

УДК 631.158

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУРБОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕПЛА ТУРБИН

Радечко Е.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кашеев В.П.

Особенностью теплоснабжения в странах СНГ, включая Республику Беларусь, Россию и др. (в отличие от большинства стран мира) является широкое распространение систем централизованного теплоснабжения в крупных городах. Источником тепловой энергии в таких системах являются городские ТЭЦ, на которых осуществляется комбинированная выработка электроэнергии и тепла, или районные котельные. С термодинамической точки зрения комбинированное производство электроэнергии и тепла на ТЭЦ является гораздо более эффективным, чем раздельное производство электроэнергии на конденсационных тепловых электростанциях и тепла котельными. Вместе с тем применение централизованных систем теплоснабжения имеет свои недостатки и ограничения. Строительство протяженных теплотрасс к удаленным объектам, а также к объектам в районах с малой плотностью застройки, сопряжено со значительными капитальными вложениями и большими тепловыми потерями на трассе. Их эксплуатация впоследствии также требует больших затрат. Серьезные проблемы возникают и при реконструкции существующих объектов и строительстве новых в обжитых городских районах с плотной застройкой. В этих случаях увеличение тепловых нагрузок создает для застройщика часто непреодолимые трудности, в том числе финансовые, при получении и реализации технических условий на подключение к районной тепловой сети. Действующие в настоящее время тарифы на тепловую энергию в сочетании с затратами на подключение к городским тепловым сетям заставляют все чаще задумываться над альтернативными способами теплоснабжения, а именно, теплонасосными системами теплоснабжения. Тепловые насосы нашли широкое применение для теплоснабжения жилых и административных зданий в США, Швеции, Канаде, России и других странах со сходными с Республикой Беларусь климатическими условиями. Эффективность их использования зависит от многих факторов, таких как: температурные уровни источника теплоты и потребителя, соотношение тарифов на теплоту и используемую энергию, уровень цен на используемую теплоту от источника (если необходимо за нее платить), тип использования привода компрессора и т.д. Под эффективностью здесь понимается превышение стоимости замещаемой теплоты (от другого источника) над энергетическими затратами ее производства в турбонасосной установке (ТНУ). Она является основой для определения реального экономического эффекта при использовании ТНУ с учетом капитальных, эксплуатационных и других затрат, сроков их окупаемости, себестоимости произведенной теплоты, получения дополнительной прибыли и т.д. Исследования, проводимые российскими учеными и инженерами на протяжении последних лет показывают, что в себестоимости теплоты, произведенной ТНУ с электроприводом, существенную часть вносят энергетические затраты, которые в значительной мере зависят от температурного уровня источника теплоты и тарифов на электроэнергию. Так при определенных тарифах на электроэнергию и температуре, используемой низкопотенциальной теплоты, например, теплоты канализационных стоков, грунта земли, сбросной воды тепловых электростанций, энергетическая составляющая в себестоимости теплоты, произведенной в ТНУ, может быть соизмеримой с общей себестоимостью теплоты, выработанной другими источниками. Поэтому к использованию ТНУ в системах теплоснабжения необходимо подходить взвешенно, с учетом всех конкретных условий. Использование для привода ТНУ двигателей внутреннего сгорания (ДВС) или в сочетании ТНУ с другими энергоустановками существенно увеличивает эффективность их применения.

Энергии сбросного тепла, поступающего на градирни промышленных ТЭЦ, достаточно, чтобы остановить в резерв все, даже самые крупные котельные города, при понижении температуры наружного воздуха до -8°C ! Однако даже зимой, когда из градирен ТЭЦ выбрасывается огромное количество тепла, в зоне действия тепловых сетей работают десятки котельных, нагрузку которых могут взять на себя ТЭЦ. Технически возможна утилизация до 90 % низкопотенциальной теплоты. При совершенствовании систем централизованного теплоснабжения необходимо учитывать следующие факторы:

- огромные выбросы низкопотенциальной теплоты, прежде всего системой охлаждения технической воды на ТЭЦ, увеличивающиеся в период снижения тепловой нагрузки в неотапительный период;

- резко возрастающий пережог топлива при выработке электроэнергии в условиях снижения тепловой нагрузки;

- большие затраты теплоты на нагрев сетевой воды, восполняющей ее потери в теплосетях;

- дефицит сетевой воды во многих районах города из-за ограниченной теплопропускной способности существующих сетей;

- экономия (замещение) органического топлива с помощью тепловых насосов в конечном счете происходит за счет полезного вовлечения выбросов низкопотенциальной теплоты на ТЭЦ. Это достигается двумя способами:

- прямым использованием тепла технической воды, охлаждающей конденсаторы ТЭЦ в качестве источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ) для теплового насоса (в обход градирни);

- использованием в качестве ИНТ для теплового насоса обратной сетевой воды, возвращаемой на ТЭЦ, температура которой снижается до $20-25^{\circ}\text{C}$.

Первый способ реализуется, когда тепловой насос размещен вблизи ТЭЦ, второй – когда он используется вблизи потребителей. В обоих случаях температурный уровень ИНТ достаточно высок, что создает предпосылки для работы теплового насоса с высоким коэффициентом преобразования. С помощью ТНУ можно передать большую часть этой сбросной теплоты в теплосеть (около 80–90 %). При этом применение тепловых насосов в системах централизованного теплоснабжения позволяет существенно повысить технико-экономические показатели систем городского энергохозяйства:

- на производство этой теплоты не надо затрачивать дополнительное топливо;

- улучшается экологическая ситуация;

- за счет понижения температуры циркуляционной воды в конденсаторе турбин существенно улучшится вакуум и повысится электрическая выработка с турбин;

- сократятся потери циркуляционной воды и затраты на ее перекачку;

- прирост тепловой мощности на величину утилизируемой теплоты, ранее выбрасываемой в систему охлаждения технической воды;

- снижение теплопотерь при транспортировке сетевой воды в магистральных трубопроводах;

- возрастание отопительной нагрузки (на 15–20 %) при том же расходе первичной сетевой воды и снижение дефицита в сетевой воде на ЦТП в удаленных от ТЭЦ микрорайонах;

- появление резервного источника для покрытия пиковых тепловых нагрузок.

В условиях высоких и нестабильных цен на такие важные энергоресурсы как нефть и газ, а также учитывая глобальную политическую нестабильность, применение тепловых насосов может существенным образом повлиять на сложившуюся ситуацию в качестве альтернативного источника тепловой энергии.

Изучение вопроса эффективности применения абсорбционных тепловых насосов в процессе утилизации «бросового» тепла низкого потенциала показывает, что отсутствие компрессорного оборудования и фтор-хлорсодержащих веществ существенным образом расширяет границы их применения и диапазон выпускаемых мощностей, делает их

экологически чистыми и экономичными источниками тепла. При охлаждении 28000 т/ч циркуляционной воды в испарителях тепловых насосов даже на 3 °С теплосъём может составить до 97,8 МВт. Рекуперирова эту низкопотенциальную энергию, которая традиционно выбрасывается в окружающее пространство, в тепловых насосах с коэффициентом трансформации не ниже 3,5 можно получить около 118 Гкал/ч тепловой энергии. Правда, при этом необходимо затратить 25–30 % электрической энергии для реализации реобразования энергии в тепловом насосе. Заметим, что циркуляционная вода полностью или частично охлаждается в испарителе ТН и, следовательно, за счёт понижения её температуры в конденсаторе турбины улучшается вакуум и появляется возможность выработки дополнительной электрической энергии, которая может быть использована для привода компрессора теплового насоса. Это даёт основание говорить о комплексном использовании теплонасосных технологий, используя в качестве теплообменников ТН как со стороны нагрева, так и со стороны охлаждения. Имеется также потенциальная возможность утилизации сбросной теплоты, отводимой при охлаждении энергетического оборудования станции.

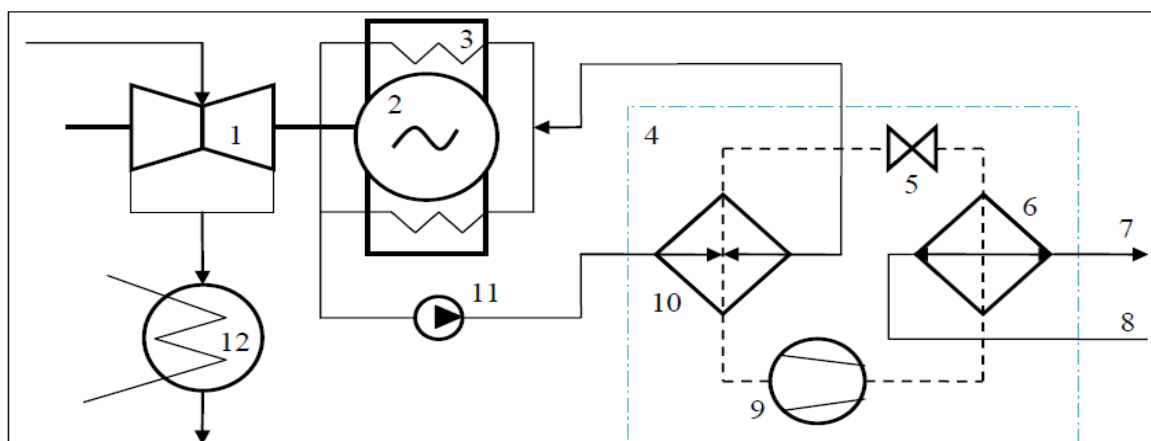


Рис. 6. Принципиальная схема использования ТН для утилизации теплоты, отводимой при охлаждении электрогенератора:

1 – ЦНД турбины; 2 – электрический генератор блока; 3 – система охлаждения электрогенератора; 4 – тепловой насос; 5 – терморегулирующий вентиль ТН; 6 – конденсатор ТН; 7 – нагретая подпиточная вода; 8 – холодная подпиточная вода; 9 – компрессор ТН; 10 – испаритель ТН; 11 – насос теплоносителя системы охлаждения электрогенератора; 12 – конденсатор турбины

Так, на рисунке приведена принципиальная схема рекуперации теплоты, отводимой при охлаждении электрических обмоток и металла турбоэлектрогенератора для подогрева подпиточной химически очищенной воды. Считая, что отводимая теплота пропорциональна вырабатываемой электрической мощности генератора $N_{эл}$ и полностью отдаётся рабочему телу в испарителе теплового насоса 10, при заданных КПД электрогенератора η_g и коэффициенте преобразования теплового насоса (COP) в конденсаторе теплового насоса 6 подпиточной воде будет передана теплота в количестве

$$Q_{тну} = 0,8598 \cdot N_{эл}(1 - \eta_g)/(1 - 1/COP).$$

Здесь $Q_{тну}$ – теплота, переданная подпиточной воде в конденсаторе теплового насоса, Гкал/ч; $N_{эл}$ – электрическая мощность генератора с КПД η_g , МВт; COP – коэффициент преобразования теплового насоса.

Экономия условного топлива определится как

$$\Delta B = Q_{тну}/7000 \eta_{ку},$$

где $\eta_{ку}$ – КПД замещающей котельной установки.

Используя данные режимных карт и приняв COP = 4,5, $\eta_g = 0,95$ и $\eta_{ку} = 0,86$, можно получить, что экономия топлива на подогрев подпиточной воды в количестве 300 т/ч от температуры 12 до 45 °С за анализируемый отрезок времени может составить 11,52 МВт (9,9 Гкал/ч).

Основной целью внедрения ТНУ в технологическую схему тепловых станций является уменьшение затрат первичного топлива для производства теплоты и электроэнергии.

Уже в 2012 году австрийская компания OCHSNER приступила к серийному производству высокотемпературных тепловых насосов. Для достижения температуры в горячем контуре 95 °С компания разработала двухфазный круговой процесс с использованием для первой фазы хладагента R134a, а для второй фазы – OKO1 (оба хладагента негорючие, нетоксичные, с низким рабочим давлением). Высокотемпературные тепловые насосы выпускаются мощностью от 190 до 750 кВт в единичном изделии, при этом температура нагретой воды на выходе из конденсатора достигает 100 °С при температуре источника тепла не ниже 10 °С.

По данным РОСНАУКИ [6] в рамках проекта ФЦ 2002–2006 научнопроизводственной фирмой ЭКИП, Московским энергетическим институтом, Московским государственным университетом инженерной экологии и другими соисполнителями разработана конструкторская документация теплового насоса ТНСО2-2300 мощностью до 23 МВт с использованием в качестве рабочего тела диоксида углерода. Тепловой насос предназначен для подогрева сетевой воды систем теплофикации при утилизации бросовой теплоты объектов промышленной энергетики. При входной температуре сетевой воды 15 °С может быть получена выходная температура до 80 °С, при этом температура низкопотенциального теплоносителя с 28 °С охлаждается до 20 °С. Преобразование энергии происходит с коэффициентом не менее 5,0. С применением разработанного теплового насоса предложен проект атомно-теплонасосной теплофикации районов г. Санкт-Петербурга с утилизацией сбросной теплоты конденсаторов паровых турбин Ленинградской АЭС-2.

Известны промышленные тепловые насосы американской корпорации Mammoth серии вода–вода производительностью от 248 до 3500 кВт на базе винтовых компрессоров. Работы по внедрению теплонасосных технологий в схемы тепловых электрических станций ведутся в США, Англии, Швеции, Германии, России.

На ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» создан лабораторный стенд по апробации схем применения теплонасосных установок в энергетике [7]. Теплонасосная установка НТ-410, изготовленная на заводе «Компрессор», смонтирована и обвязана с существующим оборудованием ТЭЦ. В качестве низкопотенциального источника энергии для ТНУ использована сбросная теплота циркуляционной воды после конденсаторов турбин. В результате испытаний рекомендованы к разработке схемы с передачей сбросной теплоты циркуляционной воды в обратную тепломагистраль теплосети (до подогревателей сетевой воды) и использования сбросной теплоты для ступенчатого нагрева в ТНУ подпиточной сетевой воды.

Заключение

Достижения в создании современных промышленных теплонасосных установок позволяют осуществлять реализацию проектов по утилизации значительной части этой традиционно теряемой сбросной низкопотенциальной энергии. Рациональность рекуперированной теплоты обусловлена возможностью с помощью ТНУ, не затрачивая дополнительного топлива, организовать подогрев подпиточной воды, производить подогрев сетевой воды из обратной магистрали в конденсаторе теплового насоса с вытеснением сетевого подогревателя первой ступени, захлаживание обратной сетевой воды в испарителе теплового насоса и подогрев её в дополнительном пучке конденсатора турбины, улучшая в последнем вакуум и повышая выработку электроэнергии. Для вывода об экономической целесообразности такой утилизации необходимо выполнить многовариантные оптимизационные расчёты различных схем, обосновывающие реальную экономию первичного топлива, повышение выработки электроэнергии и теплоты, повышение энергетической эффективности работы турбин за счёт применения теплонасосных технологий, с учётом действующих тарифов на электро- и теплоэнергию, достоверных данных по коэффициенту преобразования ТНУ, капитальных и эксплуатационных затрат.