

УДК 621.438.14:629.7

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

А. М. АХМЕДЗЯНОВ, Х. С. ГУМЕРОВ,* А. А. САЛИХОВ**

*Факультет авиационных двигателей УГАТУ
Тел: (3472) 23 79 54

**АО «Башкирэнерго»
Тел: (3472) 22 03 80

Рассматриваются достижения и проблемы в исследовании перспективного использования нетрадиционных преобразователей энергии в энергетике. Изложена концептуальная основа комбинированного производства энергии на базе авиационных газотурбинных двигателей

Энергетика; нетрадиционные преобразователи энергии; газотурбостроение

Современные проблемы энергоресурсосбережений преопределили существенные перемены в мировом энергетическом балансе. Это просматривается в аспекте как источников энергии, так и ее преобразователей. При этом становится очевидным критически важный переходный период реализации долгосрочных целей в энергообеспечении. Хотя исчерпание традиционных (невозобновляемых) источников энергии в ближайшее время человечеству пока не грозит, в последнее время интерес к энергоресурсосберегающим технологиям существенно повышается. Говоря о перспективной энергетике, следует признать, что она может и должна во все возрастающей мере опираться на нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ) и нетрадиционные преобразователи энергии (НПЭ).

Годовое производство энергии в мире на базе НВИЭ оценивалось в 240 млн. тонн условного топлива, что соответствует примерно 2% общих мировых потребностей в первичных энергетических ресурсах в год. По прогнозам Международной энергетической комиссии (МИРЭК) за счет НВИЭ в ближайшем будущем может быть произведено при различных вариантах развития мирового энергохозяйства от 18 до 27% от всей мировой потребности.

В отличие от прежней ориентации на крупномасштабное концентрированное нара-

щивание производства энергетических ресурсов высшим приоритетом энергетической стратегии становится повышение эффективности энергосбережения, которое порождает необходимость в новой тактике энергопотребления.

Новая техническая политика в области энергетики ориентируется на следующие моменты:

- коренное повышение экономической и энергетической эффективности производства, преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов;
- отказ от чрезмерной централизации энергоснабжения и эффективную децентрацию источников энергии с приближением их к потребителям энергии;
- экологическую и аварийную безопасность источников энергии и надежность энергоснабжения потребителей;
- разработку качественно новых технологий и технических средств для устойчивого развития энергетики.

Повышение эффективности энергетики определяется, в основном, двумя факторами: эффективностью производства энергии и эффективностью преобразования, транспортировки и распределения энергии.

В условиях дефицита крупных инвестиций для технического перевооружения действующих энерговырабатывающих предприя-

тий одним из путей решения проблемы энергообеспечения потребителей является создание автономных электростанций небольшой мощности, которые могут использоваться в качестве одного из источников энергоснабжения, обеспечивающих экономичное энергоснабжение поселков, животноводческих и птицеводческих ферм, тепличных хозяйств, геологических партий, буровых объектов, а также использовать в качестве автономных источников энергии при проведении восстановительных работ в районах чрезвычайных ситуаций.

На сегодняшний день просматривается кардинальный путь изменения технологии выработки электроэнергии и тепла — по комбинированной газопаротурбинной технологии. Чтобы идти по пути реализации этой идеи, практически не надо строить новые электростанции, поскольку возможна реконструкция ныне действующих станций, котельных малых городов и районных центров, там, где имеется соответствующая инфраструктура.

Выработка электрической энергии на теплоэлектростанциях осуществляется двумя основными способами. Первый способ — цикл с конденсацией пара, при котором до 70 % теплоты, подведенной в цикле для паробразования, просто выбрасывается. При втором способе это тепло отпущается потребителям. В этом случае суммарный коэффициент использования тепла (КИТ) может превысить 80 %. Однако на базе традиционной паротурбинной технологии полностью реализовать преимущества комбинирования выработки электроэнергии и тепла практически невозможно, нужны другие схемы преобразования энергии. Эта задача в настоящее время может быть наиболее эффективно решена с помощью применения газотурбинной технологии в производстве электрической и тепловой энергии. Сложные схемы газотурбинных электростанций и комбинированные газопаротурбинные схемы позволяют сегодня получить КПД 55–60 %, т. е. в 1,5–2 раза выше, чем только на паровых турбинах. В газотурбинных установках с утилизацией тепла уходящих газов коэффициент использования топлива приближается к 85 %. Уровень надежности, технологичность, маневренность, диапазон мощностей, степень автоматизации, не говоря о весе и габаритах, достигнутые на сегодняшний день, делают газовые турбины мощными конкурентами паротурбинным установкам.

Особенно привлекательным для небольших тепловых электростанций (до десятков мегаватт) становится использование конвертированных авиационных газотурбинных двигателей. При этом, кроме уже упомянутых выше преимуществ таких энергетических систем, решается важнейшая задача эффективной загрузки оборонных предприятий, сохранение их опыта, базы и кадров. Газотурбинные установки в существующих энергетических инфраструктурах способны резко увеличить долю комбинированной выработки электроэнергии.

Применение газовых турбин позволяет сегодня быстро и дешево надстроить как существующие паровые электростанции, так и любые действующие котельные даже в малых поселках. С большой уверенностью можно сказать, что если бы вся электрическая энергия на тепловых электростанциях страны вырабатывалась в комбинированных парогазовых установках, то при сохранении объема потребления электрической энергии и теплоты в стране сжигалось бы на 20–25 % меньше топлива.

Эффективность выработки энергии, определяемая коэффициентом использования тепла топлива (КИТ), наглядно прослеживается на примере сравнения КИТ ряда теплоэлектростанций Республики Башкортостан (1990 г., табл. 1 на с. 105).

Из анализа данных, приведенных в табл. 1, следует, что величина КИТ однозначно коррелирована с соотношением выработки тепловой и электрической энергии. При комплексной выработке тепловой и электрической энергии с ростом доли первой КИТ возрастает с 0,39 для Кармановской ГРЭС до 0,88 — для ТЭЦ-3. Для сравнения, в котельных, где вырабатывается только тепло, величина КИТ превышает уровень 0,90.

Наименее рискованным и безболезненным путем решения проблемы повышения эффективности энергопроизводства является путь модернизации действующих теплоэлектроустановок. Устанавливаемые на них ГТУ малой и средней мощности, созданные на основе конвертированных авиационных двигателей, приспособленных к работе в новых условиях, могут производиться на бывших предприятиях военно-промышленного комплекса.

Ввод подобных генерирующих мощностей в котельных малых городов и районных центров, кроме чисто технико-экономических выгод, будет способствовать децентрализации производства электроэнергии, повыше-

Таблица 1

Электростанции	Соотношение тепловой и электрической энергии $N_T = N_T/N_E$	Коэффициент использования тепла (КИТ)	Относительная стоимость энергии $\bar{C} = C_{энер}/C_{топл}$
Кармановская ГРЭС	0,01	0,39	3,10
ТЭЦ Башкирского БХК	0,82	0,48	2,75
Уфимская ТЭЦ-2	2,08	0,64	2,89
Ново-Салаватская ТЭЦ	2,80	0,72	3,02
Ново-Стерлитамакская ТЭЦ	3,03	0,79	3,25
Стерлитамакская ТЭЦ	4,15	0,79	3,04
Уфимская ТЭЦ-3	11,01	0,88	2,87
Башкирская энергосистема	2,32	0,66	2,92
ГТЭ-10/95 (для сравнения)	1,75	0,82	3,80

нию надежности энергоснабжения народного хозяйства, устойчивости энергосистемы, снижению потерь электро- и теплоэнергии в сетях при транспортировке, а также существенному улучшению экологической обстановки.

Газотурбинная технология уже более 15 лет широко применяется в промышленных странах. В нашей стране она, к сожалению, еще в начале пути. Этому имеются свои причины: многолетняя опора на развитие атомных электростанций, мощная гидроэнергетика, большое число тепловых станций, единая энергосистема. На базе авиационных двигателей созданы и создаются различные схемы газотурбинных установок.

В табл. 2 [10] приведены некоторые параметры ГТУ на базе отечественных газотурбинных двигателей.

Законченным образцом, находящимся в опытно-промышленной эксплуатации, является газотурбинная энергоустановка ГТЭ-10/95, созданная на основе творческого сотрудничества научных и производственных организаций Башкортостана: ГНПП «Мотор», ОАО «Башкирэнерго».

Целью разработки ГТЭ-10/95 было создание экономичного, экологически чистого источника электроснабжения и теплоснабжения для нужд энергодефицитных районов, а

также микрорайонов городов при совместной работе с действующей единой энергосистемой. Электрическая номинальная мощность энергоустановки 10 МВт, тепловая мощность — 17,4 МВт.

Газотурбинная энергоустановка ГТЭ-10/95 представляет собой автономно управляемый комплекс, практически не требующий капитального строительства. Это достигается за счет применения:

- конструкции функционально-законченных блоков полной заводской готовности, изготавливаемых на базе установившегося производства на специализированных заводах;
- газотурбинного привода на базе авиационного двигателя;
- автоматизированной системы управления.

Газотурбинный привод создан на базе отечественного серийного авиационного двигателя семейства Р13-300 (разработчик ГНПП «Мотор», серийный изготовитель — АО «УМПО»), конвертированного для работы на природном газе или жидких топливах типа дизельного.

ГТЭ-10/95 обеспечивает:

- комбинированную выработку электроэнергии и тепла со значительной экономией

Таблица 2

Тип ГТУ	Производитель	$N_{эл}$, МВт	$P_{эл}$, %	Тепловая мощность, МВт	КИТ, %
АЛ-31 СТЭ	НПО «Сатурн»	20,0	35	25,1	79
НК-37СТ	НПО «Труд», Самара	25,0	36,4	32,5	83
ГТУ-25ПЭР	АО «Авиадвигатель»	25,9	39,2	31,2	85
ГТЭ-10/95	ГНПП «Мотор»	10,0	28	17,4	82
ГТУ-4П	АО «Авиадвигатель»	4,0	24,7	9,3	76

топлива в тех местах, где крупные ТЭЦ не могут быть сооружены;

- выдачу электрической мощности непосредственно с клемм электрогенератора в единую сеть;
- на порядок меньшие по сравнению с крупными КЭС трудозатраты на эксплуатацию за счет высокой степени автоматизации (вплоть до возможности дистанционного диспетчерского управления);
- уменьшение воздействия на окружающую среду за счет снижения как удельных расходов топлива на выработку энергии, так и выбросов вредных веществ при сжигании топлива;
- возможность установки теплофикационных блоков (малые габариты оборудования) в ячейках типовых котельных вместо обычных котлов равной тепловой мощности;
- значительное ускорение монтажа и ввода энергетических мощностей;
- сокращение простоя оборудования за счет быстрой комплексной замены требующих ремонта блоков агрегатов и их ремонта на заводах и др.

Существенное повышение эффективности энергетических установок, использующих газотурбинные двигатели в качестве преобразователей энергии углеводородного топлива, обеспечивается за счет *утилизации низкопотенциального тепла рабочего тела на выходе из газотурбинного двигателя*. Так, в установке ГТЭ-10/95 за счет использования тепла отходящих газов, имеющих расход 60 кг/с при температуре 450° С, увеличивается КИТ всего комплекта до 82 %.

При этом требуется решение следующих научно-технических задач:

- обоснование и выбор типов и схем низкотемпературных преобразователей энергии;
- оптимизация термогазодинамического цикла всей энергетической системы;
- экологические проблемы, связанные со снижением эмиссии вредных веществ и шума;
- организация горения газообразного топлива в камере сгорания авиационного ГТД;
- повышение экономичности за счет применения комбинированной схемы термогазодинамического цикла;
- повышение (на порядок) ресурса.

Использование низкопотенциальной теплоты в таких условиях приобретает особое значение.

К низкопотенциальному теплу нужно отнести громадные тепловые технологические сбросы производств промышленных предприятий, коммунальных, бытовых, жилых и других объектов. Кроме искусственных источников низкопотенциального тепла, существуют также природные: незамерзающие и геотермальные воды, горячие минеральные источники, геотермальное тепло, добываемая горячая нефть, атмосферный воздух, солнечная энергия и др. Основными источниками низкопотенциальной теплоты в настоящее время следует считать искусственные: промышленные и бытовые.

Крупными источниками тепловых сбросов являются мощные энергетические агрегаты. К ним относятся, например, энергоблоки тепловых электростанций, крупные компрессорные и насосные установки, требующие воды для охлаждения. Сбрасываемая охлаждающая вода круглый год имеет температуру порядка 20–30° С.

Производственные процессы в химической и нефтеперерабатывающей отраслях промышленности дают тепловые сбросы от процессов нагрева сосудов и реакторов, теплоснабжения, охлаждения мощных тепловых и электродвигателей и приводных агрегатов. То же относится к машиностроению: большая часть тепловой энергии выделяется от охлаждения приводных электродвигателей технологического оборудования.

В качестве источника тепла можно рассматривать системы вентиляции и кондиционирования промышленных и общественных зданий.

Преобразователи низкопотенциальной теплоты можно разделить на две большие группы:

- энергоустановки, использующие низкопотенциальную теплоту природных источников;
- энергоустановки, использующие низкопотенциальную теплоту технических систем (вторичные энергоресурсы).

Наиболее перспективными могут являться комбинированные энергоустановки, сочетающие в себе различные источники энергии, различные энергопреобразователи и т. д. Причин тому много, в частности, наиболее рациональное использование энергии низкопотенциальных источников часто заключается в ее вовлечении в цепочку энергопреобразований установок, использующих высокопотенциальные источники энергии. К приме-

ру, солнечную энергию можно эффективно использовать в солнечно-топливных электростанциях (СТЭС), в которых в качестве топлива одновременно используется природный газ. Или ветроэнергоустановки рационально сочетать с дизель-генераторами, тепловыми насосами и др. Энергию такого возобновляемого источника тепла, как биомасса (биогаз), возможно использовать с высокой эффективностью для одновременной выработки механической (электрической) энергии и получения ценных продуктов термохимической переработки.

К основным особенностям низкопотенциальных источников энергии относится в первую очередь низкий уровень температур (15–100°С), что требует разработки специальных преобразователей энергии, которые пока по причине невостребованности недостаточно исследованы.

Существуют действующие схемы тепловых электростанций, использующих энергию горячих подземных источников. Так, на Паратунском геотермальном месторождении полуострова Камчатка работает ГеоТЭС с 1967 г. на фреоне R12. Некоторые ее технические данные:

- греющая среда — вода с $t_1 = +95^\circ\text{C}$;
- охлаждающая среда — вода с температурой $t_2 = +15^\circ\text{C}$;
- давление фреона на входе в турбину $P_1 = 1,4\text{ МПа}$;
- давление фреона на выходе из турбины $P_2 = 0,5\text{ МПа}$;
- мощность турбины $N_T = 680\text{ кВт}$.

Другим примером подобных ЭУ является океанская тепловая электростанция (ОТЭС), в частности электростанция с полной электрической мощностью 100 кВт, которую построили японские фирмы на небольшом острове Науру в Тихом океане. Сама электростанция находится на берегу, а теплая и холодная вода подводятся по полиэтиленовым трубам диаметром 700 мм и длиной около 1 км.

Разновидностью ОТЭС являются арктические станции, использующие разность температур в воде подо льдами и в воздухе. Температура воды около 0°С, а воздуха -30...-40°С, так что разность температур у арктических ОТЭС больше, чем у тропических. Но воздух как охладитель намного хуже воды, потому что его плотность и теплоемкость много ниже. Тем не менее проекты арктических ОТЭС тоже разрабатываются.

Безусловно, наиболее ценным вариантом использования энергии низкопотенциальных и возобновляемых источников энергии являются преобразователи для получения механической и электрической энергии — теплоэнергоустановки. Не менее оправданным, особенно экономически, вариантом использования энергии этих источников являются системы теплоснабжения. В зависимости от вида низкопотенциального источника энергии в системах теплоснабжения также могут применяться теплоэнергоустановки, работающие как на низкопотенциальных, так и высокопотенциальных источниках энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аминов Р. З., Ковальчук А. Б. О конверсии мощных авиационных газотурбинных двигателей для стационарной энергетики // Теплоэнергетика. 1994. № 6. С. 59–63.
2. Арсеньев Л. В., Тырашкин В. Г. Комбинированные установки с газовыми турбинами. Л.: Машиностроение, 1982. 247 с.
3. Арутюнов В. С., Крылов О. В. Окислительные превращения метана. М.: Наука, 1998. 361 с.
4. Ахмедов Р. Б., Брюханов О. Н., Иссерлин А. С. и др. Рациональное использование газа в энергетических установках: Справочное руководство. Л.: Недра, 1990. 423 с.
5. Баженов Г. В. Перспективы развития газоперекачивающих агрегатов // Энергомашиностроение. 1981. № 12. С. 9–10.
6. Берман С. С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок. М.: Машиностроение, 1959. 428 с.
7. Гришутин М. М., Севастьянов А. П., Селезнев Л. И., Федорович Е. Д. Паротурбинные установки с органическими рабочими телами. Л.: Машиностроение, 1988. 219 с.
8. Дикий Н. А. Судовые газопаротурбинные установки. Л.: Судостроение, 1978. 260 с.
9. Емин О. Н., Кузнецов В. И. Комбинированные газопаротурбинные установки (ГПТУ) на базе авиационных двигателей: Учеб. пособие. М.: МАИ, 1994. 54 с.
10. Емин О. Н. Использование авиационных ГТД для создания наземных транспортных и стационарных энергетических установок: Учеб. пособие. М.: МАИ, 1998. 64 с.
11. Кириллов И. И., Арсеньев Л. В. Паровое охлаждение высокотемпературных газовых турбин // Теплоэнергетика. 1986. № 1. С. 25–28.
12. Кирюхин В. И. и др. Паровые турбины малой мощности КТЗ. М.: Энергоиздат, 1987. 216 с.

13. Курзон А. А., Юдовин Б. С. Судовые комбинированные энергетические установки. Л.: Судостроение, 1981. 216 с.
14. Лебедев Н. М. Эффективность использования авиационных двигателей в газоперекачивающих агрегатах // Промышленная теплотехника. 1981. Т. 3, № 3. С. 84–87.
15. Кириллов И. И. и др. Перспективы повышения эффективности пиковых ГТУ // Теплоэнергетика. 1981. № 4. С. 4–44.
16. Кузнецов Н. Д. и др. Проблемы повышения эффективности авиационных двигателей конвертируемых в газотурбинные установки наземного применения // Изв. вузов. Сер. «Авиационная техника». 1993. № 2. С. 36–44.
17. Кириллов И. И. и др. Совершенствование установок с паровыми и газовыми турбинами // Теплоэнергетика. 1979. № 11. С. 2–6.
18. Стационарные газотурбинные установки: Справочник / Под ред. Л. В. Арсеньева и В. Г. Тырашкина. Л.: Машиностроение, 1989. 542 с.
19. Пушкин Н. И. и др. Судовые парогенераторы: Учебник для вузов. Л.: Судостроение, 1977. 520 с.

ОБ АВТОРАХ



Ахмедзянов Альберт Мухаметович, профессор, зав. кафедрой авиационных двигателей УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1963), д-р техн. наук по тепловым двигателям ЛА (КуАИ, Самара, 1978). Исследования в области проектирования авиационных двигателей.



Гумеров Хайдар Сагитович, профессор той же кафедры. Дипл. инженер-механик (УАИ, 1958), д-р техн. наук по тепловым двигателям ЛА (УАИ, 1988). Исследования в области проектирования авиационных двигателей.



Салихов Азат Ахсанович, генеральный директор АО «Башкирэнерго». Дипл. инженер-теплоэнергетик (УАИ, 1971). Исследования и разработки в области энергетики.

Информация

Электронные библиотеки мира (продолжение со с. ??)

Библиотека УГАТУ предлагает подборку адресов электронных хранилищ научной информации.

Научная электронная библиотека РФФИ www.elibrary.ru

Библиотека по журнальным базам данных издательств Elsevier, Pergamon, North-Holland. Общее количество журналов – 355. Основное направление – естественно-научное. Математика представлена достаточно скудно. Годы выпуска представленной литературы 1998–2000. Сейчас это самая доступная и самая популярная база данных в России. Довольно быстрая связь, простая и удобная поисковая система. Нет сложной формы запросов. Стандартная форма поиска – по ключевым словам.

The NASA Astrophysics Data System adswww.harvard.edu

Этот сайт с базой данных физического и астрофизического содержания. Имеется большая база аннотаций с поисковой системой и ссылками на статьи.

EMIS (The European Mathematical Information Service) www.ras.ru/EMIS/

Этот сайт Европейского математического общества (European Mathematical Society). Услуги по поиску математической научной информации. Незарегистрированные пользователи могут использовать демонстрационную версию поисковой системы, которая ограничивает выдачу информации справкой по трем публикациям. Научная информация с 1931 года по наши дни со ссылками на серверы препринтов. Несколько чисто электронных математических журналов. Для журналов служба поиска практически отсутствует, но большинство статей можно получить свободно. Несколько монографий, в том числе книга о переводе математических статей с русского на английский (на русском языке). Сайт удобен для начала поиска математической информации. Выходить на этот сайт лучше всего через сервер РАН www.ras.ru.

(Продолжение на с. 128)