

У доповіді наведено досвід створення когенераційних мікроустановок на основі керамічних μ ГТУ електричною потужністю 2 кВт і тепловою 5 кВт з загальною ефективністю 85%

Ключові слова: кераміка, мікроустановка, газова турбіна, рекуператор

В докладе представлен опыт создания когенерационных микроустановок на основе керамических μ ГТУ электрической мощностью 2 кВт и тепловой 5 кВт с общей эффективностью 85%

Ключевые слова: керамика, микроустановка, газовая турбина, рекуператор

The issue of developments of the ceramic microGTE-based cogeneration plants with the electric power up to 2KW and heat output of 5KW and the total efficiency of 85% is discussed in the paper

Key words: ceramics, micro plant, gas turbine, recuperator

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ МИКРОГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

А. В. Сударев

Доктор технических наук, профессор, академик АТН РФ, генеральный директор*

Контактный тел.: 7 (812) 225-34-53

E-mail: soudarev@boykocenter.spb.ru

А. С. Молчанов

Заместитель генерального директора*

Контактный тел.: 7 (812) 225-44-91

E-mail: soudarev@boykocenter.spb.ru

В. Г. Конаков

Доктор химических наук, профессор, генеральный директор

ООО НТЦ «Стекло и керамика»

Полюстровский проспект, 15, корпус 2, г. Санкт-Петербург, Россия, 195221

Контактный тел.: 7 (812) 225-77-87

E-mail: Konakov@mail.wplus.net

А. А. Сурьянинов

Главный конструктор*

Контактный тел.: 7 (812) 225-44-91

E-mail: soudarev@boykocenter.spb.ru

*ООО «Научный Центр «Керамические Двигатели им. А.М. Бойко»

Полюстровский проспект, 15, корпус 2, г. Санкт-Петербург, Россия, 195221

1. Введение

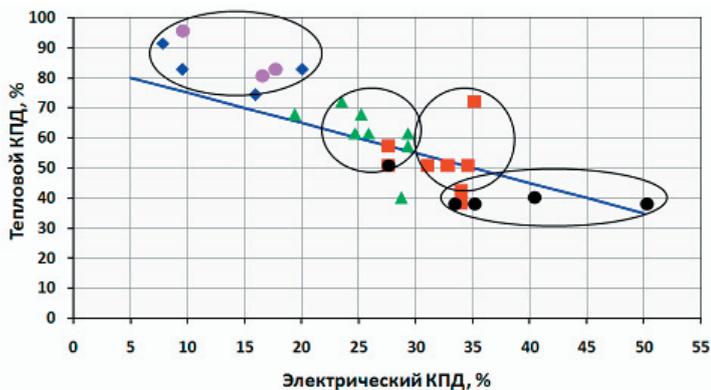
Целью настоящей работы является повышение экологичности и экономичности автономных микроустановок для нагрева воды за счет выработки ими электроэнергии без снижения количества поставляемого тепла. Применяемые в настоящее время котельные установки проектируются с целью производства и поставки только тепловой энергии. При такой технологии тепло продуктов сгорания топлива далеко не полностью передается нагреваемой воде, значительная его доля выбрасывается в атмосферу. Если же продукты сгорания топлива использовать сначала для нагрева воздуха, поступающего в турбину турбоэлектрогенератора, а лишь затем – для нагрева воды, то тепловая эффективность такой когенерационной микроустановки существенно повышается, а Потребитель получает и энергию и тепло. Осуществление когенерации позволяет Потребителю стать менее зависимым от различных социально-экономических обстоятельств. Оптимальная мощность когенерационных установок, необходимых, прежде всего для коммунального сектора, особенно для владельцев дач, домов, небольших магазинов, малого бизнеса и т.д., сводится к уровню электрической мощности номинального режима от 1

до 5 кВт при полной мощности (электричество + тепло) от 4 до 10 кВт [1-3].

2. Существующие когенерационные установки

Подробный сравнительный анализ различных типов применяемых в настоящее время когенерационных микроустановок показывает, что наиболее приемлемыми для Потребителя показателями (соотношение электрической и тепловой мощности, шум, эмиссия токсичных компонентов, массогабаритные параметры, возможность применения различных топлив, и др.) обладают микротурбинные двигатели (рис. 1).

В подавляющем большинстве случаев применяются две тепловые схемы когенерации на основе микрогазотурбинных установок (μ ГТУ). Первая схема выполняется на основе, например, газотурбинных электрогенераторов (ЭГ), выхлопные газы, которых используются для нагрева теплофикационной воды. Во второй схеме также используются выхлопные газы, например, тех же газотурбинных ЭГ, но уже в качестве окислителя сжигаемого в теплофикационном водяном котле топлива. Подобные системы отличаются высокой эффективностью и возможностью регулировать



Обозначения: ♦ – двигатели Стирлинга; ▲ – технологии внутреннего сгорания (ДВС, ГТУ); ● – твердооксидные высокотемпературные топливные элементы (ТЭ), ■ – низкотемпературные ТЭ; ◆ – двигатели с циклом Ранкина; — линия, показывающая общий КПД, 85%.

Рис. 1. График теплового и электрического КПД у различных технологий когенерационных микроустановок [4,5]

соотношение между производством электрической и тепловой энергией. Основными их недостатками являются:

- невозможность сжигать твердое топливо, поскольку и газовые турбины и дизельные двигатели работают только на газообразном или жидком топливе;
- сравнительно высокая эмиссия токсичных компонентов выхлопа существующих тепловых двигателей, так как сжигание в их камерах сгорания осуществляется при относительно высоком давлении и высокой температуре;
- высокие массогабаритные показатели.

3. Когенерационная керамическая микроустановка

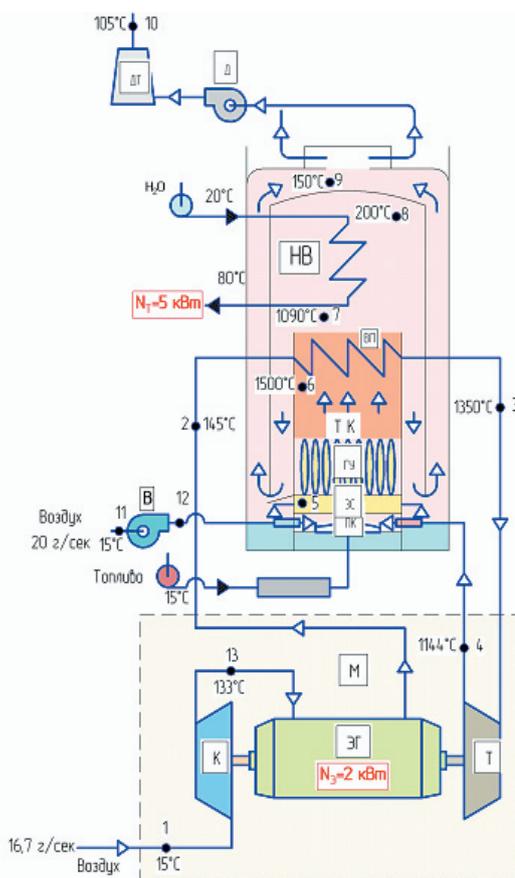
С целью устранения перечисленных выше недостатков и соответствующего улучшения экологических и экономических характеристик когенерации наиболее целесообразно осуществить интеграцию водяного микрокотла (μВК) и газотурбинной электро-

механической микро-системы (гтМЭМС), состоящей из μГТУ и μЭГ.

Обычный водонагреватель (ВН), сжигает любое газообразное, жидкое или твердое топливо при давлении, близком к атмосферному. В этом, безусловно, достоинство такой схемы. К сожалению, есть и недостатки:

- большие тепловые потери с выхлопными газами;
- сравнительно высокая эмиссия токсичных составляющих выхлопа;
- значительные затраты на покупку электроэнергии необходимой для привода вспомогательного оборудования (воздушные вентиляторы, водяные насосы, дымососы, топливные устройства, приборы и

троэнергии необходимой для привода вспомогательного оборудования (воздушные вентиляторы, водяные насосы, дымососы, топливные устройства, приборы и



Обозначения: К – компрессор, Т – турбина, ЭГ – электрогенератор, М – гтМЭМС, ПК – предтопка котла, ЗС – зона смешения, ГУ – горелочное устройство, ТК – топка котла, ВП – воздухоподогреватель, ВН – нагреватель воды, В – вентилятор, Д – дымосос, ДТ – дымовая труба

Рис. 2. Тепловая схема когенерационной установки (ВК+ВП) + ГТУ

датчики систем управления, регулирования, освещения и т.д.), суммарная мощность которого достигает 5-10% общей мощности ВК.

При интеграции μ ВК с гТМЭМС роль традиционной камеры сгорания выполняет размещаемый между зоной горения котла и нагревателем воды (НВ) (рис. 2), керамический микровоздухонагреватель (μ ВП).

В μ ВП подается воздух после сжатия в компрессоре и некоторого подогрева в μ ЭГ. Этот воздух нагревается за счет отбора тепла от продуктов сгорания, выходящих из топки котла, и поступает в воздушную турбину, приводящую компрессор и μ ЭГ, обеспечивающий электроэнергией не только вспомогательное оборудование когенерационной установки, но и нужды Потребителя. После расширения в турбине воздух имеет температуру не ниже 1100°C , а давление, близкое к атмосферному, и с такими параметрами поступает внутрь котла в предтопочное пространство. Общий расход воздуха, направляемого в котел, в 2,5-3 раза больше, чем в его стандартной конструкции, поскольку воздух требуется не только для сжигания топлива, но и для работы приводящей μ ЭГ турбины.

При необходимости может быть предусмотрена и автономная работа котла в те периоды, когда Потребитель нуждается только в поставке тепла. Если же тепло вообще не требуется, то в конструкции котла имеется байпас, направляющий горячий газ непосредственно в дымовую трубу, минуя НВ.

4. Конструкция основных устройств когенерационной микроустановки

Определяющими устройствами, разработанными в рамках рассмотренной выше принципиальной схе-

мы когенерации тепловой и электрической энергии, являются:

– встроенный в котел керамический μ ВП (рис. 3), обеспечивающий подогрев рабочего тела – воздуха до температуры 1350°C ;

– энергетическая микроустановка (гТМЭМС), являющаяся приводом встроенного в турбоблок μ ЭГ постоянного тока электрической полезной мощностью 2 кВт.

μ ВП состоит из двух параллельно работающих цилиндрических модулей диаметром ~ 94 мм и высотой ~ 170 мм.

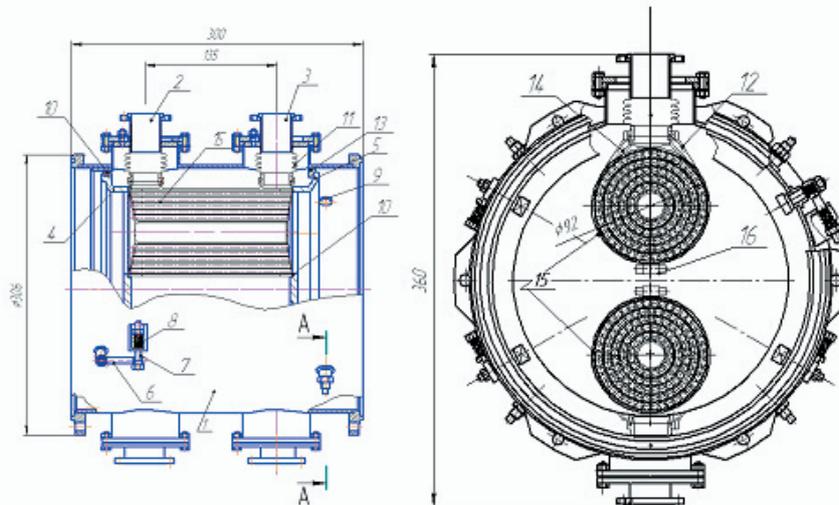
Каждый модуль представляет собой матричный теплообменник [4] с противоточным движением теплоносителей: снизу вверх по цилиндрическим каналам течет выходящий из топки котла горячий газ с температурой на входе $\sim 1500^{\circ}\text{C}$, а в противоположном направлении по щелевым каналам движется воздух с температурой на входе $\sim 150^{\circ}\text{C}$, подаваемый компрессором μ ГТУ.

Суммарная площадь газовых каналов в несколько раз превышает площадь воздушных каналов, так как в газовый тракт поступает выхлопной газ из турбины и воздух из вентилятора, а в воздушный тракт – только воздух из нагнетания компрессора.

Изготовленные модули керамического μ ВП и весь теплообменник в сборе показаны на рис. 4.

Одновременно с μ ВП была спроектирована μ ГТУ (рис. 5), все основные узлы которой выполнены на основе инновационных запатентованных материаловедческих, технологических и конструкторских решений, не имеющих аналогов в мировом турбостроении [2, 3].

Создание экономических μ ГТУ является сложной комплексной задачей, так как миниатюризация тур-



Обозначения: 1 - корпус, 2 (3) – патрубки подвода (отвода) холодного (горячего) воздуха, 4 – прижимная платформа, 5 – нижняя платформа, 6 – штанга, 7 – тяга, 8 – пружина, 9 – кулачек, 10 – уплотнение, 11 – сильфон, 12 – хомут, 13 – фланец, 14 – керамический переход, соединяющий керамический модуль 15 рекуператора 1 с металлическими патрубками 2 (3) подвода (отвода) воздуха, 16 – узел натяжения гибкого хомута.

Рис. 3. Рекуперативный μ ВП

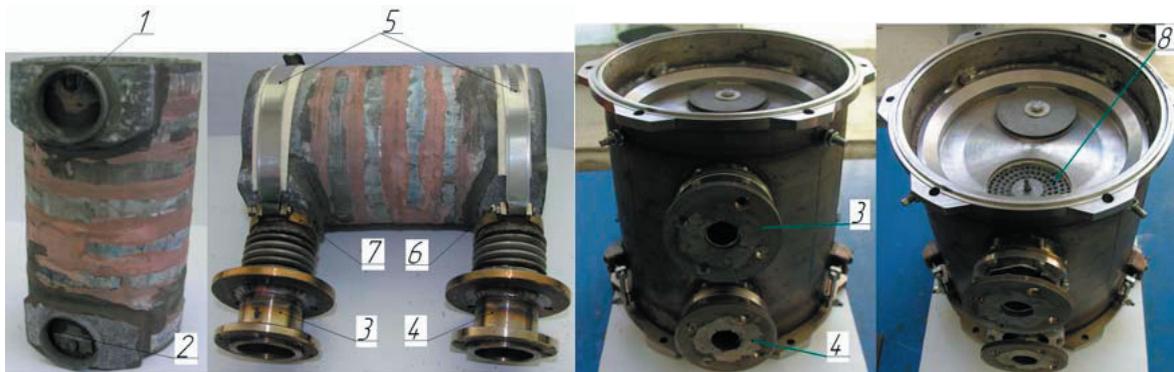


Рис. 4. Керамический мВП: а – керамический модуль в сборе с деталями подвода и отвода воздуха; б – теплообменник в сборе: 1 (2) – входной (выходной) патрубок мВП; 3(4) – патрубок подвода (отвода) холодного (горячего) воздуха; 5 – гибкий хомут; 6 – узел натяжения; 7 – сильфон, 8 – керамический модуль мВП

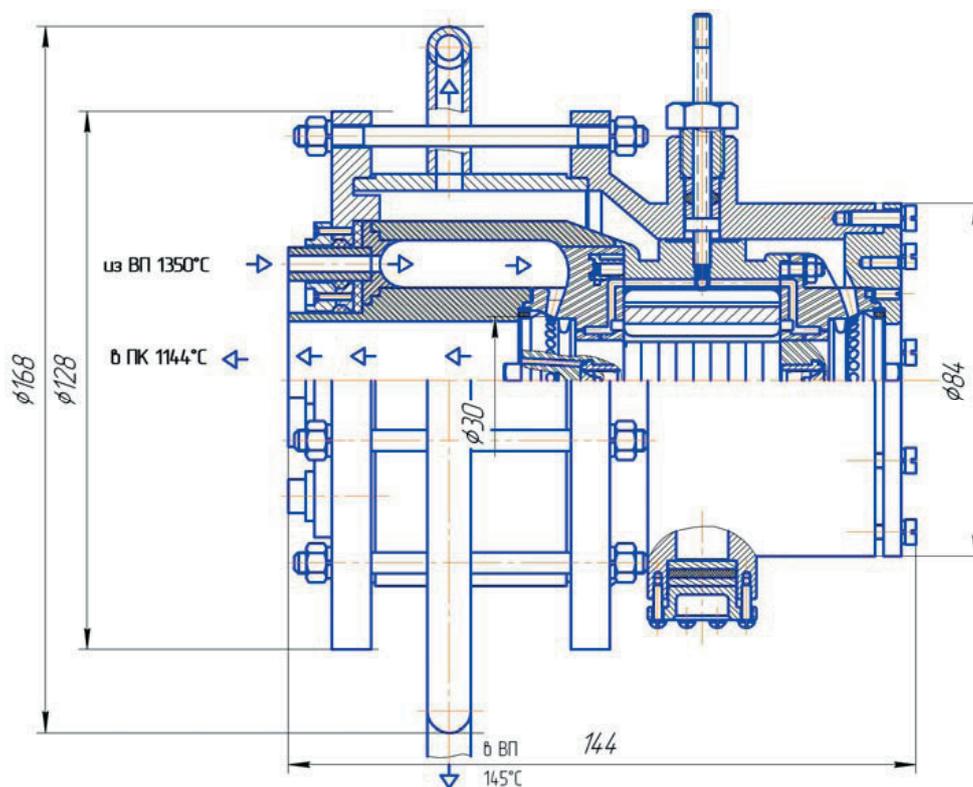


Рис. 5. Конструктивная схема мГТУ

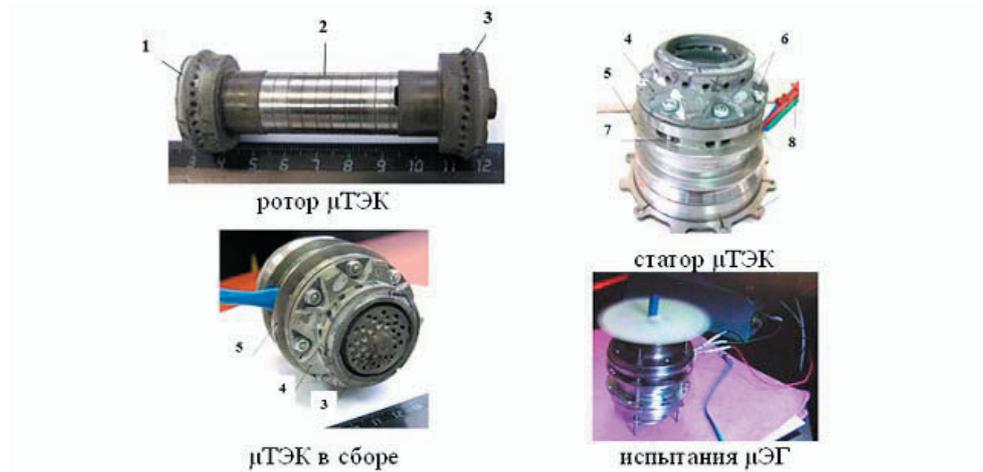
бомашин сопровождается снижением эффективности их лопаточных аппаратов, а также ограничением уровня температуры рабочего тела на входе в турбину из-за невозможности организовать ее надежное охлаждение.

Увеличение КПД мГТУ до $28 \pm 1\%$ может быть достигнуто за счет реализации результатов НИОКР по следующим направлениям:

1. Разработка и внедрение конструкционных керамических материалов (ККМ), обеспечивающих надежную работу изготавливаемых из них деталей мГТД до 1350°C без применения охлаждения.

2. Концепции туннельных (безлопаточных) турбомашин [3] с разработкой газодинамической и прочностной методологии их расчета, с изготовлением и испытанием металлических моделей и штатных рабочих колес турбомашин, а также узлов статора - диффузора компрессора и соплового аппарата турбины.

3. Конструкции керамического микротурбоэлектродвигателя (рис. 6), в котором совмещены роторные и статорные узлы и детали мЭГ и микротурбокомпрессора, за счет чего осуществлена жесткая конструкция ротора.



Обозначения: 1 – рабочее колесо μ Т, 2 – ротор μ ЭГ, 3 – рабочее колесо μ К, 4 – диффузор μ К, 5 – статор μ ЭГ, 6 – стяжки, 7 – отверстия входа охлаждающего воздуха, 8 – электропровода.

Рис. 6. Основные элементы микротурбоэлектрокомпрессора

5. Выводы

1. Проведенные НИОКР по осуществлению комплекса инновационных технических решений при соз-

их использования в многомодульных энергетических системах, не требующих ремонта, остановок и эксплуатирующихся на всех режимах работы с номинальным значением электрического КПД.

дании газотурбинной керамической гтМЭМС мощностью 2 кВт **подтвердили возможность реализации:**

- **КПД** на уровне лучших μ ГТУ мощностью 30-65 кВт (**28-30%**),

- экологической чистоты, как по эмиссии NO_x и CO , так и по уровню шума,

- повышения **КПД** μ ЭГ до **99%**,

- **высокой** массовой и объемной **удельной мощности** (>300 Вт/кг и >400 Вт/л, включая μ ЭГ и μ ВП) [9].

2. Решающим преимуществом когенерационных микроустановок является возможность

Литература

1. Сударев А.В., Сурьянинов А.А., Тен В.С., Головкин Б.А., Деде А.В., Противочичный пластинчатый матрично-кольцевой керамический рекуператор, патент РФ №2391614 от 18.11.2008 г.
2. A. Soudarev, A. Souryaninov, V. Tikhoplav, A. Molchanov, P.Avrar, L.Lelait, Pioneer concept of blade-free turbomachines for micro gas turbine engines. (Part II. Tests of metal model of micro turbine), Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2007 Tokyo, December 3-7, 2007, Paper TS-019, 4 p.
3. А.С.Молчанов, Б.В.Сударев, А.А.Халатов, М.В.Ковалев, Унифицированный ряд регенеративных газотурбогенераторов (ГТГ) судового и наземного применения, Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 3/10 (51) 2011, стр. 37-43.
4. С .Soares, Microturbines Applications for Distributed Energy Systems, 2007, Elsevier Inc, 271 p.
5. M. Knowles, I. Burdon, Micro Energy Systems: Review of Technology, Issues of Scale and Integration, 2004, John Wiley and Sons, 180 p.