

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА МОЩНОСТЬЮ 100 кВт С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРОМ НА ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

С.М. Доросев

Российский федеральный ядерный центр —
ВНИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина, г. Снежинск

Приводится краткое описание ЭУ электрической мощностью 100 кВт с ЭХГ на ТОТЭ.

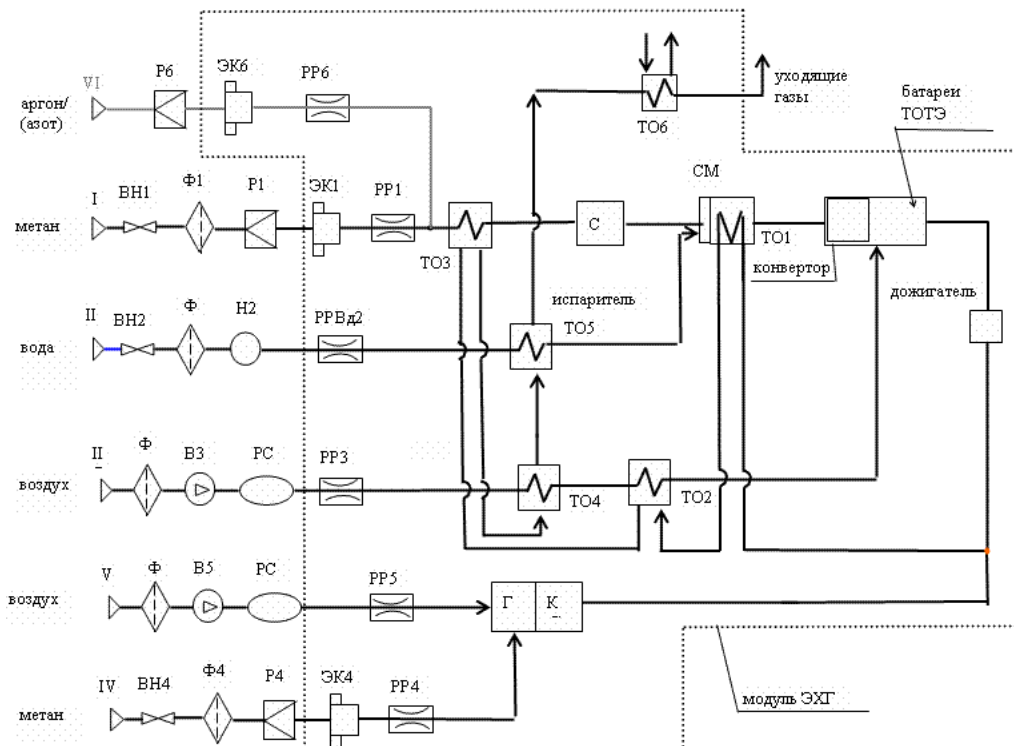
Наряду с разработкой ЭУ на ТОТЭ малой мощности 1—5 кВт в РФЯЦ — ВНИИТФ ведется проработка ЭУ мощностью 100 кВт. В 1999 году рассмотрено и утверждено техническое предложение на ЭУ–100 с ожидаемыми техническими характеристиками, приведенными в таблице. В рамках технического предложения разработаны варианты ЭУ с воздушной и паровой конверсией природного газа. В качестве базовых рассматривались следующие критерии:

- модульное построение электрохимического генератора;
- максимальное совмещение функций элементов систем;
- оптимальная взаимосвязь конструкции и процессов;
- реализация основных требований заказчика и возможность совершенствования ЭУ для обеспечения требований в полном объеме.

Ожидаемые характеристики ЭУ

Характеристика	Величина
Номинальная электрическая мощность, кВт	100
Производительность по тепловой энергии, Гкал/ч в пересчете на горячую воду, м ³ /ч	0,06/0,9
Расход природного газа (метана), м ³ /ч	27,7
Расход воздуха, м ³ /ч	820
Расход воды, л/ч	52
Выходное напряжение промышленной частоты (50 Гц), В	380/220
Время запуска в нормальных условиях, ч	12
Коэффициент полезного действия (общий), %	68,8
Коэффициент полезного действия (электрический), %	42,2

Для разработки на стадии эскизного проекта рекомендован вариант ЭУ с паровой конверсией топлива (рис. 1).



Условные обозначения к рис. 1:

- СМ — смеситель;
- С — серопоглотитель;
- ГУ — горелочное устройство;
- КС — камера сгорания;
- Р1, Р4, Р6 — редуктор;
- ЭК1, ЭК4, ЭК6 — электроклапан;
- PP1, PP3, PP4, PP5, PP6 — регулятор расхода газа;
- ТО1—ТО6 — теплообменник;
- ВН1, ВН2, ВН4 — вентиль;
- Ф1—Ф5 — фильтр;
- Н2 — насос;
- PPвд2 — регулятор расхода воды;
- В3, В5 — воздуходувка;
- РС3, РС5 — ресивер;

Основные технические решения, лежащие в основе приведенной схемы следующие:

- модульное исполнение ЭХГ — высокотемпературные части ЭУ объединены в 16 однотипных электрохимических модулей;
- внешнее снабжение водой для обеспечения паровой конверсии топлива;
- стартовый разогрев ЭХГ с использованием газовой горелки и воздуха, нагреваемого в теплообменниках.

На схеме показаны следующие системы:

- система подготовки топлива представлена линией подачи метана (I) и линией подачи воды на конверсию (II);
- система подготовки окислителя представлена линией III;
- система стартового разогрева — линия подачи метана (IV) и линия подачи воздуха (V) в горелочное устройство;
- система хранения и подвода инертного газа — линия (VI).

Разработана информационно-управляющая система (ИУС) — двухуровневая иерархическая система автоматики, позволяющая эксплуатировать ЭУ в автоматическом и автоматизированном режимах. ИУС предназначена для оптимального управления технологическим оборудованием ЭУ при запуске, в процессе эксплуатации, при плановом и аварийном останове ЭХГ.

Основные функции ИУС:

- сбор, обработка и отображение в реальном масштабе времени технологической информации по основным и вспомогательным объектам ЭУ на экране инженерного (операторского) АРМ в виде мнемосхем, графиков, пиктограмм, таблиц, диаграмм;
- автоматическое управление исполнительными механизмами по заданным алгоритмам, а так же по командам, поступающим от оператора;
- технический учет расхода газа, тепло- и электроэнергии;
- ведение архива текущих и аварийных состояний технологического процесса;
- печать отчетов, справок, рапортов, протоколов.

В состав программного обеспечения (ПО) ИУС входит ряд функциональных подсистем: информационная, управления режимами запуска и останова ЭУ, управления ЭУ в номинальном режиме работы.

В поле датчиков и исполнительных механизмов ИУС находятся термопары, датчики напряжения, тока, давления, расхода и т. д., непосредственно измеряющие текущие технологические параметры ЭХГ и других функциональных систем ЭУ, а также регулирующая и запорная арматура, выключатели, коммутаторы, устройства звуковой и световой сигнализации и оповещения.

Нижний уровень (система автоматического управления, регулирования и контроля) реализуется на базе технологического контроллера и обеспечивает полный автоматический контроль и управление ходом технологического процесса (как основного, так и вспомогательного оборудования). Контроллер работает под управлением операционной системы реального времени и рабочих программ, предустановленных на твердотельном энергонезависимом диске памяти процессорного модуля.

Верхний уровень (система обработки информации и отображения) реализуется на базе АРМ оператора. В качестве технологического ПО верхнего уровня используется SCADA–система (система сбора данных и оперативного диспетчерского управления).

Обмен данными между уровнями системы осуществляется посредством последовательного интерфейса или по радио, либо телефонному каналу.

Для преобразования постоянного тока в переменный предусмотрен преобразователь — инвертор ПТС–200.

Проведена разработка и оптимизация конструкций батарей ТОТЭ. Базовое исполнение батареи ТОТЭ содержит 8 ТОТЭ, параллельно соединенных по току и пространственно изолированных друг от друга. Расчет температур основных элементов этой батареи показал, что разнотемпературность по длине ТОТЭ в рабочем режиме составляет 100—120 °С. Результатом оптимизации базового исполнения батареи ТОТЭ стали батареи ТОТЭ со встроенным конвертором (риформером) и теплообменником. Усовершенствование конструкции за счет организации паровой конверсии в батарее или подачи воздуха в электрохимическую зону через продольный канал в батарее позволяет в обоих случаях уменьшить разнотемпературность по длине ТОТЭ до 35—40 °С и вдвое сократить расход воздуха.

Для удобства изготовления и сборки батареи ТОТЭ конструктивно объединены в секции (рис. 2), секции объединены в блоки (рис. 3).

Функциональные высокотемпературные части систем ЭУ (серопоглотитель, смеситель, дожигатель, теплообменники) вместе с блоками секций батарей ТОТЭ объединены в 16 однотипных электрохимических модулей. Модули ЭХГ электрически соединены парами последовательно, пары между собой — параллельно. Расчетные электрические характеристики ЭХГ составляют:

- напряжение постоянного тока — 260 В;
- номинальный ток нагрузки — 492,5 А.

Такое исполнение позволяет наиболее эффективно управлять процессом получения электроэнергии и упрощает доступ к топливным элементам и другим функциональным частям экспериментальной ЭУ.

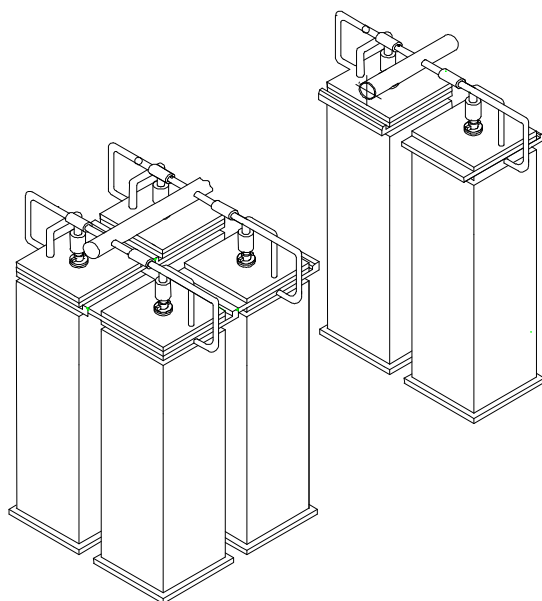


Рис. 2. Секция батарей ТОТЭ

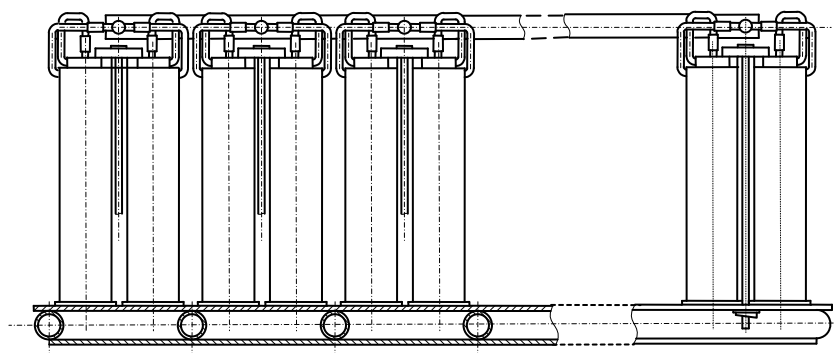


Рис. 3. Блок секций батарей ТОТЭ

Полная электрическая мощность модулей ЭХГ на режиме напряжения единичного ТОТЭ 0,65 В и КПД инвертора 0,9 при электрической мощности ЭУ 100 кВт равна 122,5 кВт, полный расход воздуха для ЭУ составляет 820 $\text{м}^3/\text{ч}$ для коэффициента избытка воздуха ~ 4 и потери давления в трактах ЭУ $\sim 0,3$ атм; работа его сжатия при величинах КПД воздухоудвки 0,7 и 0,5 составляет соответственно 9 и 12,5 кВт.

Роль силового элемента модуля ЭХГ (рис. 4) выполняет корпус из жаропрочной стали, в котором размещены:

- блок секций батарей ТОТЭ;
- теплообменники;
- дожигатель;

- испаритель;
- смеситель;
- серопоглотитель.

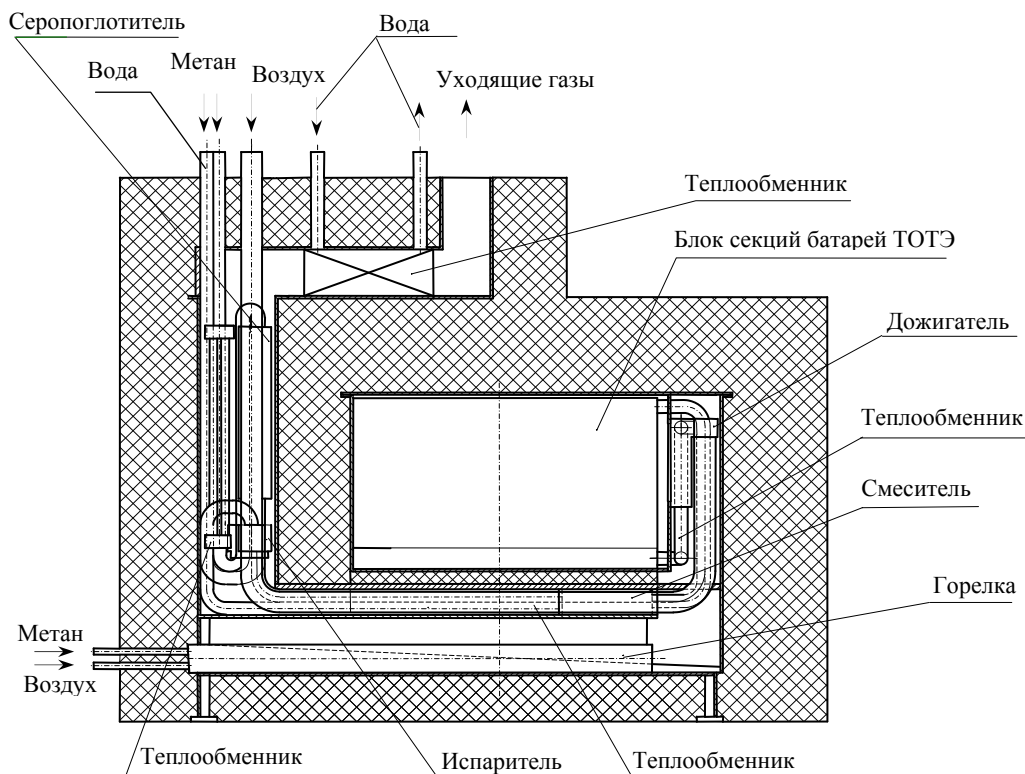


Рис. 4. Модуль ЭХГ

В верхней части корпуса установлен теплообменник для получения горячей воды. В нижней части корпуса расположена газовая горелка для разогрева модуля при запуске. С наружной стороны корпус закрыт теплоизоляцией.

Принята схема нагрева электрохимической зоны, в которой греющими газами батарей ТОТЭ являются продукты горения метана и нагретый в теплообменниках атмосферный воздух. Это позволяет за счет надлежащего выбора расходов топлива в горелочном устройстве и воздуха в электрохимической зоне добиться соблюдения условий сохранения термостойкости ТОТЭ, поддерживая в течение процесса разогрева относительно небольшую разность температур воздуха на входе и выходе.

Предварительный анализ вариантов конструктивного исполнения, принципиальных схем разрабатываемой ЭУ–100 кВт с учетом обеспечения выполнения основных требований ТЗ и потенциальных сфер ее применения выявил некоторые противоречия. Так, ЭУ с внутренней конденсацией паров воды или конверсией исходного топлива отработанным анодным газом рассматриваются рядом

зарубежных специалистов как более дорогие, сложные и требующие большего объема отработки. В то же время реализация паровой конверсии исходного топлива, как обеспечивающей более высокие значения КПД по сравнению с воздушной конверсией, требует непрерывного снабжения ЭХГ водой во всем диапазоне эксплуатации, что, возможно, не является приемлемым для автономной, полностью автоматизированной эксплуатации ЭУ в необжитых районах. Подобные моменты касаются также и процессов запуска, планового останова, аварийного останова ЭУ в условиях отсутствия электроэнергии, вырабатываемой ТОТЭ, так как предполагают использование электроэнергии либо внешнего источника (например, дизель-генератор, электрическая сеть промышленной частоты), либо внутреннего (резервного) источника (например, аккумуляторная батарея, турбогенератор).

Эти и другие вопросы (климатическое исполнение элементов ЭУ, поставка ЭУ в состоянии полной заводской готовности или в виде отдельных блоков и др.) требуют дополнительной проработки. Необходимым в настоящее время является определение нужд потенциальных заказчиков, в первую очередь ОАО "Газпром" и РАО "ЕЭС России", по классам мощности требуемых источников тока и/или тепла и формулирование исходных данных для разработки ЭУ на ТЭ с учетом конкретных требований, предъявляемых к серийной продукции и к демонстрационному варианту ЭУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В РФЯЦ — ВНИИТФ в рамках технического предложения на ЭУ с ЭХГ на ТОТЭ установленной электрической мощностью 100 кВт разработаны варианты ЭУ с воздушной и паровой конверсией природного газа. Проведена оптимизация конструкций батарей ТОТЭ. Разработаны основные технические решения конструктивного исполнения ЭУ. Проведено расчетное обоснование основных характеристик ЭУ и ее конструктивных элементов. Для рассмотрения на стадии эскизного проектирования рекомендован вариант ЭУ с паровой конверсией природного газа.