

## АННОТАЦИЯ

*В работе рассматривается решение задачи утилизации тепловых ВЭР на ТЭЦ с помощью абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов с одновременным решением актуальных задач по адаптации ТЭЦ к работе в условиях ввода АЭС в состав Белорусской энергосистемы.*

## ANNOTATION

*The paper considers the problem solution of heat wastes utilization at the CHP using the absorption bromide-lithium heat pumps with simultaneous sorting out the actual problem of adaptation CHP to operation in conditions when NPP enters into the Belarusian energy system.*

# Время применения абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов на ТЭЦ Беларуси

В. Н. Ромانيук, д. т. н., профессор, А. А. Бобич, старший преподаватель, м. т. н., Белорусский национальный технический университет, РУП «БЕЛТЭИ»

## Введение

В связи с предстоящим вводом Белорусской АЭС в состав энергосистемы предстоит решить комплекс сложнейших задач по адаптации энергетических предприятий к работе в новых условиях. Это и регулирование частоты в энергосистеме, и обеспечение горячего резервирования мощностей и ряд иных требований устойчивой эксплуатации [1]. Решение этих задач многосложно, но по возможности должно быть комплексным и обеспечивать дальнейшее снижение топливной составляющей преобразованных энергопотоков уже не за счёт замещения дорогого топлива более дешевым, а на традиционном пути снижения потребления первичного энергоресурса, которому нет альтернативы. Одной из таких важных задач является сохранение отпуска тепловой энергии от ТЭЦ без пережога топлива с одновременным уменьшением генерации электроэнергии и передачи её на современные парогазовые блоки, которые в складывающихся условиях останутся недогруженными [1].

Снижение удельной выработки электроэнергии на ТЭЦ для энергетиков противоречит устоям, сложившимся за годы существования теплофикации. В этом контексте следует подчеркнуть, что речь идёт о снижении удельной выработки при одновременном сохранении отпуска тепловой энергии и уменьшении потребления природного газа, являющегося

безальтернативным первичным энергоресурсом на значимых ТЭЦ, от чего во многом и будет зависеть решение проблемы эксплуатации в масштабах энергосистемы (регулирование частоты, резервирование и пр.). Решение обозначенной задачи в том числе может быть связано и с интеграцией в состав тепловой схемы ТЭЦ абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов (АБТН), снижающих на 40–55 % топливную составляющую производства тепловой энергии, отпускаемой от АБТН, например с сетевой водой. И если ранее внедрение новой техники вызвало опасения, порой базирующиеся на негативных примерах, то сегодня острота в этом вопросе снизилась, поскольку успешная работа новой техники подтверждается мировым опытом её применения, а сегодня уже и положительным примером использования АБТН в Беларуси.

В работе [2] описаны успешная реализация проекта утилизации тепловых низкотемпературных ВЭР и эксплуатация на ОАО «СветлогорскХимволокно» АБТН, обеспечивающего упомянутую утилизацию и нагрев сетевой воды до 82°C за счёт использования теплоты оборотной воды системы охлаждения компрессорной и пара от Светлогорской ТЭЦ. При этом «бестопливный» поток теплоты составляет 40 % от требуемой для нагрева сетевой воды. Остаётся лишь констатировать: пора всем предприятиям — неэнергетическим и энергетическим — перенимать опыт первопроходцев утилизации побочных тепловых низкотемпературных потоков большой мощности для обеспечения потребителей тепловой энергии требуемого температурного уровня — до 85°C.

### Складывающаяся ситуация

В работах [3–5] еще в 2013 году поднимался глобальный вопрос интеграции теплоэнергетических систем промышленных предприятий, коммунального городского хозяйства и теплогенерирующих источников энергосистемы на базе различных теплонасосных установок, прежде всего абсорбционных. Некоторые вопросы, связанные с решением подобного рода проблемы на крупных ТЭЦ страны, достаточно подробно рассматривались в статьях [1, 6–10]. В частности, речь в них шла об использовании АБТН на ТЭЦ для утилизации низкотемпературных тепловых потоков систем циркуляционного охлаждения конденсаторов, генераторов, систем смазки и пр.

Сейчас приходится констатировать лавинообразный рост остроты решения задач, связанных с интеграцией Белорусской АЭС в энергосистему страны, причём эти задачи требуют незамедлительного решения.

Внедрение АБТН на ТЭЦ способно снизить остроту указанной проблемы адаптации энергосистемы к работе, когда практически всю базовую нагрузку обеспечивает АЭС. Например, использование тепловых насосов только для утилизации теплоты, отводимой в конденсаторе паровой турбины с циркуляционной водой в отопительный период, позволяет снизить удельный расход условного топлива (УРТ) на отпуск электроэнергии на 20–30 г/(кВт·ч) и удельную выработку электроэнергии (УВЭ) на тепловом потреблении на 50 кВт·ч/Гкал [8]. Указанное снижение УРТ на отпуск электроэнергии и УВЭ на тепловом потреблении для энергосистемы обеспечивают многоплановую выгоду:

- ♦ достигается системное уменьшение потребления природного газа до 0,11 млн т у.т. в год при сохранении отпуска необходимого количества тепловой энергии;
- ♦ снижается электрическая мощность ТЭЦ на 0,15–0,20 ГВт, что благоприятно повлияет на работу энергосистемы после ввода АЭС, поскольку ТЭЦ вынуждены будут разгружаться в ночное время отопительного периода до технического минимума, который составит 2,3 ГВт соответственно от величины дневной нагрузки 3,4 ГВт, то есть диапазон изменения нагрузок составит 1,1 ГВт;
- ♦ с энергетических позиций применение АБТН на ТЭЦ обеспечивает увеличение термодинамической эффективности энергосистемы;
- ♦ системный эффект обеспечивает выполнение всех экономических требований и ограничений к подобного рода проектам.

На последнем утверждении следует остановиться отдельно. Очевидно, что экономический эффект, связанный со снижением генерации на ТЭЦ, обусловленный утилизацией низкотемпературных тепловых побочных потоков и перераспределением загрузки производственного и теплофикационного отборов турбин, зависит от типа замещающего источника [8]. Уже общепризнано, что с вводом Белорусской АЭС конденсационные мощности будут вытесняться настолько, что, например, современные мощные блоки ПГУ планируется загружать лишь на 40–50 % от номинальной мощности с вытекающим комплексом негативных последствий. Паротурбинные блоки Лукомльской ГРЭС вообще планируется выводить из эксплуатации в отопительный период. В этой ситуации очевидно, что в качестве замещающих источников следует использовать блоки ПГУ, и, как показано ранее в работах РУП «БЕЛТЭИ», внедрение АБТН на ТЭЦ выгодно и с энергетической, и с экономической, и с эксплуатационной точек зрения [11]. Однако применение АБТН на ТЭЦ сдерживалось из-за комплекса как объективных (отсутствие опыта использования АБТН в Беларуси), так и субъективных причин (запланированы иные мероприятия, ожидание возможности переложить принятие решения на других и пр.).

Ввод в эксплуатацию на заводе полиэфирной текстильной нити ОАО «СветлогорскХимволокно» в середине декабря 2016 г. АБТН марки BDS300 тепловой мощностью 4,2 МВт, утилизирующий низкопотенциальную теплоту системы охлаждения турбокомпрессоров для нагрева сетевой воды для нужд систем отопления, снимает упомянутую выше объективную причину: успешный опыт применения АБТН на территории Беларуси имеется [2]. Надо отметить, что утилизация теплоты в системе теплоснабжения сезонна, чем снижается экономический эффект. Альтернативой, точнее основным направлением использования теплоты от АБТН в комплексе с дополнением системами теплоснабжения, является направление тепловых потоков на теплотехнологические нужды [3–5]. Например, подобное решение на ОАО «Мозырсьоль», которое выполнило ТЭО и переходит к разработке проекта, обеспечивает дисконтированный срок возврата инвестиций менее 2 лет. Таким образом, «большим» энергетикам пора начать процесс внедрения АБТН на ТЭЦ и догонять промышленных энергетиков, наверстать упущенное время перед пуском АЭС, обеспечив тем самым и существенное снижение потребности в импорте природного газа, и снижение

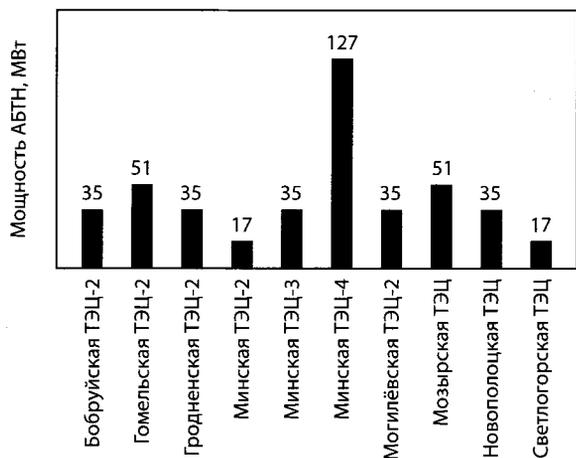


Рис. 1. Возможные мощности АБТН на ТЭЦ ОЭС Беларуси [13]

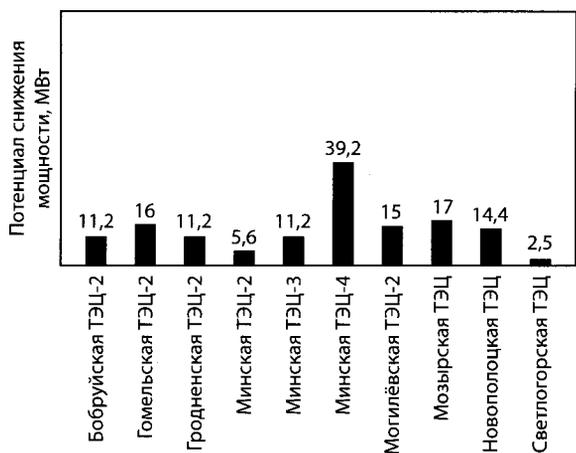


Рис. 2. Снижение мощности ТЭЦ при внедрении АБТН [13]

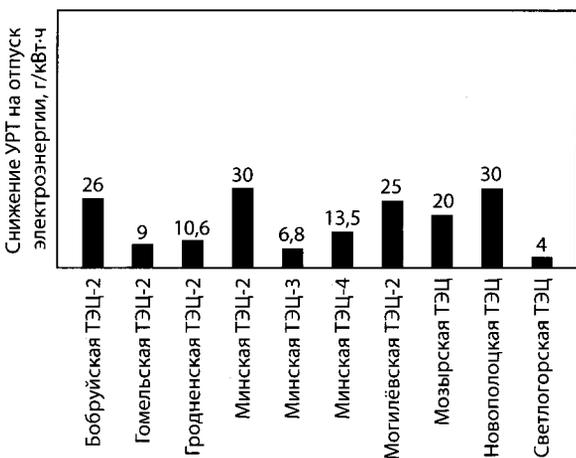


Рис. 3. Снижение мощности ТЭЦ при внедрении АБТН

остроты проблемы эксплуатации всей энергосистемы в условиях работы АЭС, и даже само существование ТЭЦ. В этом контексте считаем необходимым ещё раз рассмотреть некоторые вопросы применения АБТН на ТЭЦ энергосистемы Беларуси.

### Установка АБТН на ТЭЦ

Потенциал использования АБТН на потоке циркуляционной воды, охлаждающей конденсатор на 10 крупных ТЭЦ, на которых использование АБТН позволяет изменять генерацию электроэнергии по энергосистеме в целом, в отопительный период определён от 0,15 до 0,2 ГВт (рис. 1, 2).

Следует подчеркнуть, что использование АБТН позволяет ТЭЦ изменять генерацию электроэнергии и в сторону увеличения, и в сторону уменьшения при сохранении неизменными тепловых нагрузок и без привлечения иных пиковых теплогенерирующих источников. Такое регулирование генерации электроэнергии снизит потребление природного газа и одновременно облегчит работу энергосистемы, поскольку на указанное выше значение может быть изменена в нужном направлении величина коррекции мощности генерации электроэнергии, возлагаемая на традиционные регуляторы.

Снижение УРТ на отпуск электроэнергии на ТЭЦ от внедрения АБТН на потоке циркуляционной воды охлаждения конденсатора приведено на рис. 3.

Средневзвешенный УРТ на отпуск электроэнергии в отопительный период по всем ТЭЦ снижается на 13 г/(кВт·ч) с существующих 176 г/(кВт·ч) в варианте, когда с АЭС в состав энергосистемы вводятся электродвигатели, и до 163 г/(кВт·ч) в варианте, дополненном установкой на ТЭЦ АБТН [13].

Интересны результаты расчётов количественной оценки изменения термодинамической эффективности энергосистемы Беларуси после внедрения только на 10 крупных ТЭЦ АБТН суммарной тепловой мощностью 0,44 ГВт. Результаты в отношении ситуации после 2020 года приведены на рис. 4. Из них следует возможность использования одного индикативного показателя для оценки степени совершенства такого сложного объекта, каким является энергосистема. С помощью этого показателя видно, что использование АБТН на крупных ТЭЦ позволяет при существующих тепловых нагрузках увеличить эксергетический КПД энергосистемы на 0,35 % в отопительный период и на 0,23 % в среднем за год с соответствующим снижением годового потребления природного газа на величину до 0,11 млн т у.т.

Кроме рассмотренного выше направления утилизации побочных тепловых потоков конденсаторов паровых турбин целесообразно использовать АБТН для утилизации теплоты охлаждения генераторов, масляных компрессоров, систем охлаждения масла. Более глубокой утилизации теплоты охлаждения

дымовых газов до 30°C и пр. [1]. Это потребует изменения генерирующих мощностей ТЭЦ, что связано с необходимостью проведения всеобъемлющих исследований и проектных работ РУП «БЕЛТЭИ», РУП «Белнипиэнергопром», РУП «Энергосетьпроект» и пр. Следует отметить, что в РУП «БЕЛТЭИ» накоплены необходимые материалы, прошедшие апробацию для начала реализации проектов по интеграции АБТН в состав ТЭЦ энергосистемы Беларуси [11].

### Выводы

1. Интеграция абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов в состав ТЭЦ энергосистемы Беларуси жизненно необходима, энергетически и экономически выгодна.

2. Интеграцию АБТН в состав ТЭЦ Белорусской энергосистемы желательно начать как можно раньше, поскольку при этом существенно облегчается работа регуляторов энергосистемы в условиях ввода в её состав АЭС.

3. Термодинамическая эффективность энергосистемы может быть дополнительным объективным и, что важно, стабильным показателем при принятии соответствующих решений внедрения энергосберегающих мероприятий. ЕММ

### Литература

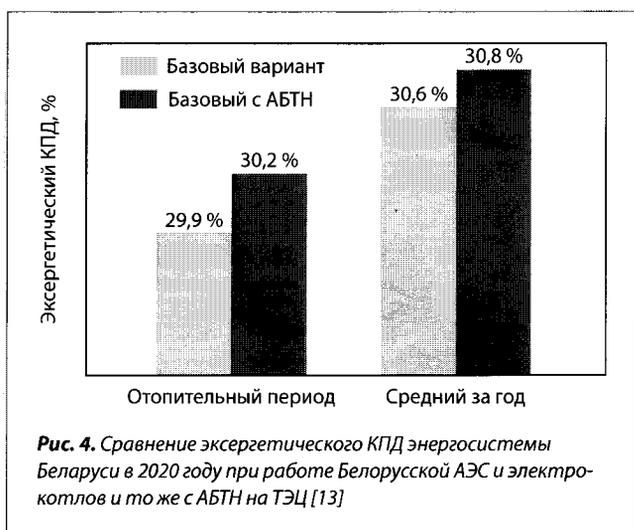
1. Романюк, В. Н. К вопросу о диверсификации вариантов регулирования мощности генерации Белорусской энергосистемы / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и Менеджмент. — 2015. — № 6. — С. 3–8.

2. Рудченко, А. В. Первый проект с применением абсорбционного теплового насоса большой мощности реализован в Беларуси / А. В. Рудченко, И. В. Кочемазов // Энергия и Менеджмент. — 2017. — № 1. — С. 18–21.

3. Хрусталёв, Б. М. К вопросу развития энергообеспечения промышленных теплотехнологий и систем теплоснабжения в Беларуси. Взгляд в ближайшее будущее и обозримую перспективу / Б. М. Хрусталёв, В. Н. Романюк, В. А. Седнин, А. А. Бобич, Д. Б. Муслина, Т. В. Бубырь // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. — 2014. — № 6. — С. 53–61.

4. Романюк, В. Н. Интенсивное энергосбережение в промышленных теплотехнологиях / В. Н. Романюк, А. А. Бобич, Т. В. Бубырь // Энергия и Менеджмент. — 2013. — № 6. — С. 8–12.

5. Романюк, В. Н. Абсорбционные тепловые насосы в теплоэнергетических системах промышленных предприятий для снижения энергетических и финансовых затрат / В. Н. Рома-



нюк, А. А. Бобич, Д. Б. Муслина [и др.] // Энергия и Менеджмент. — 2013. — № 2. — С. 32–37.

6. Романюк, В. Н. Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения её энергетической эффективности / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина, А. А. Бобич и др. // Энергия и Менеджмент. — 2013. — № 1. — С. 14–19.

7. Романюк, В. Н. Абсорбционные или парокompрессионные тепловые насосы в схемах ТЭЦ / В. Н. Романюк, А. А. Бобич, С. В. Мальков // Энергия и Менеджмент. — 2013. — № 4–5. — С. 18–21.

8. Романюк, В. Н. Абсорбционные тепловые насосы на ТЭЦ Белорусской ОЭС на примере Мозырской ТЭЦ / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и Менеджмент. — 2015. — № 1. — С. 4–11.

9. Романюк, В. Н. Развитие тепловых схем ТЭЦ в условиях Объединённой энергосистемы Беларуси / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. — 2015. — № 4. — С. 31–43.

10. Романюк, В. Н. Обоснование параметров АБТН для утилизации ВЭР на ТЭЦ с помощью пассивного эксперимента и определение соответствующих изменений различных оценок работы энергосистемы / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и Менеджмент. — 2016. — № 1. — С. 14–23.

11. Техничко-экономическое обоснование «Установка абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса (АБТН) на Светлогорской ТЭЦ, РУП «БЕЛТЭИ». — Мн., 2013. — С. 95.

12. Воронов, Е. О. К вопросу оценки термодинамической эффективности Белорусской энергосистемы / Е. О. Воронов, В. Н. Романюк, В. А. Седнин, А. А. Бобич // Энергия и Менеджмент. — 2016. — № 3. — С. 2–7.

13. Романюк, В. Н. Оценка термодинамической эффективности функционирования энергосистемы Беларуси в условиях работы Белорусской АЭС / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и Менеджмент. — 2016. — № 4. — С. 2–9.