

В.А. Фёдоров<sup>1</sup>, О.О. Мильман<sup>1</sup>, Г.С. Асланян<sup>2</sup>, В.М. Смирнов<sup>1</sup>, П.А. Ананьев<sup>1</sup>

ЗАО «Научно-производственное предприятие «Турбокон», Калуга, Россия (1)

АНО «Центр энергетической политики», Москва, Россия (2)

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ, ГАЗОВОЙ И ГАЗОРАСШИРИТЕЛЬНОЙ ТУРБИНАМИ

### АННОТАЦИЯ

В докладе рассматриваются вопросы создания автономных высокоэффективных наукоёмких систем производства электроэнергии и тепла с применением природного газа в качестве топлива и рабочего тела. Использование электроэнергии, производимой газовой и газорасширительной турбинами с коэффициентом использования топлива 85 %, для привода теплового насоса позволяет обеспечить коэффициент трансформации тепла с использованием теплового насоса 5 и более по отношению к теплоте сжигаемого топлива.

### 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В начале XXI века начался резкий рост стоимости топлива и тарифов на покупку тепловой энергии, произошёл целый ряд крупных аварий в электро- и теплоэнергетике. Прекращение подачи электроэнергии приводит к размораживанию систем теплоснабжения и появлению целого ряда других негативных последствий. Современные отопительные котлы и парогенераторы при использовании природного газа имеют высокие значения КПД (отношение отпущенного тепла к теплу сожжённого газа), составляющие 92...94% без учёта затрат на поставляемую электроэнергию. В диапазоне мощностей от 1 до 5 МВт котельные установки изготавливаются многими российскими и иностранными компаниями.

### 2. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Предлагаемая для реализации технология относится к области энергосберегающих технологий производства тепла и электроэнергии с коэффициентом использования топлива 92...94%. Патентные права на устройство для производства электроэнергии защищены в соответствии с законодательством Российской Федерации авторами проекта [1,2].

По оценкам, проведенным специалистами ОАО «Газпром» [3], МЭИ, ЗАО НПВП «Турбокон» [4] и ЭНИН им. Г.М. Кржижановского, потенциальный рынок России составляет около 5 млн. кВт.

Схема предлагаемой комбинированной установки представлена на рис. 1. Она содержит магистральный газопровод 1, газовую турбину (газопоршневой двигатель) 2 с электрогенератором 3, газорасширительную турбину 4 с электрогенератором 5, теплообменники для подогрева газа 6,7, регулятор расхода 8, сетевой подогреватель 9.

Новизна предлагаемой установки заключается в том, что параллельно регулятору расхода газа последовательно соединены теплообменник для нагрева газа перед газорасширительной турбиной, газорасширительная турбина с электрогенератором, теплообменник для нагрева газа за газорасширительной турбиной. Выхлоп газовой турбины (газопоршневого двигателя) последовательно соединен газопроводом с теплообменником перед газорасширительной турбиной и теплообменником за газорасширительной турбиной, а мощность газорасширительной турбины в 1.5...2 раза больше мощности газовой [2].

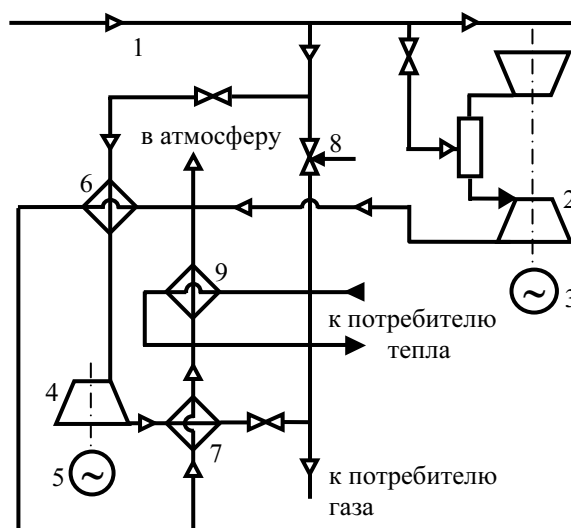


Рис.1. Принципиальная схема комбинированной установки для производства электроэнергии и тепла с использованием газовой и газорасширительной турбин

Установка работает следующим образом. Газ из магистрального газопровода 1 сгорает в камере сгорания и поступает в газовую турбину 2, сгорает внутри нее и приводит в действие электрогенератор 3. Продукты сгорания последовательно поступают в теплообменники 6,7 и выбрасываются в атмосферу. Газ из магистрального газопровода 1 поступает в теплообменник 6 и подогревается. Далее газ, проходя через газорасширительную турбину 4, приводит в действие электрогенератор 5, охлаждается и поступает в теплообменник 7, где вновь подогревается и направляется потребителю. Регулятор 8 необходим для работы схемы на переменных режимах и при неработающей газорасширительной турбине.

Установка двух теплообменников 6 и 7 перед и за газорасширительной турбиной объясняется необ-

ходимостью увеличить количество передаваемого тепла от горячих отработавших газов после газовой турбины к природному газу, проходящему через газорасширительную турбину без сжигания. Причем более теплый природный газ перед газорасширительной турбиной греется более горячими отработавшими газами, а холодный природный газ после газорасширительной турбины подогревается отработавшими газами, частично охлажденными в теплообменнике, установленном перед газорасширительной турбиной. Предлагаемая схема включения энергетического оборудования обеспечивает максимальную термодинамическую обратимость процессов и соответственно максимальный КПД энергокомплекса.

Для обеспечения потребителей тепловой энергией после теплообменника 7 установлен подогреватель сетевой воды 9. Перераспределение энергий осуществляется по требованию заказчика.

Высокая энергетическая эффективность предлагаемой установки определяется тем, что в ней может быть осуществлена утилизация внутренней энергии выхлопных газов газотурбинной установки, а также и тем, что в используемой для этой цели газорасширительной турбине внутренняя энергия выхлопных газов может быть утилизирована практически полностью. Последнее объясняется тем, что газорасширительная турбина (детандер) не является тепловой машиной, т.к., несмотря на то, что в нем происходит, преобразование внутренней энергии (теплоты) в механическую работу, действие его не основано на циклическом процессе, чего требует классическое определение тепловой машины. Процесс в детандере идет без отдачи теплоты в окружающую среду (за исключением тепловых потерь в проточной части), что позволяет получать в нем механическую работу практически в том же количе-

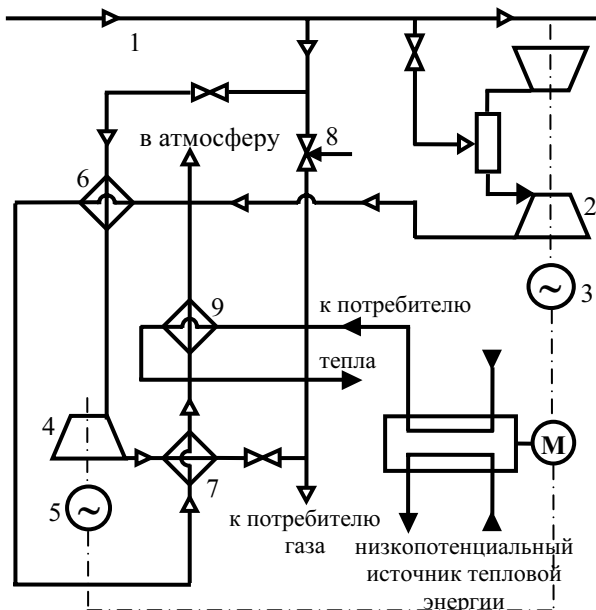


Рис.2. Принципиальная схема комбинированной установки для производства электроэнергии и тепла с использованием газовой и газорасширительной турбин, а также теплового насоса

стве, что и подведенная теплота. (В этом смысле газорасширительная турбина аналогична паровой турбине, работающей в режиме с противодавлением). Поэтому тепловая экономичность работы такого устройства будет определяться, в первую очередь, энтальпией выхлопных газов, выбрасываемых в атмосферу. При правильном выборе конструктивных решений для теплообменников 6, 7 и, особенно, 9 температура выхлопных газов, выбрасываемых в атмосферу, может принимать значения 60–80 °С, что позволит установке работать с эффективным КПД, превышающим 85%.

На рис.4 представлена расчётная зависимость коэффициента использования топлива (КИТ) от отношения мощностей газорасширительной и газовой турбин ( $N_{ГР}/N_{Г}$ ) при различных КПД газовых турбин ( $\eta_{Г}$ ) и коэффициенте передачи тепла 80%. Наличие максимума объясняется тем, что с ростом  $N_{ГР}$  при постоянной мощности газовой турбины растёт доля утилизируемого тепла от уходящих газов. Из-за того, что охлаждение уходящих газов ниже 60–80 °С на практике сложно осуществимо, для дальнейшего повышения  $N_{ГР}$  необходимо сжигание дополнительного топлива для подогрева природного газа. Это приводит к уменьшению КИТ.

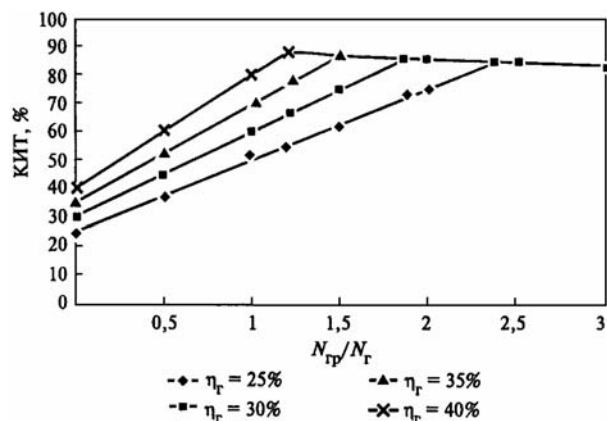


Рис. 3. Зависимость КИТ от отношения  $N_{ГР}/N_{Г}$  при различных значениях  $\eta_{Г}$  и при  $\eta_{Г} = 0.8$  и различных значениях  $\eta_{Г}$

Применение в схеме теплового насоса, работающего с использованием электроэнергии от электрогенераторов газовой и газорасширительной турбин, позволит в 5 и более раз увеличить количество тепловой энергии, отпускаемой потребителю по сравнению с теплотой сжигаемого топлива.

### 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ

В настоящее время энергетическим машиностроением освоено серийное производство газорасширительных турбин единичной мощностью от 60 до 11 000 кВт, газовых турбин и газопоршневых двигателей от 30 кВт и более. Теплообменные аппараты изготавливаются в зависимости от требований заказчика.

В настоящее время по заказу Роснауки в рамках Федеральной целевой программы изготавливается

энергетическая установка, состоящая из газовой и газорасширительной турбин с электрогенераторами, а также теплового насоса.

Газовая турбина производства Capstone (США) мощностью 60 кВт (рис. 4) имеет электрически КПД 28 %, тепловая мощность на выходе из турбины 120 кВт, располагаемый напор 120 мм. вод. ст., температура уходящих газов 305 °С.



Рис. 4. Газовая турбина с электрогенератором 60 кВт с аккумуляторной батареей для автономного запуска и системой утилизации тепла

Газорасширительная турбина производства ОАО «Гелиймаш» (Россия) мощностью 120 кВт (рис.5) имеет электрически КПД 85%, температуру природного газа на входе в турбину 85 °С, на выходе – 10 °С. Абсолютное давление на входе в газорасширительную турбину 0.4 МПа.

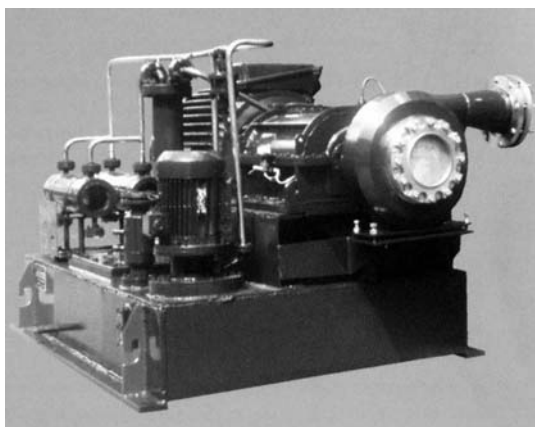


Рис.5. Газорасширительная турбина производства ОАО «Гелиймаш»

Температура природного газа до и после теплообменных аппаратов постоянна и поддерживается за счёт нагрева природного газа уходящими из газовой турбины продуктами сгорания.

В качестве охлаждаемой среды для теплового насоса будут использоваться стоки отопительной котельной со среднегодовой температурой около 20–25 °С, направляемые в ливневый колодец. В качестве нагреваемой среды будет использоваться подпиточная вода с температурой около 20 °С и нагревом её до 35 °С. Расчётный коэффициент трансформации тепла в этом случае составляет около 10. Таким образом, с использованием новой технологии при сжигании одного и того же количества топлива возможен отпуск тепловой энергии в 10 раз больше по сравнению с традиционной котельной.

В докладе будут представлены результаты экспериментальных исследований по исследованию характеристик газовых и газорасширительных турбин, блока теплообменных аппаратов, теплового насоса и энергокомплекса в целом.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, Грант № 06-08-96308.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Электрогенерирующее** устройство: Патент РФ на изобретение №21969607 от 31.01.2001 / В.А. Федоров, О.О. Мильман, Е.В. Федоров
2. **Устройство** для производства электроэнергии. Свидетельство РФ на полезную модель №17062 от 04.09.00. В.А. Федоров, О.О. Мильман, Е.В. Федоров
3. **Белоусенко И.В.** Развитие независимой энергетики ОАО "Газпром" как фактор повышения эффективности газоснабжения в России // Перспективы энергетики. 2002. Т.6. С. 233-239.
4. **Рогалев Н.Д., Федоров В.А., Федоров Е.В.** Экономические и технологические основы энергоэффективного производства электроэнергии и тепла с использованием турбин малой и средней мощности. М.: МЭИ, 2003. 102 с.