредными выбросами в окружающую среду. Производимое энергогенерирующее оборудование имеет сертификаты UL, ISO 9001:2000 и ISO 14001:2004.

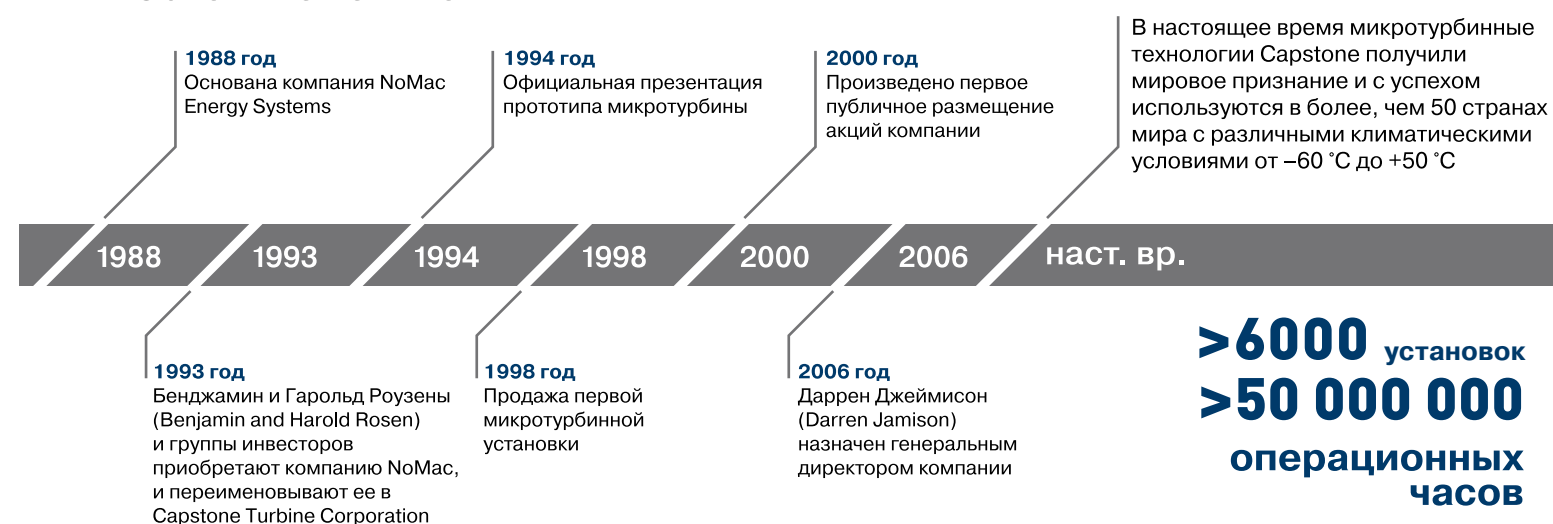
Capstone Turbine Corporation — член Партнерства по комбинированному производству тепла и электроэнергии при Агентстве по охране окружающей среды США, целью которого является увеличение эффективности энергетической инфраструктуры США и уменьшение объема выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов.

Микротурбины Capstone — это инновационное и высоконадежное энергогенерирующее оборудование.

Разработка микротурбин Capstone в начале 90-х годов велась ведущими американскими специалистами по заказу NASA и крупных транснациональных корпораций. Позднее, в середине 90-х – 2000 гг., ряд уникальных преимуществ микротурбин Capstone смогла по достоинству оценить широкая группа потребителей. Прогрессивные технологии Capstone позволили добиться высокой надежности и экономичности за счет отсутствия в конструкции турбины трущихся частей и использования воздушных подшипников, экологичности за счет низких рабочих температур и отсутствия масла, простоты обслуживания за счет высокой степени автоматизации энергосистем. В настоящее время микротурбины эксплуатируются по всему миру, в том числе для энергообеспечения стратегически важных объектов.



Основные вехи компании



Передовые микротурбинные технологии Capstone



Микротурбины Capstone — это современное оборудование для автономного теплоснабжения потребителей, сочетающее в себе отличные технические и эксплуатационные характеристики. Непревзойденные потребительские свойства и тщательная проработка всех элементов с применением инновационных технологий Capstone Turbine Corporation, защищенных более чем 100 патентами, позволяют выделить микротурбины в отдельный класс энергогенерирующего оборудования. Микротурбины идеально отвечают нуждам современной распределенной энергетики, прежде всего, за счет своих конструктивных особенностей.

Микротурбинный двигатель 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. Уникальной конструктивной особенностью двигателя является применение воздушных подшипников, за счет которых достигается рекордная скорость вращения вала — 96 000 оборотов в минуту. Эта инновация дает возможность отказаться от использования масла, высокий расход которого у других видов оборудования составляет значительную часть эксплуатационных затрат.

Низкие рабочие температуры снижают уровень эмиссии окислов азота, благодаря чему уровень выбросов CO и NO_x не превышает 9 ppm, что позволяет отнести микротурбины к одному из самых экологически чистых источников генерации энергии.

Другой уникальной особенностью турбин Capstone является компоновка основных узлов агрегата. В компактном корпусе размещены компрессор, камера сгорания, рекуператор, непосредственно турбина и постоянные магниты электрогенератора. Генератор охлаждается набегающим потоком воздуха, что исключает необходимость организации системы жидкостного охлаждения и повышает надежность и экономичность оборудования в процессе эксплуатации. Благодаря использованию воздухо-воздушного теплообменника (рекуператора)

в конструкции турбодвигателя, микротурбины имеют высокий для турбогенераторов электрический КПД — до 35%. Рекуператор использует тепловую энергию выхлопа для предварительного нагрева воздуха в камере сгорания, что позволяет снизить объем потребляемого топлива практически в два раза.

Благодаря высокой степени автоматизации энергосистема на базе микротурбин может функционировать без постоянного присутствия обслуживающего персонала. Контроль над работой турбин осуществляется посредством микропроцессорной системы автоматического управления через GSM модем, координирующий работу установок вне зависимости от их расположения. Это позволяет размещать установки в труднодоступных районах на необслуживаемых объектах, таких как радиориелейные станции и линейная часть газопроводов.

В совокупности эти свойства обеспечивают надежную работу оборудования и позволяют минимизировать время технического обслуживания. Срок до капитального ремонта микротурбин при соблюдении условий эксплуатации составляет 60 000 часов, а периодические сервисные работы производятся каждые 8000 часов, т. е. не чаще 1 раза в год. Различные модификации микротурбинных установок дают возможность индивидуального подхода к решению задач автономного энергоснабжения различных групп потребителей.

Ключевые свойства микротурбин Capstone

- Простая конструкция и отсутствие трущихся деталей, обеспечивающие высокую надежность; быстроту и легкость монтажа, подключения к топливным и электрическим коммуникациям; возможность сервисного обслуживания и капитального ремонта на месте эксплуатации в течение 1 дня.
- Уникальные воздушные подшипники, исключающие необходимость использования моторного масла, охлаждающей жидкости и лубрикантов.
- Низкий уровень шума (до 60 дБ) и вибраций дающие широкие возможности для выбора места размещения.
- Периодическое сервисное обслуживание каждые 8000 часов, не чаще 1 раза в год.
- Удобная система дистанционного мониторинга и контроля параметров работы микротурбины через GSM модем.
- Эластичность к нагрузкам, способность работать в диапазоне нагрузки от 0 до 100% без остановок и снижения ресурса.
- Потребление широкого спектра топлива, в том числе с нестабильными характеристиками состава и содержанием сероводорода до 7%.

- Непрерывность работы в автономном режиме или параллельно с централизованной сетью.
- Ресурс до капитального ремонта — до 60 000 часов.
- Высокий КПД в режиме когенерации и тригенерации — до 92%.
- Компактные размеры, надежная опорная поверхность.
- Интегрированная система синхронизации и защиты энергомодуля.
- Одни из лучших в мире экологических показателей — уровень выбросов парниковых газов не превышает 9 ppm.



Преимущества автономных электростанций на базе микротурбин

- **Высокая экономическая эффективность**
Окупаемость инвестиций в среднем 2–4 года, доходность проектов свыше 30%, себестоимость выработки электроэнергии в 2 раза ниже сетевых тарифов.
- **Высокая энергоэффективность и энергосбережение**
Получение максимальной отдачи за счет когенерации и тригенерации, коэффициент использования топлива свыше 90%.
- **Низкие затраты на строительство**
Не требуется больших финансовых и трудовых затрат на проектные, строительные и монтажные работы за счет легкости установки и запуска микротурбин в работу. Отсутствие дополнительных затрат на создание высоких дымовых труб и специального фундамента.
- **Низкие эксплуатационные затраты**
Отсутствие охлаждающей жидкости, масла и лубрикантов, потребность в сервисном обслуживании не чаще 1 раза в 8000 часов, ресурс до капитального ремонта — до 60 000 часов.
- **Компактность и мобильность**
Небольшие размеры, возможность быстрого подключения дополнительных энергоблоков к уже работающей станции.
- **Короткие сроки ввода в эксплуатацию**
Средний срок ввода электростанции в эксплуатацию — 9–15 месяцев.
- **Высокая степень автоматизации**
Возможность работы в автоматическом режиме, не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала, программирование режимов работы на любой период времени, возможность удаленного управления (например, через интернет) работой любого количества микротурбин из любой точки земного шара.
- **Масштабируемость и модульность**
Широкий диапазон мощностей от 15 кВт до 20 МВт, поставка блоками необходимой мощности.
- **Высокая надежность**
За счет внутреннего резервирования, модульности, возможности резервирования от централизованной сети.



Модельный ряд

В настоящее время микротурбины Capstone представлены следующим модельным рядом:



Capstone C15/ C30
Электрическая мощность 15/30 кВт



Capstone C65
Электрическая мощность 65 кВт



Capstone C200
Электрическая мощность 200 кВт



Микротурбинные системы серии C1000

Модификации:
C600 — электрическая мощность 600 кВт
C800 — электрическая мощность 800 кВт
C1000 — электрическая мощность 1000 кВт

Микротурбинные системы серии C1000 — новейшая разработка Capstone Turbine Corporation.

Микротурбинные системы серии C1000 были специально спроектированы для размещения оборудования в едином компактном пространстве. Их основой стал микротурбинный двигатель C200. Основное преимущество заключается в уникальном решении всех коммуникаций энергоблока, за счет которого осуществляется внутреннее резервирование, позволяющее выводить/вводить отдельные двигатели в эксплуатацию не прерывая работу всей энергосистемы. Это обеспечивает удобство и независимость обслуживания каждого модуля C200, входящего в состав системы. В результате достигается высокая степень надежности всего энергоблока, что позволяет избежать перебоев или полного прекращения подачи электроэнергии при остановке одного или нескольких двигателей.

Модель C200 обладает рядом конструктивных особенностей, благодаря которым увеличен электрический КПД до 35% и общий срок службы установки:

- упорный подшипник вынесен в холодную зону;
- увеличено расстояние между подшипниками вала ротора;
- увеличен рекуператор.

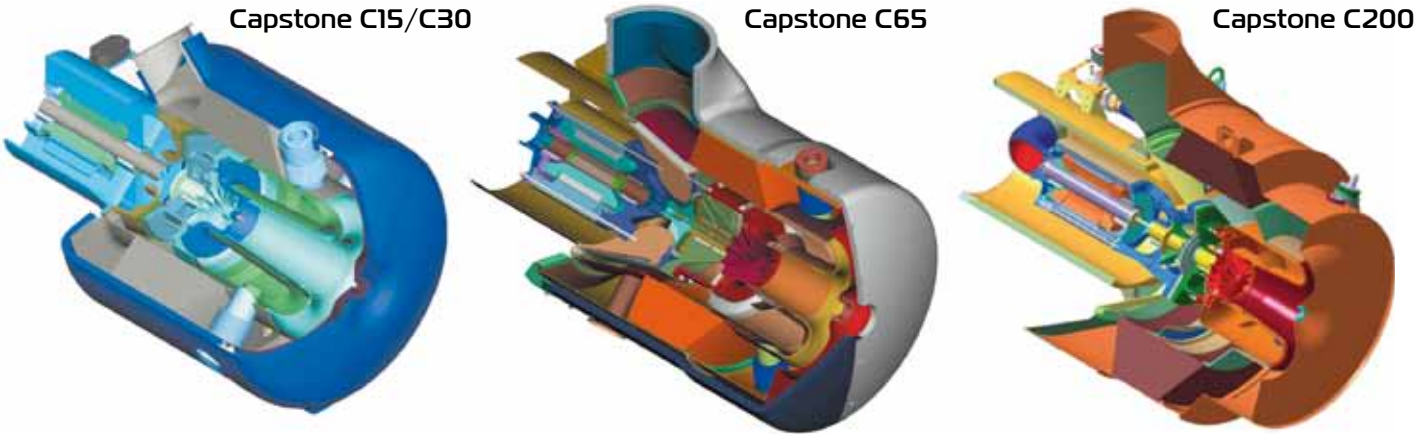
Системы серии C1000 отличаются компактностью, модульностью конструкции и масштабируемостью. В зависимости от потребностей заказчика они могут комплектоваться энергоблоками C200 в количестве от 1 до 5. Выходную электрическую мощность любой из установок семейства C1000 можно оперативно увеличить до максимального значения в 1 МВт при сохранении исходных габаритных размеров. Блочная модульная конструкция позволяет устанавливать энергосистемы C1000 друг на друга, что дает возможность оптимально разместить их на ограниченной площади.

Области применения

Область применения	Цель применения	Эффект применения
Добывающие отрасли: нефть, газ, уголь, лес Необслуживаемые источники Трубопроводы Телекоммуникации	■ Организация надежного энергоснабжения на отдаленных и труднодоступных территориях ■ Утилизация и переработка попутного и шахтных газов, опилок, щепы и других побочных продуктов производства ■ Автоматизация энергоснабжения	■ Уменьшение себестоимости конечной продукции за счет дешевой генерации электрической и тепловой энергии ■ Улучшение экологической обстановки ■ Автоматическая работа энергосистем, снятие необходимости постоянного присутствия персонала на объекте
Промышленность	■ Повышение надежности энергоснабжения ■ Уменьшение энергодефицита ■ Снижение энергоемкости производства ■ Утилизация, переработка и полезное использование отходов производства	■ Снижение доли энергозатрат в структуре себестоимости продукции ■ Постепенное наращивание энергетических мощностей по мере расширения производства ■ Организация надежного и непрерывного снабжения производства теплом и электроэнергией
Сельское хозяйство	■ Утилизация и переработка органических отходов (отходы животноводства и растениеводства) для получения дешевой электроэнергии, тепла и холода ■ Повышение энергоэффективности и энерговооруженности с/х ■ Комплексное обеспечение потребностей с/х в электричестве, тепле и холоде (ферма, теплицы, производство, склады и т. д.)	■ Снижение доли энергозатрат в структуре себестоимости продукции ■ Энергосбережение, соответствие выработки и потребления энергии ■ Улучшение экологической обстановки ■ Экономия на закупке удобрений за счет получения экологически чистых удобрений в процессе переработки отходов
Строительство Крупномасштабное строительство Коттеджные поселки Населенные пункты Частные жилые дома	■ Организация надежного и непрерывного энергоснабжения во время строительства объекта и после сдачи в эксплуатацию ■ Организация резервного энергоснабжения ■ Подача энергии в условиях отсутствия централизованной сети ■ Организация строительства на неосвоенных территориях	■ Возможность получения постоянного дохода от продажи энергии потребителю ■ Исключение простоев в строительстве из-за перебоев в подаче энергии или дефицита энергии ■ Постепенное наращивание энергетических мощностей по мере наращивания темпов строительства
Коммунальное хозяйство Инфраструктура	■ Обеспечение собственных нужд котельных ■ Создание надежного аварийного источника энергоснабжения жизненно важных объектов инфраструктуры ■ Оптимизация снабжения потребителей электричеством и теплом ■ Решение проблемы утилизации отходов жизнедеятельности населенных пунктов (мусор, сточные воды)	■ Повышение устойчивости функционирования городского хозяйства ■ Снижение себестоимости энергии ■ Решение экологических проблем городов ■ Повышение эффективности генерации местных ТЭЦ
Энергетика	■ Создание дополнительных энергетических мощностей для удовлетворения спроса на энергию в условиях реформирования централизованной энергетики ■ Оптимизация затрат на строительство энергосетей ■ Обеспечение собственных нужд объектов централизованной энергетики ■ Резервирование	■ Снятие проблемы транспортных потерь и энергодефицита на местном уровне ■ Повышение надежности энергоснабжения ■ Ускорение отдачи капиталовложений за счет быстрого ввода мощностей ■ Снижение себестоимости энергии
Медицина Банки Автотехцентры Центры обработки данных Связь	■ Сохранность информации ■ Устойчивость связи ■ Организация бесперебойного непрерывного снабжения энергией высокого качества ■ Резервирование ■ Оптимизация затрат на энергообеспечение	■ Надежная работа ключевых систем и оборудования: медицинского, банковского, компьютерного ■ Снятие пиковых нагрузок ■ Снижение затрат на энергообеспечение ■ Постепенное наращивание энергетических мощностей по мере увеличения потребности
Сфера обслуживания Спортивно-оздоровительные комплексы и сооружения Торгово-развлекательные центры Офисные и деловые центры Малые предприятия Складские комплексы	■ Решение проблем энергоснабжения в условиях недоступности или сложности подключения к централизованной сети ■ Комплексное обеспечение потребностей в электричестве, тепле и холоде ■ Снижение энергоёмкости бизнеса	■ Повышение конкурентоспособности бизнеса ■ Энергосбережение, соответствие выработки и потребления энергии ■ Оптимизация энергозатрат ■ Постепенное наращивание энергетических мощностей по мере расширения бизнеса ■ Исключение простоев в работе из-за перебоев в подаче энергии или дефицита энергии
Чрезвычайные ситуации	■ Оперативное снабжение энергией мобильных подразделений (спасателей, госпиталей, гуманитарных операций, временных мест размещения пострадавших и т. д.)	■ Мобильность ■ Быстрое развертывание ■ Низкие эксплуатационные затраты

Микротурбины Capstone

Отличные технические и эксплуатационные характеристики микротурбин Capstone являются следствием оригинальной конструкции и тщательной проработки всех конструктивных элементов и узлов с использованием новейших достижений в области материаловедения, термодинамики, электротехники, управления и механики.



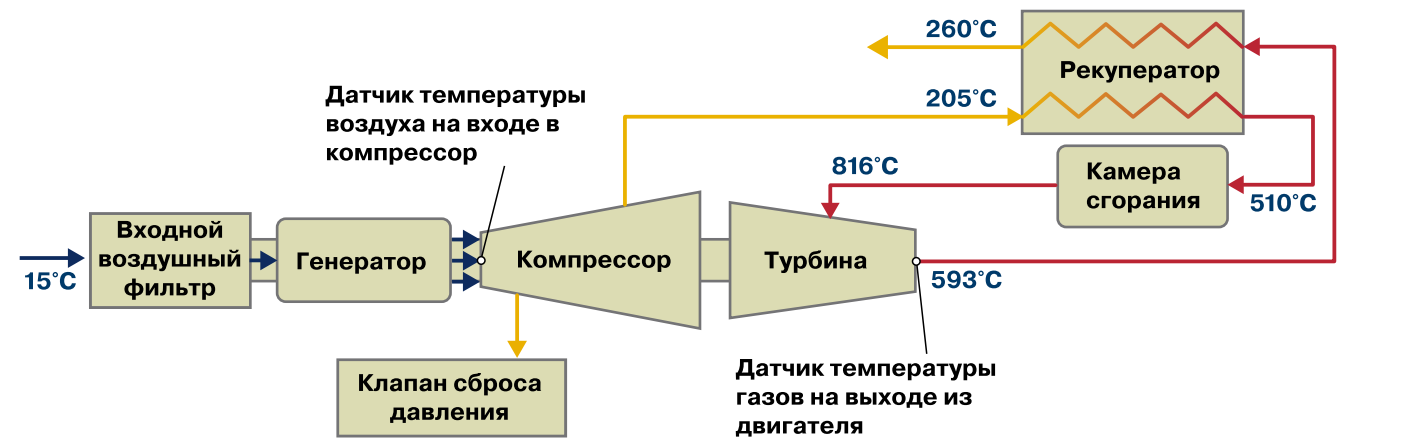
Обширные полевые испытания десятков прототипов, доводка всех элементов в течение десяти лет позволили в 1998 году представить рынку законченный коммерческий продукт. Совершенствование и разработка новых вариантов базовых моделей непрерывно продолжается с учетом опыта промышленной эксплуатации более 6000 микротурбин в различных условиях и сферах применения.

Принцип работы

Принцип работы микротурбин Capstone схематично показан на рис. 1. Перед подачей в микротурбину внешний воздух проходит через входной воздушный фильтр малого сопротивления, использующийся для очистки воздуха, а также для снижения потери мощности двигателя. Отфильтрованный внешний воздух проходя через генератор охлаждает обмотки статора, что позволяет отказаться от использования дополнительных устройств охлаждения генератора. Уменьшение числа компонентов двигателя ведет к упрощению конструкции, сведению к минимуму риска поломки отдельной составной части и, как следствие, повышению надежности всей системы. Компрессор увеличивает давление воздуха, откуда сжатый воздух поступает в рекуператор. Использование рекуператора повышает электрический КПД двигателя и позволяет в 2 раза снизить объем потребляемого топлива за счет использования тепловой энергии выхлопа для подогрева воздуха, поступающего в камеру сгорания. Нагретый сжатый воздух поступает в камеру сгорания, где смешивается с топливом, и происходит возгорание смеси. Горение топливно-воздушной

смеси происходит при постоянном давлении и низких рабочих температурах, что приводит к снижению вредных атмосферных выбросов. Камера сгорания и колесо турбины выполнены из специальных высокотемпературных материалов, что дает возможность использовать широкий диапазон топлива с различной теплотворной способностью. Специальные антикоррозийные материалы, примененные в составе системы подвода топлива к форсункам, позволяют микротурбине работать на высокосернистом топливе с содержанием сероводорода (H₂S) до 7%. Условно низкие температуры сгорания топлива (510–954 °C), при которых достигается минимальный уровень вредных выбросов в атмосферу, являются достаточными для сжигания высокосернистого газа без нанесения вреда двигателю. Температура выхлопных газов (260–309 °C) препятствуют образованию конденсата серной кислоты и, как следствие, быстрому износу деталей турбины. Это также является одним из факторов увеличения ресурса до капитального ремонта.

Рис. 1. Энергетический цикл микротурбин семейства Capstone.



В турбине энергия горячего газа преобразуется в работу. При входе в сопловой аппарат турбины под действием высоких температур горячие газы расширяются, и их тепловая энергия преобразуется в кинетическую. Затем, в роторной части турбины, кинетическая энергия газов переходит в механическую энергию вращения ротора турбогенератора. Высокая частота вращения ротора (до 96 000 об./мин.) позволила добиться уменьшения габаритов турбины, благодаря чему энергоустановка имеет малый вес и компактные габаритные размеры. Часть мощности турбины расходуется на работу воздушного компрессора, а оставшаяся часть является полезной выходной мощностью.

Газотурбинный двигатель приводит во вращение находящийся с ним на одном валу высокоскоростной генератор. Если установка оборудована системой когенерации (утилизации тепла выхлопных газов), то выхлопные газы из рекуператора проходят через теплообменник. Данный теплообменник передает тепло выхлопных газов циркулирующей воде, использующейся в промышленных и коммунальных системах горячего водоснабжения, обогрева помещений или для других нужд. Общий КПД турбины (электрический и тепловой) при таком режиме достигает 92%, что приводит к значительной экономии топлива и снижению себестоимости



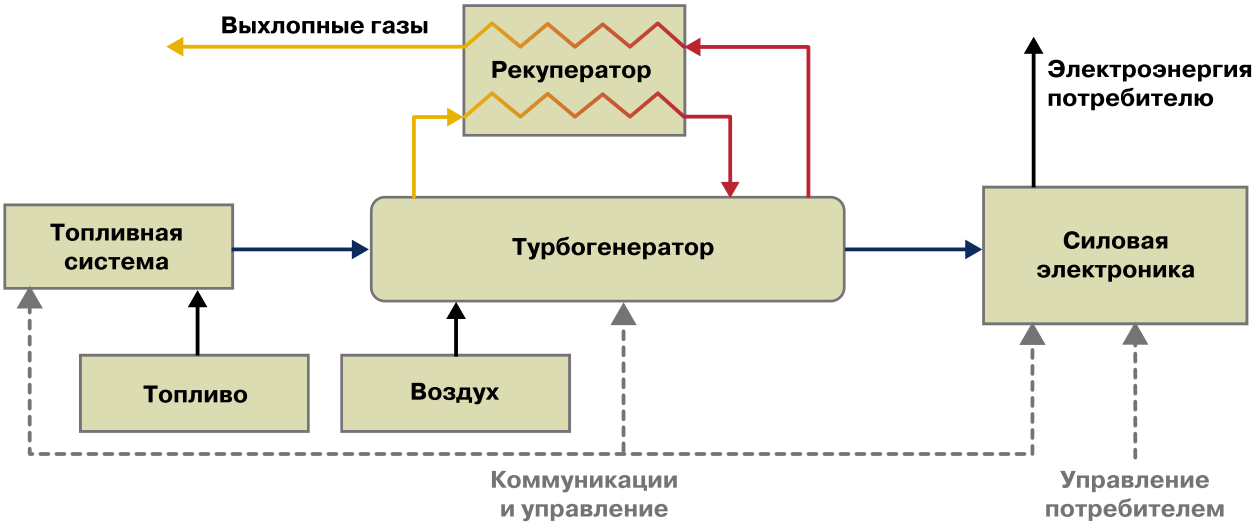
сти вырабатываемой энергии. Благодаря применению в конструкции двигателя особого типа генератора с постоянным магнитом в роторе и электрического инвертора вместо



традиционного синхронного генератора с редуктором, частота вращения ротора микротурбины изменяется от 45 000 до 96 000 оборотов и при этом не связана с выходным напряжением. Отсутствие этой связи и возможность изменения частоты вращения в широком диапазоне приводит к оптимальному расходу топлива, пропорциональному нагрузке. Для запуска микротурбинной установки Capstone используется блок аккумуляторных батарей, который компенсирует ток нагрузки, в то время как двигатель набирает обороты. За счет этого, микротурбина способна выдерживать 80%-й наброс нагрузки. При одновременном сбросе нагрузки до 80% часть тока берет на себя блок аккумуляторных батарей, а скорость вращения вала замедляется с помощью тормозных резисторов. Таким образом достигается абсолютная эластичность к нагрузке без увеличения износа двигателя и существенного снижения КПД энергосистемы. Это свойство особенно важно для объектов с непрерывным, но неравномерным потреблением энергии, таких как объекты ЖКХ и инфраструктуры, городские жилые районы и коттеджные поселки.

Силовая цифровая электроника управляет работой микротурбины и всех ее вспомогательных систем (см. рис. 2). Она преобразует переменный ток переменной частоты от генератора в постоянный ток, а затем в переменный ток постоянной частоты промышленной сети — 50 Гц, 380 В. Это позволяет практически мгновенно реагировать на изменение нагрузки и выдавать требуемую мощность.

Рис. 2. Схема микротурбинной установки Capstone.



Режимы работы

Когенерация

Помимо генерации электричества турбина может вырабатывать тепло. Для этого она должна быть укомплектована специальным устройством, утилизирующим теплоту выхлопных газов. Такие энергетические системы, совместно вырабатывающие электричество и тепло, относятся к классу CHP (Combined Heat and Power). В случае микротурбин их называют microCHP. Специально для микротурбин Capstone сконструировано несколько типов таких теплообменников, рассчитанных на совместную работу с одной, двумя, четырьмя и более микротурбинами. Их производят в США, Европе, Японии. Возможно применение российских утилизаторов тепла, соответствующих по производительности, размерам соединительной арматуры и другим параметрам конструкции микротурбины. Применение установок microCHP резко повышает общий КПД (до 90% и выше) и решает задачи теплоснабжения для отопления и получения горячей воды.

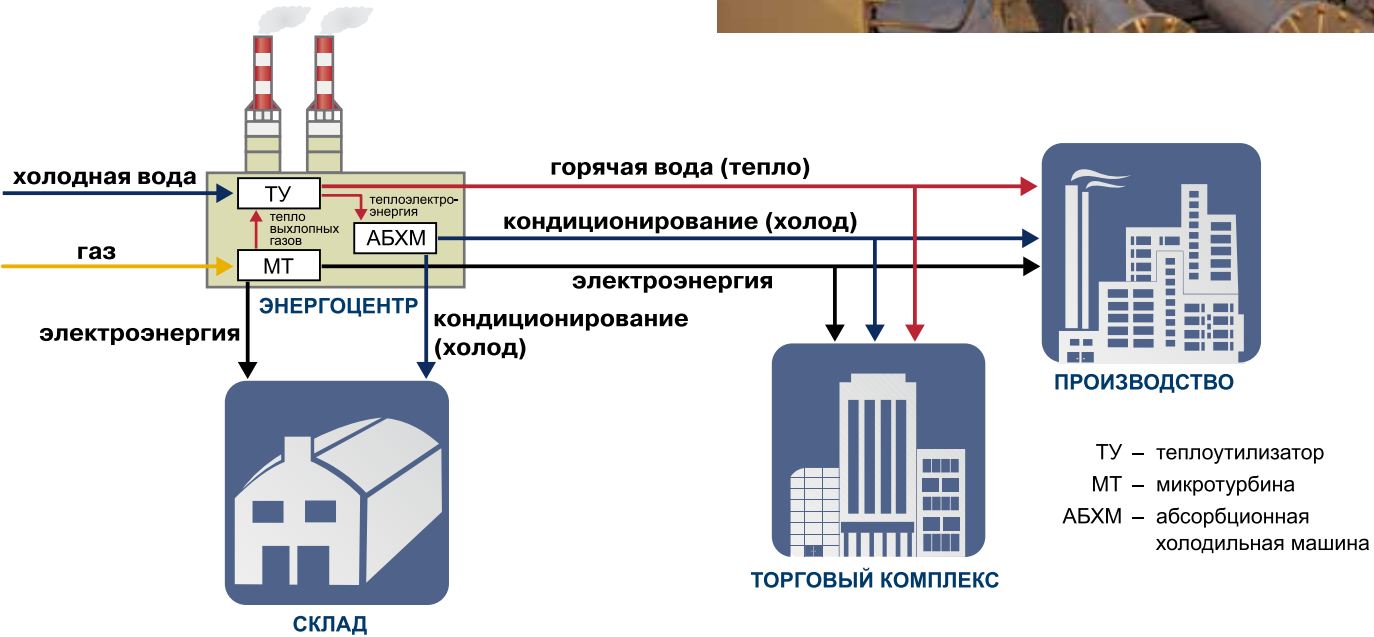
Тригенерация

Комбинированное производство электричества, тепла и холода. Холод вырабатывается абсорбционной холодильной машиной посредством утилизации тепла выхлопных газов турбины. Принцип действия абсорбционных холодильных машин (АБХМ) основан на том, что вода в условиях вакуума испаряется при низких температурах, и при испарении уносит тепло от воздуха системы кондиционирования. В абсорбционных холодильных машинах раствор бромистого лития (LiBr) — очень сильный абсорбент воды — поглощает пар, переносящий тепло охлаждающей воды, превращаясь в разбавленный раствор, который откачивается в генератор, где выпаривается, нагреваясь от горячего пара, воды, выхлопных газов и т. п. Концентрированный раствор LiBr возвращается в абсорбер, а водяной пар направляется в конденсатор, чтобы процесс повторился.

Параллельно с сетью

В этом режиме микротурбинная установка вырабатывает электрический ток, синхронизированный с сетью по напряжению и частоте.

Рис. 3. Когенерация и тригенерация.



Автономно

Автономный режим характеризуется работой микротурбинной установки независимо от сети в качестве основного источника энергии. В этом режиме выходная мощность определяется потребителем, параметры электрического тока настраиваются в соответствии с потребностями нагрузки по напряжению и частоте. Устройство для автономной работы включает преобразователь энергии, координирующий работу блока аккумуляторных батарей (АКБ). Он имеет зарядное устройство и производит необходимые соединения между основной системой управления и блоком АКБ. Запуск и работа микротурбины осуществляются в автоматическом режиме.

Двойной режим (автономно и параллельно с сетью)

В этом режиме микротурбина подключена к местной сети и, по желанию потребителя, может быть переключена в автономный режим работы. Переключение может производиться в ручном режиме и автоматически, через контроллер двойного режима фирмы Capstone.

В одиночном режиме или в кластере из нескольких турбин

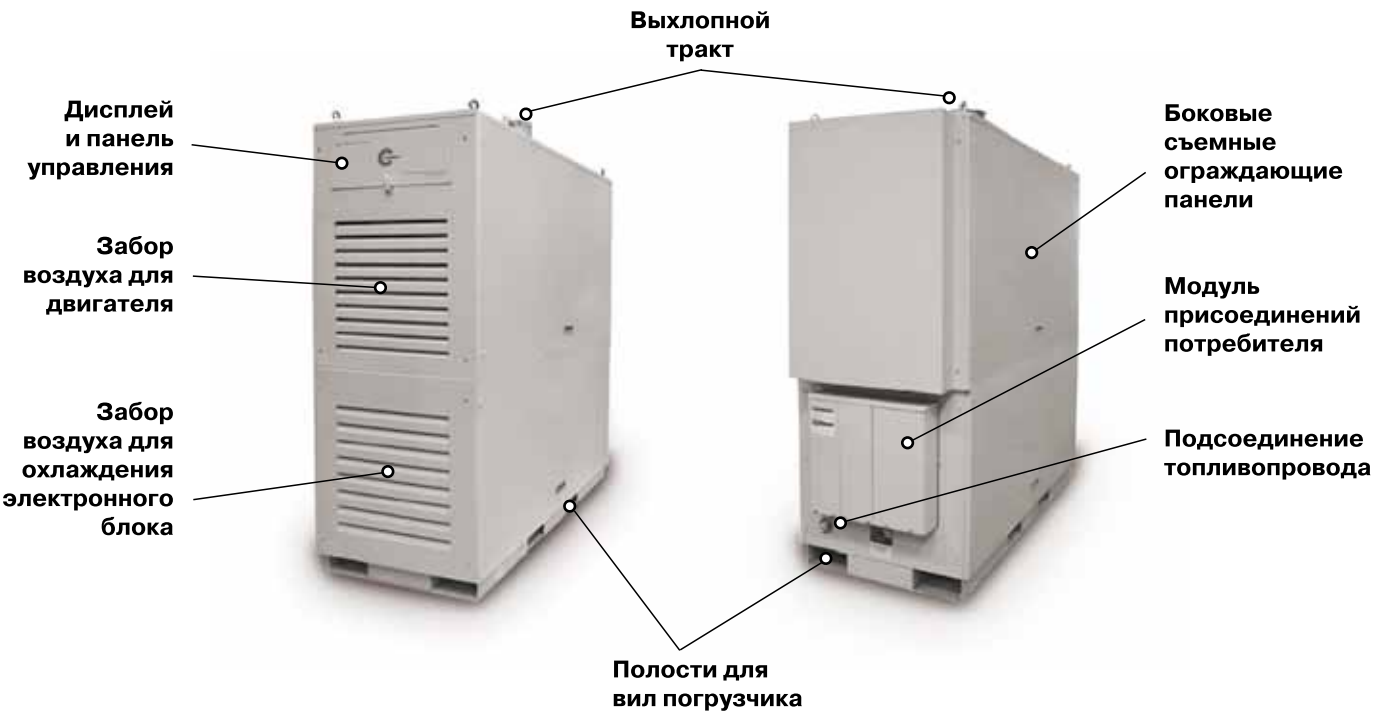


Потребляемое топливо

Микротурбинные установки не требуют предварительной газоочистки при работе на большинстве видов газового топлива. При этом теплотворная способность газа должна находиться в пределах от 2500 до 24 000 ккал/м³.

- Природный газ высокого или низкого давления по ГОСТ Р 5542-87;
- Биогаз: мусорный газ; газ, получающийся при очистке сточных вод; анаэробный газ;
- Попутный нефтяной газ, факельный газ;
- Жидкие виды топлива: керосин, дизельное топливо, биодизельное топливо;
- Низкокалорийные газы;
- Газы с нестабильными характеристиками состава;
- Сжиженный газ: природный газ (метан), пропан-бутан;
- Шахтный метан, метан угольных пластов;
- Коксовые газы;
- Сингаз (синтез-газ).

Внешний вид микротурбинной установки (на примере модели С30)



Основные составляющие части микротурбинной установки

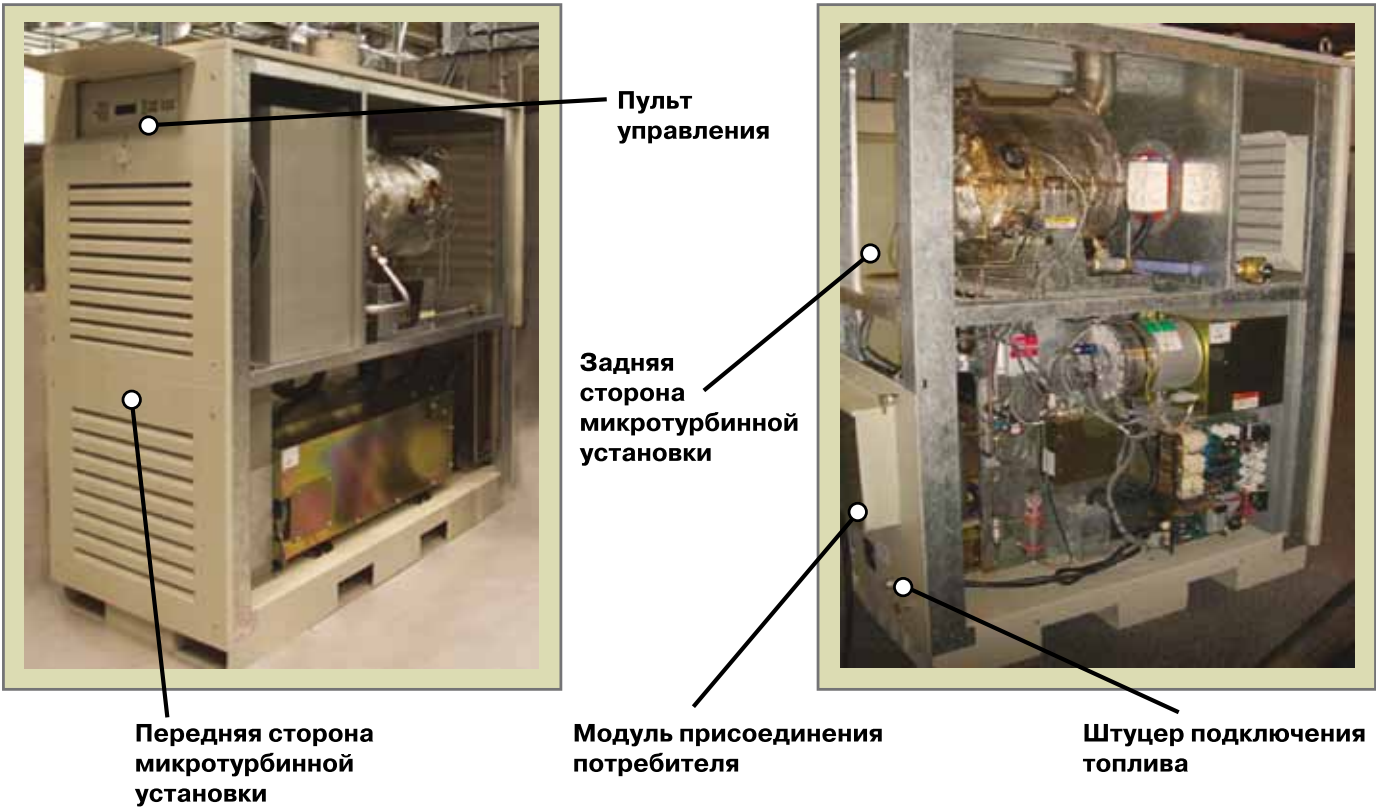
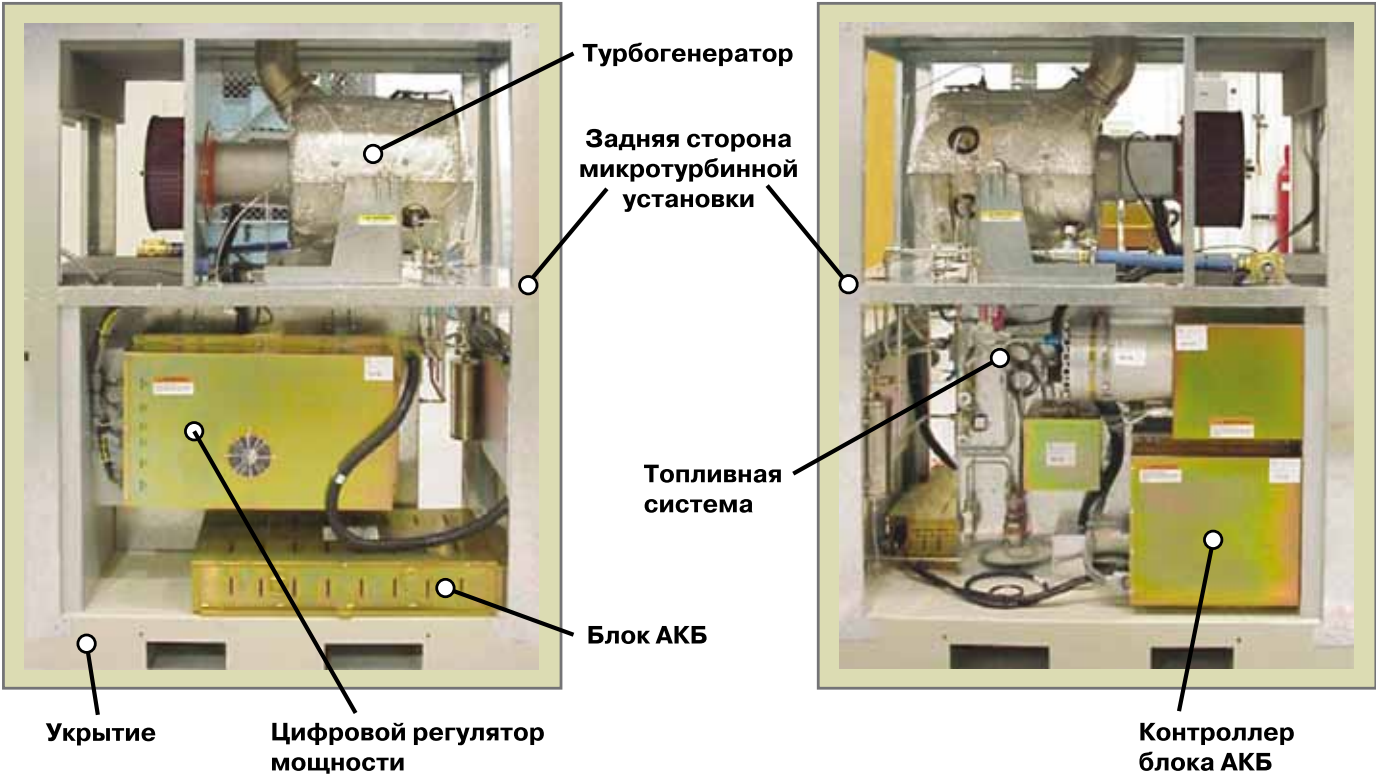
- Погодное и шумоизолирующее укрытие;
- Турбогенератор;
- Топливная система;
- Модуль управления мощностью;
- Блок аккумуляторных батарей (АКБ);
- Модуль управления блоком АКБ;
- Модуль присоединений потребителя;
- Локальный пульт управления.

Варианты размещения микротурбин

- На открытой площадке в легковозводимом погодном укрытии;
- В отдельном здании/сооружении;
- В основном здании объекта, внутри помещения;
- На крыше/кровле здания;
- В блочно-модульном исполнении для температурных условий от -60 до +50 °С.



Устройство микротурбинной установки (на примере модели С30)



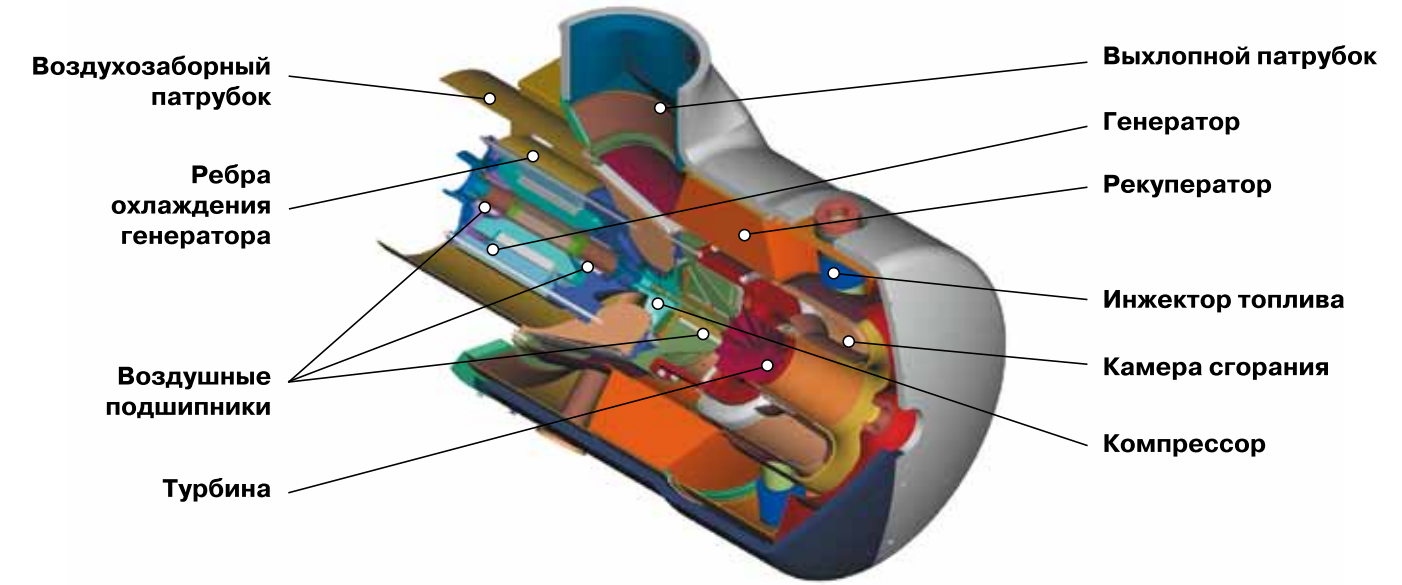
Конструкция турбогенератора

Турбогенератор микротурбинной установки включает в себя газотурбинный двигатель и генератор. Газотурбинный двигатель состоит из компрессора, рекуператора, камеры сгорания, турбины и выхлопного газохода. Двигатель в разрезе показан на рис. 4.

Запуск микротурбинного двигателя осуществляется от встроенного блока аккумуляторных батарей. Двигатель охлаждается воздухом и не потребляет масло. Крыльчатка компрессора и ротор турбины смонтированы на одном валу

с генератором. Малый вес вала двигателя уменьшает инертность микротурбины, позволяя быстрее реагировать на повышение и снижение выходной мощности. Этот вал поддерживается на воздушных подшипниках. Скорость вращения вала двигателя генератора 45 000 – 96 000 об./мин. При скорости 96 000 оборотов в минуту выходное напряжение составляет 277 В. Двухполюсный генератор на постоянных магнитах охлаждается потоком воздуха, поступающего в двигатель.

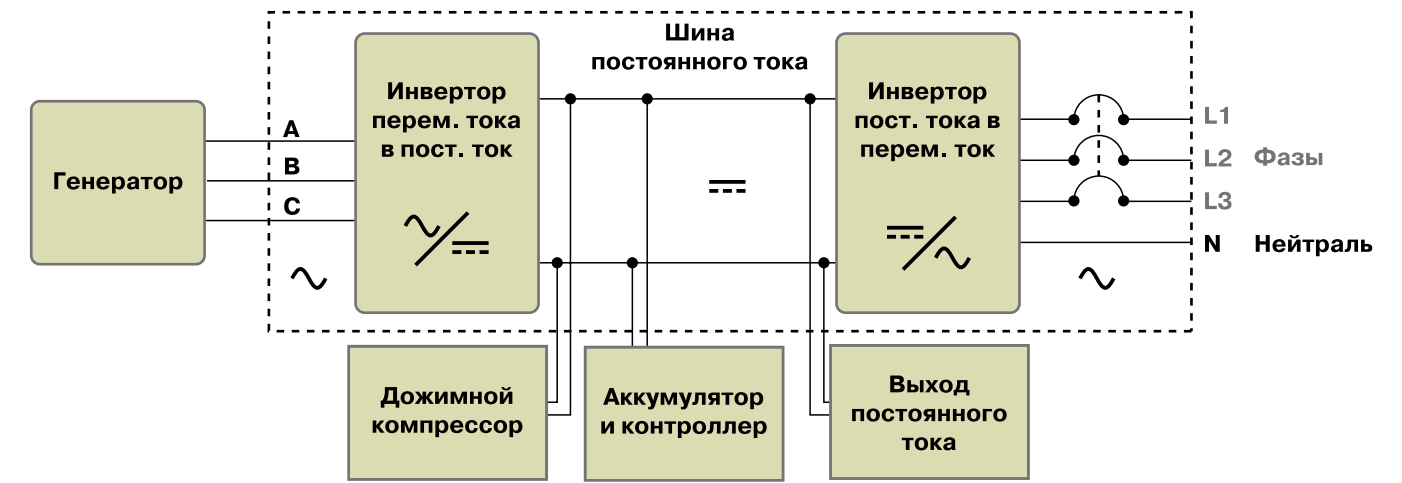
Рис. 4. Конструкция микротурбинного двигателя C65.



На выходе генератора формируется трёхфазный электрический ток переменного напряжения и частоты (до 1600 Гц) в зависимости от скорости вращения генератора, который конвертируется в постоянный ток, а затем преобразовывается в выходной ток требуемого напряжения и частоты. Применение инверторов на базе высокоскоростных IGBT (Insulated

Gate Bipolar Transistor — биполярный транзистор с изолированным затвором) транзисторов обеспечивает высокое качество выходного напряжения с точки зрения стабильности, амплитуды, частоты, синусоидальности и искажений в соответствии с международными стандартами ISO.

Рис. 5. Схема преобразования постоянного тока в трёхфазный.



Микротурбинный двигатель C30



Микротурбинный двигатель C65

Иновацией, примененной в микротурбинах семейства Capstone, являются воздушные подшипники (см. рис. 6). Они поддерживают вал ротора генератора в подвешенном бесконтактном состоянии. Воздушный подшипник состоит из двух компонентов. Внешняя часть, выполненная из особого высокотемпературного сплава, имеет цилиндрическую форму. Внутренняя часть представляет собой тонкую волнообразную окружность, выполняющую роль пружины под которой расположена лента. Пружины создают силу противодействия лентам и воздуху, что позволяет валу находиться в устойчивом положении на воздушных подушках. Благодаря особой аэродинамической форме подшипника при скорости вращения свыше 2000 оборотов в минуту образуется воздушная плёнка, которая отделяет вал от ленты подшипника и защищает его от износа. Это снимает необходимость использования масел и лубрикантов, что позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы. Кроме того, малое количество сопрягаемых частей снижает до минимума риск повреждения деталей турбогенератора и обеспечивает высоконадежную и безопасную работу микротурбины. Это также является одним из ключевых факторов длительного срока службы до капитального ремонта — до 60 000 часов. За счет высокой частоты вращения вала и воздушных подшипников достигается низкий уровень шума и вибраций энергоустановки. Внешний вид турбогенератора с одетой теплоизоляцией показан на рис. 7.

Рис. 6. Воздушный подшипник.

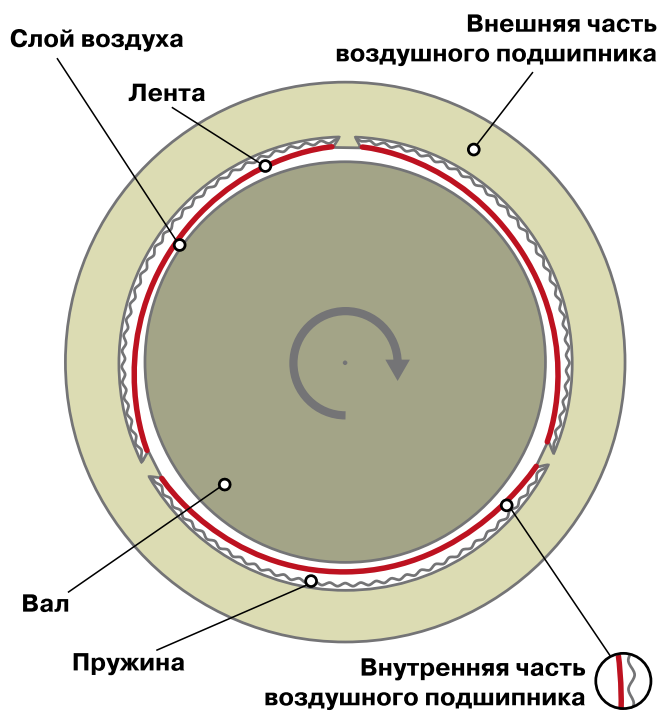
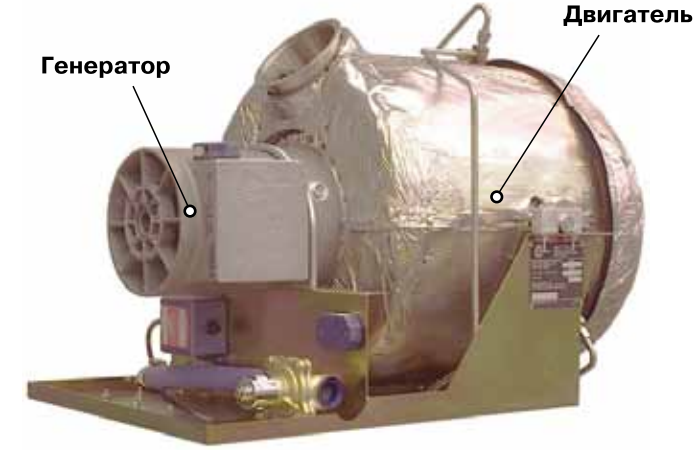


Рис. 7. Внешний вид турбогенератора и вал турбогенератора.



Топливная система

Микротурбинная установка может эффективно использоваться в широком диапазоне углеводородных газов и жидкого топлива с различной теплотворной способностью. Топливная система мониторит, дозирует и подаёт топливо в двигатель от источника топлива, а также поддерживает в газообразном состоянии жидкое топливо. Это возможно благодаря конструктивным особенностям инжекторов и специальным дозирующим клапанам, создающим оптимальную топливно-воздушную смесь, что приводит к максимально эффективному сгоранию топлива.

Камера сгорания

Тщательные рабочие испытания и опыт эксплуатации турбины показали надёжную работу топливной системы и камеры сгорания, которая пригодна для работы на разных видах топлива: природный, шахтный, сжиженный, попутный газы (в том числе с высоким содержанием сероводорода), биогаз, а также жидкое дизельное топливо и керосин. Низкие требования к качеству топлива (загрязнённости примесями) сочетаются с малой концентрацией вредных веществ в выбрасываемых продуктах сгорания. Это было продемонстрировано в ходе специальных испытаний и подтверждено соответствующими сертификатами официальных органов по охране окружающей среды. Уровень загрязняющих выбросов столь низок, что устанавливает новые экологические стандарты для малых электростанций.

Система контроля и управления

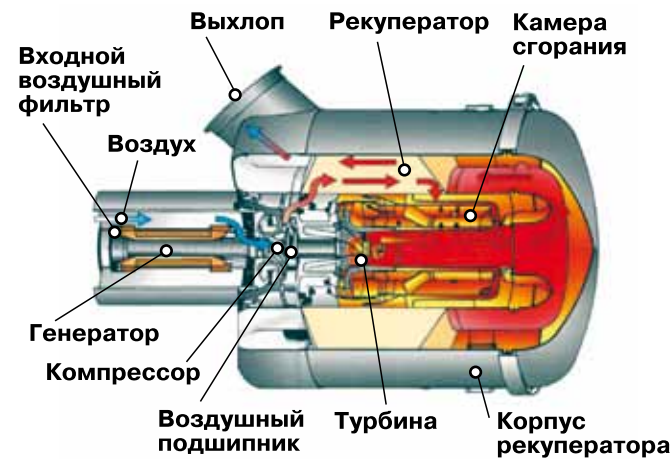
Контроль и управление микротурбиной осуществляются микропроцессорной системой автоматического управления (см. схему на рис. 11). Благодаря высокой степени автоматизации и надёжной системе управления установка работает в автоматическом режиме, не требуя постоянного присутствия персонала при нормальном режиме работы. В случае критической ситуации система автоматически выключает установку и запоминает причину аварийного отключения. Система управляет режимами автоматического пуска, остановки, контролирует параметры работы, поступающие с датчиков расхода топлива, температуры,

Топливная система микротурбины включает:

- топливную обвязку для газа высокого давления / топливную обвязку для природного газа низкого давления / топливную обвязку для жидкого топлива;
- инжекторы;
- свечу с возбудителем.



Рис. 9. Принцип работы микротурбинного двигателя.



скорости вращения, электрической нагрузки и т. д. В цифровой системе управления реализованы сложные алгоритмы, которые поддерживают устойчивую работу установки и многофункциональность применения с точки зрения пользователя. В частности, предусмотрена возможность автоматического запуска при падении напряжения в сети (при использовании микротурбины в качестве резервного источника электроэнергии). Система управления обеспечивает работу в автономном режиме, в режиме параллельной работы с сетью для снятия пиковых нагрузок и передачи дополнительной электроэнергии в сеть.

Система управления оснащена пультом оператора для ручного управления и программирования различных режимов. Достоинством системы является функция удаленного управления через каналы связи и сети интернет/интранет, в том числе управления группами установок, расположенными в разных местах, но работающими как единое целое. Координацию работы системы из нескольких десятков микротурбин осуществляет специальный компьютер — Advanced Power Server, который по заданным алгоритмам синхронизирует работу генераторов и оптимизирует распределение нагрузки. Advanced Power Server позволяет осуществлять управление кластером, содержащим до 100 микротурбин. Может быть задан последовательный, параллельный или смешанный режим работы отдельных установок, объединенных в кластер. Для первоначального пуска турбины каждая установка

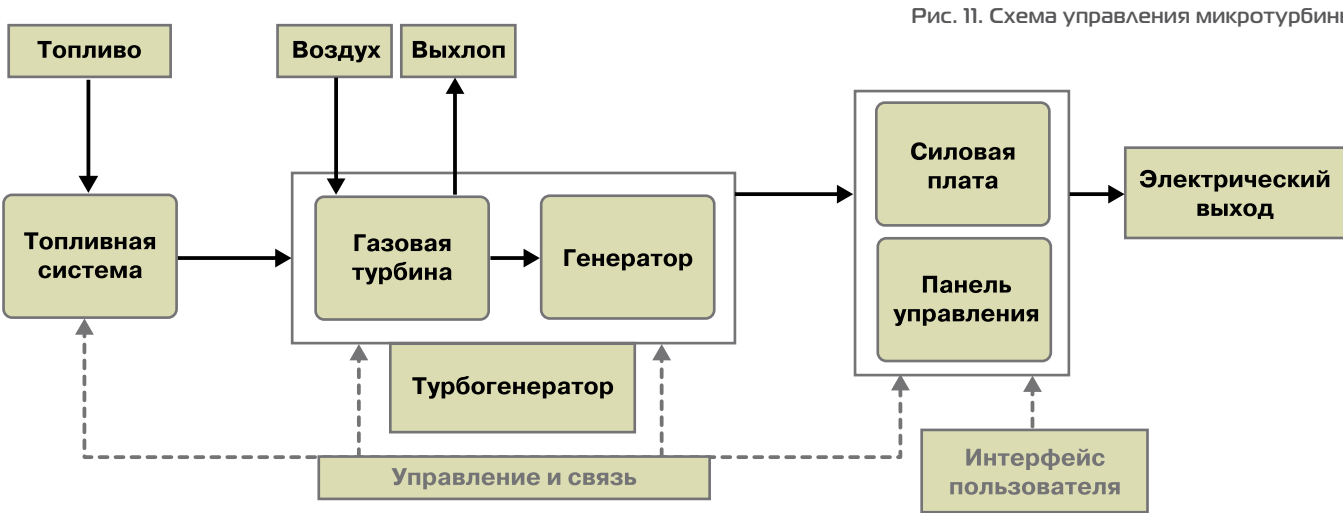


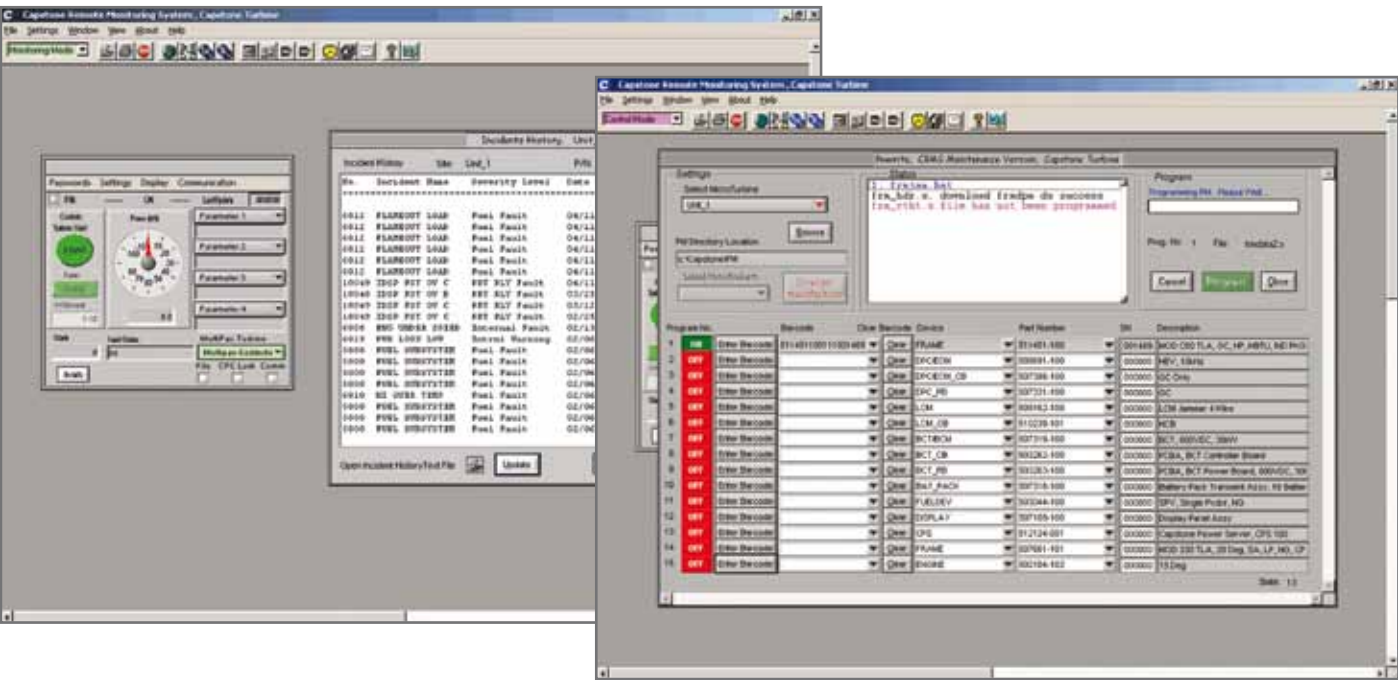
Рис. 11. Схема управления микротурбины.

Пульт управления

Локальный пульт управления микротурбиной



Интерфейс системы дистанционного управления микротурбиной



Варианты комплектации

Тип управления

- Работа параллельно с сетью
- Работа в автономном режиме и с сетью

Наличие функции удаленного управления

- Да (GSM модем, Ethernet)
- Нет

Давление топлива на входе

- Низкое
- Высокое

Выработка тепловой энергии

- Да (со встроенным теплоутилизатором)
- Нет

Дополнительная функциональность для использования в агрессивных внешних условиях

- Морское исполнение
- Арктическое исполнение
- Взрывозащищенное исполнение
- Нет

Конструкция корпуса

- Выкатной защитный кожух из металла или пластика для применения вне помещений
- Защитный кожух для производственного применения вне помещений
- Каркасная стойка
- Без кожуха для монтажа в контейнерах или других местах

Варианты индивидуальных кожухов могут быть различными, а индивидуальный арктический контейнер оборудуется каталитическим газовым обогревателем и каплеотбойником. В зависимости от требуемой мощности в контейнере могут быть установлены 2, 3 и более микротурбин без кожуха. Микротурбины также могут быть смонтированы на колесном шасси.



Транспортная упаковка



Морское взрывозащищенное исполнение



Capstone C65 со встроенным теплоутилизатором и шумоглушителем

Технические характеристики базовых моделей микротурбин Capstone

Параметры микротурбины	Capstone C15	Capstone C30	Capstone C65	Capstone C200	Capstone C600	Capstone C800	Capstone C1000
Электрическая мощность, кВт	15	30	65	200	600	800	1000
КПД по электричеству, %	23 (±2)	26 (±2)	29 (±2)	33 (±2)	33 (±2)	33 (±2)	33 (±2)
Общий КПД электростанции (с утилизацией тепла), %	80–90	80–90	80–90	66–90	66–90	66–90	66–90
Диапазон рабочего напряжения, В	380–480	380–480	380–480	380–480	380–480	380–480	380–480
Максимальный ток в фазе, А	23	58	127	310	930	1240	1550
Частота тока, Гц	50	50	50	50	50	50	50
Вес, кг	578	578	1121	3180–3640	8142–9534	12 600–14 400	15 875–18 144
Длина x Ширина x Высота, мм	1516 x 762 x 1943	1516 x 762 x 1943	1956 x 762 x 2110	3660 x 1700 x 2490	9144 x 2438 x 2896	9144 x 2438 x 2896	9144 x 2438 x 2896
Вид топлива	Газ, керосин, дизель	Газ, керосин, дизель	Газ, керосин, дизель	Газ, керосин, дизель	Газ, керосин, дизель	Газ, керосин, дизель	Газ, керосин, дизель
Рабочее давление топлива на входе, бар	низкое давление: 0,02–1 высокое давление: 3,6	низкое давление: 0,02–1 высокое давление: 3,6	низкое давление: 0,02–1 высокое давление: 5,2	низкое давление: 0,02–1 высокое давление: 5,2	низкое давление: 0,02–1 высокое давление: 5,2	низкое давление: 0,02–1 высокое давление: 5,2	низкое давление: 0,02–1 высокое давление: 5,2
Расход топлива при номинальной нагрузке, нм³	7	12	23	65	195	260	325
Максимальная температура выхлопных газов, °C	275	275	309	280	280	280	280
Выход тепловой энергии, кДж/час (Гкал/час)	174 000 (0,042)	305 000 (0,073)	591 000 (0,141)	1 420 000 (0,339)	4 260 000 (1,017)	5 680 000 (1,356)	7 100 000 (1,696)
Выброс вредных веществ при 15% O₂	< 9 ppmV NO _x	< 9 ppmV NO _x	< 9 ppmV NO _x	< 9 ppmV NO _x	< 9 ppmV NO _x	< 9 ppmV NO _x	< 9 ppmV NO _x
Уровень шума на расстоянии 10 метров, дБ	не более 60	не более 60	не более 60	не более 60	не более 60	не более 60	не более 60
Скорость вращения турбины, об./мин.	96 000	96 000	96 000	60 000	60 000	60 000	60 000
Срок службы до капитального ремонта, часов	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000



Мировой опыт практического применения микротурбин Capstone

На сегодняшний день по всему миру эксплуатируется более 6000 микротурбинных установок Capstone, наработавших в совокупности более 50 000 000 операционных часов. В России успешно работает более 900 микротурбин. Число реализованных проектов на базе микротурбин ежегодно растет в среднем на 15–20%.

Установки Capstone не случайно пользуются спросом и активно применяются для обеспечения энергией в самых различных сферах: городское и муниципальное хозяйство, инфраструктура, сельское хозяйство, промышленность, нефтегазовая отрасль, телекоммуникации, объекты социального значения, торгово-развлекательные центры, сегмент HoReCa (отели/рестораны/кафе), малый бизнес, стратегические и военные объекты и др. Микротурбины являются одним из самых современных видов энергогенерирующего оборудования, превосходящим существующие типы генераторов по совокупности потребительских свойств: экологичности, эффективности, экономичности и надёжности. Возможность использования широкого спектра топлива с различными характеристиками состава делает микротурбины Capstone незаменимыми в решении задач по выработке энергии из отходов производства и жизнедеятельности человека.

Три первые микротурбины Capstone C30 были установлены в 1998 году в США, город Галвестон штата Техас, на предприятии по добыче, переработке и транспортировке природного газа для обеспечения собственных потребностей в электроэнергии.

В 2000 году Capstone Turbine Corporation представила новую модель установки — микротурбину C60, которая впоследствии в 2006 году была модернизирована в модель C65 с увеличенной выходной мощностью до 65 кВт и КПД — 31%. Примером использования микротурбин C60 в сфере обслуживания может служить инсталляция двух установок в отеле Рэдиссон, Санта-Мария, штат Калифорния в 2003 году. Они работают круглосуточно 7 дней в неделю параллельно с сетью. Турбины в режиме когенерации обеспечивают основную потребность гостиницы в электричестве и тепле, а пиковые нагрузки покрываются из централизованной сети. Такая схема работы была выбрана для того, чтобы максимально удовлетворить нужды отеля в тепле, получить максимальный объем электроэнергии и уменьшить расходы на потребление от местных электросетей.



Утилизация свалочного газа

СВАЛКА ОКРУГА СОУК, МЭДИСОН, ШТАТ ВИСКОНСИН

Свалка округа Соук, расположенная недалеко от Мэдисона, столицы штата Висконсин, содержит более 650 000 тонн отходов. В прошлом, метан, выделявшийся в процессе разложения отходов, просто сжигался. Сегодня ситуация изменилась — этот газ служит топливом для 24 микротурбин Capstone C30, производящих электроэнергию, которую затем продают в централизованную сеть. Электричества, получаемого таким образом, хватает для полного обеспечения нужд в электроэнергии более чем 300 домов. Изначально, в 2003 году, было установлено 12 микротурбин, но затем мощности постепенно наращивались, и теперь это самая большая микротурбинная система к востоку от Скалистых гор. Использование микротурбин Capstone позволило значительно снизить объем выбросов по сравнению с традиционным сжиганием метана на факеле. Таким образом, помимо получения экономической выгоды, модернизация свалки внесла значительный вклад в сохранение окружающей среды.



24 микротурбины Capstone, работающие на метане, производят электроэнергию на свалке округа Соук, штат Висконсин.

Экологически чистый транспорт

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОБУСОВ, НЬЮКАСЛ, ВЕЛИКОБРИТАНИЯ

По маршруту вдоль недавно реконструированной набережной Ньюкасла ежедневно курсирует 10 автобусов. Экологичные автобусы прекрасно вписываются в свежее оформление новой набережной, прежде всего, благодаря микротурбинам Capstone C30, установленным в автобусах. Микротурбины Capstone C30 работают во взаимодействии с бортовыми аккумуляторами, что позволяет непрерывно производить электроэнергию, необходимую для движения автобуса. При поступлении соответствующей команды от автоматической системы контроля автобуса микротурбина производит подзарядку батарей, благодаря этому автобусы могут работать до 10 часов в день без подзарядки или заправки в центральном депо.



Микротурбины C30 обеспечивают электроэнергией автобусы в Ньюкасле, Великобритания.

Утилизация биогаза на водоочистных сооружениях

ВОДООЧИСТНАЯ СТАНЦИЯ COSSATO SPOLINA, БИЕЛЛА, ИТАЛИЯ

До того как на водоочистой станции Cossato Spolina, обслуживающей нужды более чем 520 000 жителей, был установлен микротурбинный генератор C200, около 2600 м³ биогаза, ежедневно производимого предприятием, сжигалось на факеле. Только небольшая часть биогаза использовалась для подогрева метантенка. После установки микротурбины Capstone C200 с теплоутилизатором каждый кубический метр биогаза используется для питания турбогенератора, производящего 1,7 млн. кВт·ч электрической энергии в год для собственных нужд станции и 2,3 млн. кВт·ч тепловой энергии в год для обогрева метантенка. Использование такой когенерационной системы позволило снизить выброс углекислого газа на 1,8 тонн в год.



Микротурбина Capstone C200 на биогазе производит тепло и электроэнергию на водоочистой станции Cossato Spolina в городе Биелла, Италия.

Энергообеспечение курортных зон и памятников архитектуры

КУРОРТ VILLA OLMI, ФЛОРЕНЦИЯ, ИТАЛИЯ

Вилла Olmi была построена в 15 веке. Реконструкция превратила эту некогда частную виллу в роскошный курортный отель, в котором прекрасно сочетаются богатая история и новейшие технологии. Три микротурбины Capstone C60 со встроенным теплоутилизационным модулем обеспечивают здание и плавательный бассейн электричеством и теплом, а также питают абсорбционный чиллер, предназначенный для кондиционирования помещений летом. Собственная энергосистема работает в двойном режиме (автономно и параллельно с общей электрической сетью), что обеспечивает непрерывное энергоснабжение во время перебоев в сети. Данная тригенерационная система является ярким примером того, как современные технологии могут уживаться с историческими памятниками. Проект курируется Государственной службой по охране исторических памятников во Флоренции.



Три микротурбины Capstone C60 производят электричество, тепло и холод для курорта Villa Olmi во Флоренции, Италия.



Рекордный КПД — 96% впервые был достигнут при инсталляции микротурбины Capstone C30 в городском бассейне города Путен (Нидерланды) в 2000 году. Микротурбина работает в режиме когенерации и обеспечивает объект электроэнергией и теплом, подогревая воду и снабжая электричеством обслуживающую бассейн технику.

В октябре 2008 года компания Greenviroment Ltd., являющаяся дистрибьютором Capstone в Германии, ввела в эксплуатацию первую в мире микротурбинную электростанцию Capstone C200, потребляющую биогаз на ферме неподалеку от Франкфурта. Установка работает в режиме когенерации. Производимое тепло используется для подогрева метантенков, а также для обеспечения жилых и хозяйственных помещений.

Один из первых проектов в области утилизации попутного нефтяного газа реализовала компания «ПанКанадиан Петролеум Лтд.» (PanCanadian Petroleum). Специалисты компании быстро осознали и оценили потенциал новой технологии малой энергетики, позволяющей сократить сжигание бросового газа в факелах, использовать низкокалорийный газ и практически бесплатно производить электричество. Особенно ценной оказалась способность микротурбин работать на высокосернистом нефтяном газе, содержащем до 7% H₂S. В 1999 году «ПанКанадиан» закупила семь микротурбин C30 для своих промыслов в Канаде, провинция Альберта. Вырабатываемое электричество потребляется на месте для питания компрессоров, насосов и другого промышленного оборудования. Специалисты

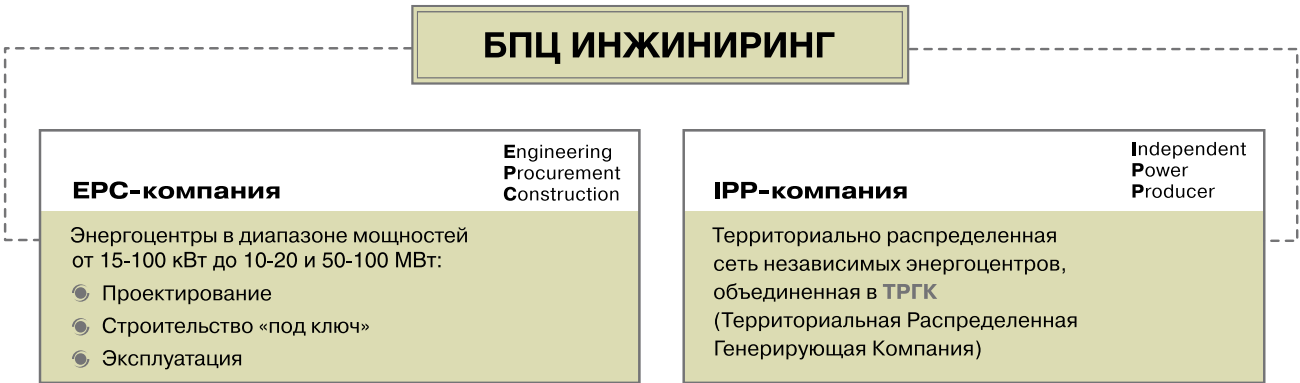
отмечают низкую трудоемкость и стоимость обслуживания микротурбин, поскольку установки работают на воздушных подшипниках без использования смазки или охлаждающей жидкости. Ежегодное обслуживание заключается в основном в замене воздушного фильтра. Их можно смонтировать буквально за один день и сразу использовать, т. к. микротурбины поставляются в полной заводской готовности, отвечающей принципу «включи и работай».

О компании БПЦ Инжиниринг



БПЦ Инжиниринг — интегрированная инжиниринговая компания, специализирующаяся в области построения и эксплуатации распределенных энергетических систем. В 2002 году компания БПЦ Инжиниринг стала эксклюзивным представителем американской фирмы Capstone Turbine Corporation на территории России, стран СНГ и Прибалтики. К моменту заключения договора о сотрудничестве компания Capstone уже была признанным мировым лидером среди производителей микротурбин и контролировала большую часть своего сегмента рынка. Россия тогда рассматривалась, как один из перспективных рынков сбыта для Capstone, но реализованных на ее территории проектов еще не было. Сотрудничество с

БПЦ Инжиниринг позволило Capstone Turbine Corporation не только заявить свое оборудование на российском рынке, но и внесло существенный вклад в развитие альтернативных технологий энергообеспечения, развитие малой энергетики как отрасли в целом. Capstone — первое и, на сегодняшний день, единственное в России энергогенерирующее оборудование класса микротурбин, представленное в широком диапазоне мощностей — от 15 кВт до 1 МВт. Благодаря стратегическому партнерству двух инновационных компаний количество реализованных проектов и единиц оборудования, введенного в эксплуатацию к настоящему моменту на территории России, измеряется сотнями.



Кроме того:

- Имя и репутация надежного партнера, более 10 лет реализующего комплексные проекты энергоснабжения;
- Более 900 введенных в эксплуатацию микротурбинных установок Capstone, более 250 реализованных проектов, сотни клиентов, среди которых: «ГАЗПРОМ», «РУССНЕФТЬ», «ЛУКОЙЛ», «ТНК-ВР», «ИТЕРА», «ТАТНЕФТЬ», «РОСТЕЛЕКОМ», «САХАЭНЕРГО», «АПТЕКИ 36,6», горнолыжный курорт «ИГОРА», кондитерская фабрика «АМА», десятки средних и мелких потребителей различного профиля;
- Собственная система логистики и склад;
- Собственная лизинговая компания, обеспечивающая льготный режим финансирования;
- Официальные представительства в регионах, десятки региональных дилеров;
- Завод по производству микротурбин и комплектных энергоцентров по технологиям и на основании лицензионных соглашений с компанией Capstone в городе Тутаев Ярославской области;
- Система менеджмента качества БПЦ Инжиниринг соответствует международным стандартам ISO 9001:2000, ГОСТ Р 9001–2001.

География проектов

по состоянию на 2012 год



1. Южный федеральный округ

Количество микротурбин: 55

Совокупная электрическая мощность: 7630 кВт
2. Центральный федеральный округ

Количество микротурбин: 138

Совокупная электрическая мощность: 12550 кВт
3. Северо-Западный федеральный округ

Количество микротурбин: 238

Совокупная электрическая мощность: 18610 кВт
4. Приволжский федеральный округ

Количество микротурбин: 137

Совокупная электрическая мощность: 19630 кВт
5. Уральский федеральный округ

Количество микротурбин: 74

Совокупная электрическая мощность: 4820 кВт
6. Сибирский федеральный округ

Количество микротурбин: 24

Совокупная электрическая мощность: 1490 кВт
7. Дальневосточный федеральный округ

Количество микротурбин: 156

Совокупная электрическая мощность: 13455 кВт
8. Северо-Кавказский федеральный округ

Количество микротурбин: 26

Совокупная электрическая мощность: 815 кВт
9. Республика Беларусь

Количество микротурбин: 53

Совокупная электрическая мощность: 9520 кВт
10. Украина

Количество микротурбин: 13

Совокупная электрическая мощность: 845 кВт
11. Грузия

Количество микротурбин: 4

Совокупная электрическая мощность: 240 кВт
12. Казахстан

Количество микротурбин: 3

Совокупная электрическая мощность: 430 кВт



109028, Россия, Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А/8, стр. 2
Тел.: +7 (495) 780-31-65; факс: +7 (495) 780-31-67
E-mail: energy@bpc.ru ■ www.bpcenergy.ru