

# ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ. КАК ЛУЧШЕ ИХ ИСПОЛЬЗОВАТЬ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ?

В современных атомных электрических станциях эффективность выработки электричества составляет приблизительно 30–35 % от количества энергии выделяющегося при радиоактивном распаде ядерного горючего. Остальная часть энергии (65–70 %) в виде тепла выбрасывается в окружающую среду, что составляет сотни МВт. Например, в Республике Беларусь предполагаемая мощность атомной станции из двух реакторов составит 2000 МВт. Значит, в окружающую среду каждый год будет выбрасываться почти 1400 МВт тепловой энергии. С учетом большого количества выбрасываемого тепла его утилизация представляет определенный интерес.

Другая проблема возникает при работе атомных станций в составе системы электрогенерирующих источников. По техническим и экономическим причинам атомные станции используются в базовом режиме. Как правило, в ночное время имеется значительное сокращение спроса на мощность. При этом мощность генерирующих источников по ряду причин не может быть снижена. В связи с этим разработка экономически эффективных способов использования избыточной мощности в системе представляет собой достаточно актуальную задачу.

**Вторичные тепловые энергоресурсы** атомной станции могут быть использованы при помощи современных сорбционных технологий (тепловые машины на жидких и твердых сорбентах – тепловые насосы, холодильники, аккумуляторы теплоты и холода, химические компрессоры, а также двухфазные теплообменники – тепловые трубы). Системы охлаждения атомных электрических станций напоминают системы охлаждения двигателей внутреннего сгорания. Выбросы тепла в окружающую среду осуществляются в прудах-охладителях или в проточной воде при температуре, близкой к температуре окружающей среды. Охлаждающая жидкость на

выходе из конденсаторов тепловых электрических станций обладает достаточным количеством энергии и температурным уровнем, чтобы активизировать неэлектрические сорбционные тепловые насосы и холодильники и утилизировать с их помощью низкотемпературное тепло прудов-охладителей либо проточной жидкости.

**Избыточную мощность в ночное время**, в частности, можно использовать в сочетании с парокомпрессионными (электрическими) тепловыми насосами и холодильниками для получения теплоты и холода на значительном расстоянии от атомной станции. Избыточная мощность может быть также использована для производства водорода, который является сырьем для химической промышленности и перспективным топливом в энергетике, в частности для топливных элементов.

Комплекс предлагаемых мероприятий позволит повысить энергоэффективность атомных электрических станций до 60–70 %.

В связи с тем что вторичные источники энергии АЭС, как правило, низкотемпературные, возникает необходимость повышения их температурного потенциала.

Экономическая и экологическая безопасность страны прямо свя-



**Л.Л. ВАСИЛЬЕВ**, д.т.н.,  
профессор,  
заведующий лабораторией  
пористых сред ИТМО  
им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

зана с эффективностью энергетических технологий. В настоящее время в России и Республике Беларусь на производство единицы ВВП затрачивается в несколько раз больше первичной энергии, чем в развитых странах. Одним из способов повышения эффективности использования первичных энергоресурсов являются **системы тригенерации энергии (СТЭ)**, которые одновременно могут производить электроэнергию, теплоту и холод. Основой этих систем является устройство генерации электроэнергии (атомные электрические станции, мотор-генераторы, топливные элементы, двигатели Стирлинга и др.), сбросное тепло которых используют для нагрева и/или преобразования в холод с помощью систем дополнительной когенерации и тригенерации энергии (рис. 1).

**Новые направления развития энергетики**



Рис. 1. Схема комплексного использования топливно-энергетических ресурсов

развития теплонасосной техники в мире является поддержка со стороны государства. Во многих развитых странах существуют государственные фонды и программы, стимулирующие энергосбережение на энергоемких предприятиях. Примером такой поддержки может являться принятая в Дании практика снижения налогов (главным образом через уменьшение налоговых составляющих в тарифах на потребляемые энергоресурсы) для предприятий, проводящих регулярные энергоаудиты и непрерывный мониторинг энергопотребления и выполняющих все энергосберегающие мероприятия, рекомендованные аудиторами со сроком окупаемости менее 4 лет. Более того, в данном случае предприятия могут рассчитывать на государственное субсидирование до 30 % от затрат на проведение энергетических обследований. В Германии государственные органы содействуют приобретению, монтажу и пуску в эксплуатацию более совершенных теплонасосных установок для отопления помещений и нагревания воды в бытовых целях, выпускаемых серийно и имеющих в специализированной торговой сети.

В связи со сказанным комплексный теоретический анализ физических, экономических и экологических аспектов СТЭ представляет значительный интерес и может послужить основой для выработки

Суммарный КПД таких систем может достигать очень высоких значений в расчете на энергию ядерного горючего (сожженного топлива). Это происходит за счет высокого КПД теплового насоса, потребляющего также «бесплатное» низкопотенциальное тепло окружающей среды, в частности тепло водных бассейнов атомных станций.

Развитие систем три- и полигенерации является одной из приоритетных задач энергетической части 7-й Европейской рамочной программы. СТЭ активно развиваются также в Японии, США, Индии и Китае. В некоторых странах уже появились первые прототипы, которые проходят испытания в лабораториях различных университетов (Токио, Мюнхен, Париж, Штутгарт, Милан и др.) и компаний («Mitsubishi», «Fiat», «Valeo», «Samsung», «Daikin» и др.). Так, например, в Англии компания «British Gas» планирует в ближайшие 5 лет взамен обычных котлов-подогревателей снабдить системами микротригенерации более двухсот тысяч домов. К 2010 году устройства микротригенерации заменят до 10 % всех мини-бойлеров, установленных в Англии, а к 2020 году — 25 % бойлерных систем отопления в индивидуальных жилищах англичан. Замена котла на устройство

для тригенерации в одном доме приведет к уменьшению выбросов углекислого газа на полторы тонны в год и даст экономию на сумму 150 фунтов стерлингов.

Распространение в Европе подобных энергетических установок уже сейчас дает экономию энергии до  $50 \cdot 10^{12}$  кДж ежегодно, что эквивалентно  $1,6 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup> природного газа (€ 300 млн.). В окружающую среду выбрасывается на  $3 \cdot 10^7$  т меньше углекислого газа. Важнейшей предпосылкой активного

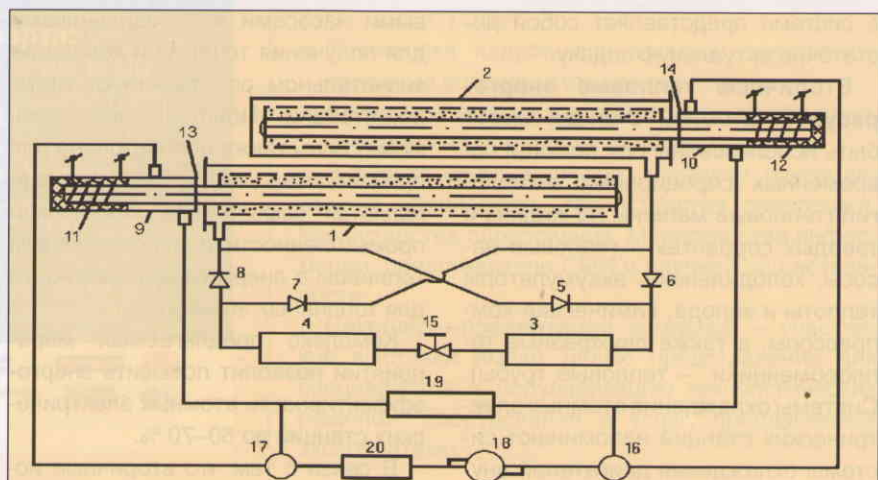


Рис. 2. Принципиальная схема адсорбционного теплового насоса:

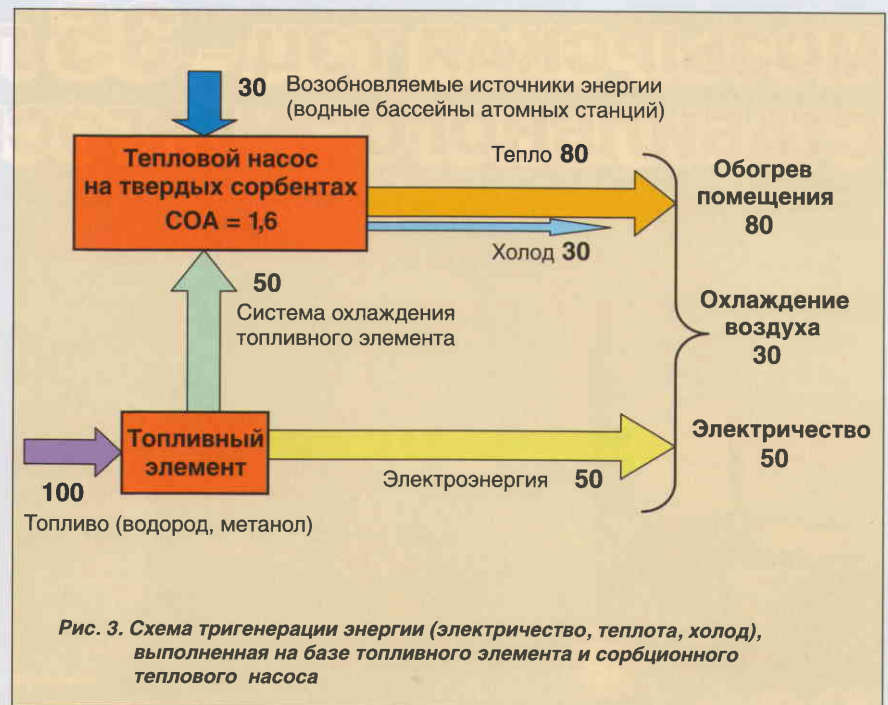
- 1, 2 — адсорберы, заполненные сорбентом; 3 — конденсатор; 4 — испаритель;
- 5–8 — вентили; 9, 10 — жидкостные теплообменники; 11, 12 — нагреватели;
- 13, 14 — тепловые трубы; 15 — регулируемый дроссель; 16, 17 — тройные вентили; 18 — жидкостный насос; 19 — ротаметр; 20 — термостат

перспективной стратегии использования теплоэнергии, выбрасываемой в окружающую среду тепловыми электростанциями. Проведение такого анализа требует объединения усилий физиков, материаловедов, экономистов и экологов. Уже в настоящее время сорбционные реверсивные тепловые насосы, разработанные в ИТМО НАН Беларуси, позволяют получить 20 кВт/м<sup>3</sup> тепловой энергии и до 5 кВт холода [3]. Такие тепловые насосы экономят до 15–20 % первичной энергии (топлива) для производства электричества, теплоты и холода (рис. 2). Данные тепловые насосы энергетически выгодно использовать в системах когенерации и тригенерации энергии.

Большие перспективы утилизации выделяемой теплоты в современных топливных элементах (особенно высокотемпературных) позволяют надеяться на то, что применение топливных элементов взамен паровых турбин и электрогенераторов на тепловых электрических станциях станет широко распространенным явлением. Известно, что при выработке 25 кВт электричества в топливном элементе выделяется до 36 кВт тепла. Топливные элементы нуждаются в охлаждении, поскольку температура элемента влияет на интенсивность реакции катализа, выделение влаги внутри элемента и дегидратацию мембран. Использование сорбционных тепловых насосов дает возможность утилизировать тепло системы охлаждения топливных элементов, при этом происходит повышение эффективности работы самого топливного элемента (рис. 3).

50 % энергии топливного элемента преобразуется в электричество, 50 % – в тепло. Тепловая энергия используется для активации сорбционного теплового насоса. 80 % тепловой энергии теплового насоса используется для отопления и 30 % – для охлаждения (30 % энергии подводится к насосу из окружающей среды – вторичные энергоресурсы атомных станций).

Адсорбционные тепловые насосы в сочетании с топливными элементами интересны для применения на транспорте. В ходе пятой рамочной программы EU F5 Energie program



в Европейском сообществе выполнен проект SOCOOL, ориентированный на создание систем тригенерации энергии (электричество, теплота и холод), используемых для бытовых целей. Сорбционные тепловые насосы и холодильники нового типа должны быть дешевыми, иметь высокую термодинамическую эффективность, надежность и долговечность. Чтобы достичь этой цели, нужно интенсифицировать процесс тепло- и массообмена в пористом сорбенте и теплообмен сорбента со стенкой адсорбера и окружающей средой. Необходимо в ближайшем будущем поднять плотность хранения энергии в твердом сорбенте с 10 до 20–30 кВт/м<sup>3</sup> и при этом повысить холодильную мощность малогабаритного холодильного устройства.

Достоинства сорбционных технологий в том, что они бесшумны, поскольку отсутствует механический компрессор. К тому же в них не используются экологически опасные хладагенты (CFC, HCFC, HFC). В ряде стран мира разработаны и применяются в серийном производстве сорбционные холодильники на твердых сорбентах с холодопроизводительностью более 100 кВт и тепловые насосы мощностью в десятки мВт.

Технико-экономический анализ эффективности использования систем тригенерации на базе сорбционных тепловых насосов [4] с

использованием тепла водных бассейнов подтверждает возможность получения 40–50 % дополнительного тепла взамен использования органического топлива. Примеры практической реализации подобных систем обогрева приведены в работе [4] с периодом окупаемости системы 2,6–3 года.

Разработка и внедрение СТЭ поможет решить несколько важных государственных проблем: обеспечение энергетической безопасности, экономия топливных ресурсов, уменьшение теплового загрязнения окружающей среды и уменьшение выбросов в атмосферу углекислого газа и окислов азота.

#### Список литературы

1. Васильев, Л.Л. Перспективы применения тепловых насосов в Республике Беларусь / Л.Л. Васильев // Инженерно-физический журнал. – 2005. – Т. 78, № 1. – С. 23–34.
2. European Commission 2005. Proceedings of the Conference: Renewable Energy for Europe: Research in Action, November 2005.
3. Аристов, Ю.И. Современное состояние и перспективы развития химических и сорбционных тепловых машин в Российской Федерации и Республике Беларусь / Ю.И. Аристов, Л.Л. Васильев, В.Е. Накоряков // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, № 1. – С. 19–48.
4. Keil, C. Application of customized absorption heat pumps for utilization of low-grade heat sources / C. Keil // Applied Thermal Engineering. – 2008. № 28. – P. 2070–2076.