

УДК 697.7

АНАЛИЗ СХЕМ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ С СОВМЕСТНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОНАСОСНОЙ
УСТАНОВКИ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Юдина Дарья Дмитриевна

Магистрант,

Астраханский государственный технический университет,

г. Астрахань

Шишкин Николай Дмитриевич

Профессор, доктор технических наук,

Астраханский государственный технический университет,

г. Астрахань

Ильин Роман Альбертович

Доцент, кандидат технических наук,

Астраханский государственный технический университет,

г. Астрахань

ANALYSIS OF SCHEMES OF ENERGY COMPLEXES WITH THE COMBINED USE OF A HEAT PUMP
UNIT AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

Yudina Daria Dmitrievna

Master student,

Astrakhan State Technical University,

Astrakhan

Shishkin Nikolay Dmitrievich

Professor, Doctor of Technical Sciences,

Astrakhan State Technical University, Astrakhan

Ilyin Roman Albertovich

Associate Professor,

Candidate of Technical Sciences,

Astrakhan State Technical University,

Astrakhan

Аннотация. В статье представлены результаты анализа схем энергокомплексов с совместным применением теплонасосной установки и возобновляемых источников энергии. Рассмотрены схемы систем теплоснабжения и кондиционирования, в которых используется низкопотенциальная теплота грунта, солнечная, ветровая энергия и теплота сточных вод. Учитывая большой потенциал этих энергоисточников в России, данные схемы могут получить широкое распространение для теплоснабжения различных объектов.

Abstract. The article presents the results of the analysis of energy complex schemes with the combined use of a heat pump installation and renewable energy sources. The schemes of heat supply and air conditioning systems using low potential soil heat, solar, wind energy and wastewater heat are considered. These schemes can be widely used for heat supply of various facilities in Russia.

Ключевые слова: теплоснабжение, кондиционирование воздуха, схемы энергокомплексов, теплонасосные установки, ветроэнергоустановки, солнечные водонагревательные установки, фотоэлектрические преобразователи.

Key words: heat supply, air conditioning, power complex schemes, heat pump installations, wind power plants, solar water heating plants, photovoltaic converters.

Рост цен на традиционные топливные источники энергии и загрязнение окружающей среды выбросами вредных веществ в атмосферу делает весьма актуальным использование теплонасосных установок (ТНУ), а также возобновляемых источников энергии (ВИЭ) солнечной, ветровой, биогаза и др. [1-10]. В глобальном масштабе тепловые насосы обеспечивают 3% отопления в зданиях. Почти 18 миллионов домохозяйств приобрели тепловые насосы в 2018 году, по сравнению с 14 миллионами в 2010 году [1, 2]. Почти 80 % новых бытовых теплонасосных установок (ТНУ) в 2017 году были установлены в Китае, Японии и Соединенных Штатах, что вместе составляет около 35% мирового конечного спроса на энергию для отопления помещений и получения горячей воды в жилых зданиях. Россия по применению ТНУ значительно отстает от большинства развитых стран. Между тем более

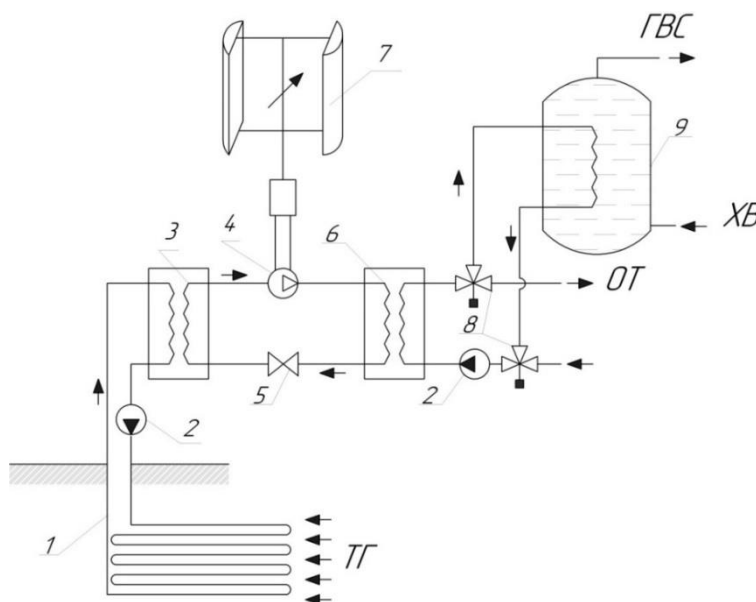
продолжительный отопительный период делает экономическую эффективность применения ТНУ в России более высокой, чем в других развитых странах.

Для автономного теплоснабжения различных объектов таких, как малоэтажные здания, фермерские хозяйства, туристические комплексы, нефтяные месторождения и других объектов наиболее удобными представляются ветроэнергоустановки (ВЭУ) [8-10]. Кроме горизонтально-осевых ветроэнергоустановок (ГО ВЭУ) в последние годы стали применяться и вертикально-осевые ветроэнергоустановки (ВО ВЭУ). Достоинствами всех типов ВО ВЭУ является, то, что работа этих установок не зависит от направления ветра. Представляется целесообразным применение комбинированных роторов Н-Дарье – Савониуса, обладающих большой скоростью вращения, большим пусковым моментом и КПД, который может достигать 0,60, т.е. в 1,5-2,0 раза больше, чем у ГО ВЭУ [11, 12] Учитывая огромный потенциал ВИЭ в России их использование совместно с ТНУ для теплоснабжения является перспективным за счёт получения более дешевой электроэнергии для привода ТНУ, и использования ВИЭ для дополнительного сезонного нагрева горячей воды. В ряде случаев в энергокомплексах наряду с ТНУ достаточно эффективно могут использоваться не только ВО ВЭУ, но и солнечные водонагревательные установки (СВУ) на основе коллекторов солнечной энергии (КСЭ), а также фотоэлектрические установки (ФЭУ) на основе фотоэлектрических панелей (ФЭП). Таким образом, для России вполне актуальным является использование ТНУ совместно с ВИЭ.

Целью работы является анализ схем энергокомплексов с совместным использованием ТНУ и ВИЭ для теплоснабжения и кондиционирования воздуха объектов различного назначения.

Выгодным использование ТНУ в теплоснабжении делают две их основные особенности [3-6]. ТНУ способны рекуперировать тепло из ИНТ, которые обычно не могут быть использованы и имеют существенно более высокую эффективность использования энергии. Так, например, прямой электрический обогрев дает практически 100 % использования энергии, а ТНУ обычно позволяет получить в 2-4 раза больше тепловой энергии по сравнению с затраченной для привода компрессора. Основным показателем эффективности для ТНУ является коэффициент преобразования теплоты (КПТ), который определяется как отношение энергии, получаемой с помощью ТНУ, к энергии, необходимой для привода компрессора. Следует отметить, что применение ТНУ экономически эффективно по сравнению с традиционными системами теплоснабжения от автономных котельных при значениях КПТ не менее 2,8.

Рассмотрим разработанные на основе [8, 13, 14] , а также оригинальные схемы с использованием ТНУ совместно с ВИЭ. В первом наиболее простом варианте (рисунок 1), для отопления и горячего водоснабжения (ГВС) объекта (например, жилого, административного или промышленного здания) используется ТНУ совместно ВО ВЭУ.



1 – внешний контур ТНУ; 2 – циркуляционный насос; 3 – испаритель; 4 – компрессор;
5 – дроссельный вентиль; 6 – конденсатор; 7 – ВО ВЭУ; 8 – реверсивные клапаны;
9 – бак аккумулятор косвенного нагрева

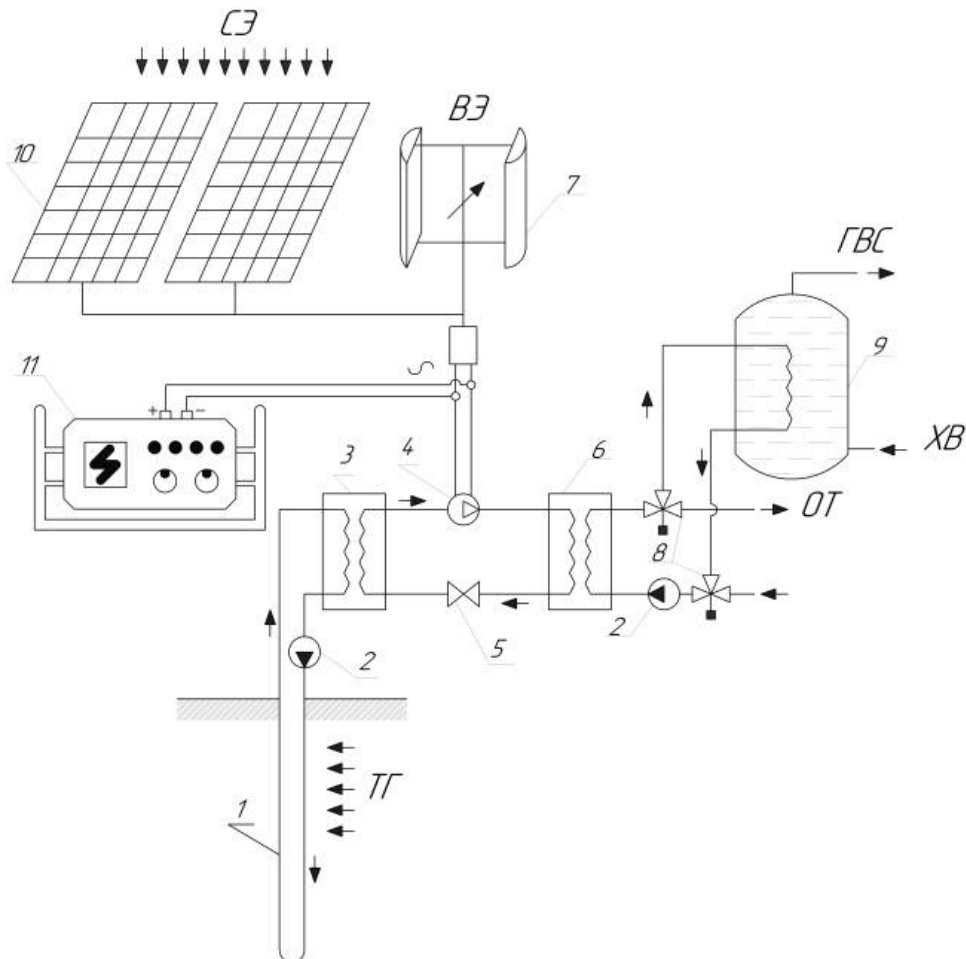
Рисунок 1 – Схема использования ТНУ совместно с ВО ВЭУ

Хладагент под высоким давлением через дроссельный вентиль 5 попадает в испаритель 3, где за счёт резкого уменьшения давления происходит процесс испарения. При этом хладагент отбирает тепло у внутренних стенок

испарителя, а испаритель в свою очередь отнимает тепло у внешнего контура ТНУ 1 в котором циркулирует смесь воды и антифриза (рассол). Компрессор 4 получает хладагент из испарителя, сжимает его, за счёт чего температура хладагента резко повышается и выталкивает в конденсатор 6. Кроме этого, в конденсаторе, нагретый в результате сжатия хладагент отдает тепло теплоносителю (вода) для нужд отопления и ГВС. Реверсивные клапаны 8 контролируют циркуляцию воды в системах отопления и горячего водоснабжения (ГВС). Отбор воды на ГВС осуществляется из бака аккумулятора косвенного нагрева 9, к которому подведена подпитка холодной воды. При возникновении потребности в горячей воде эта задача становится первоочередной, и вся мощность ТНУ направляется на нагрев воды в баке аккумуляторе. В этом режиме отопление помещений не производится. После того как вода в баке аккумуляторе нагреется до нужной температуры, реверсивные клапаны перекрывают контур ГВС. В качестве генератора электрической энергии для привода компрессора выступает ВО ВЭУ 7.

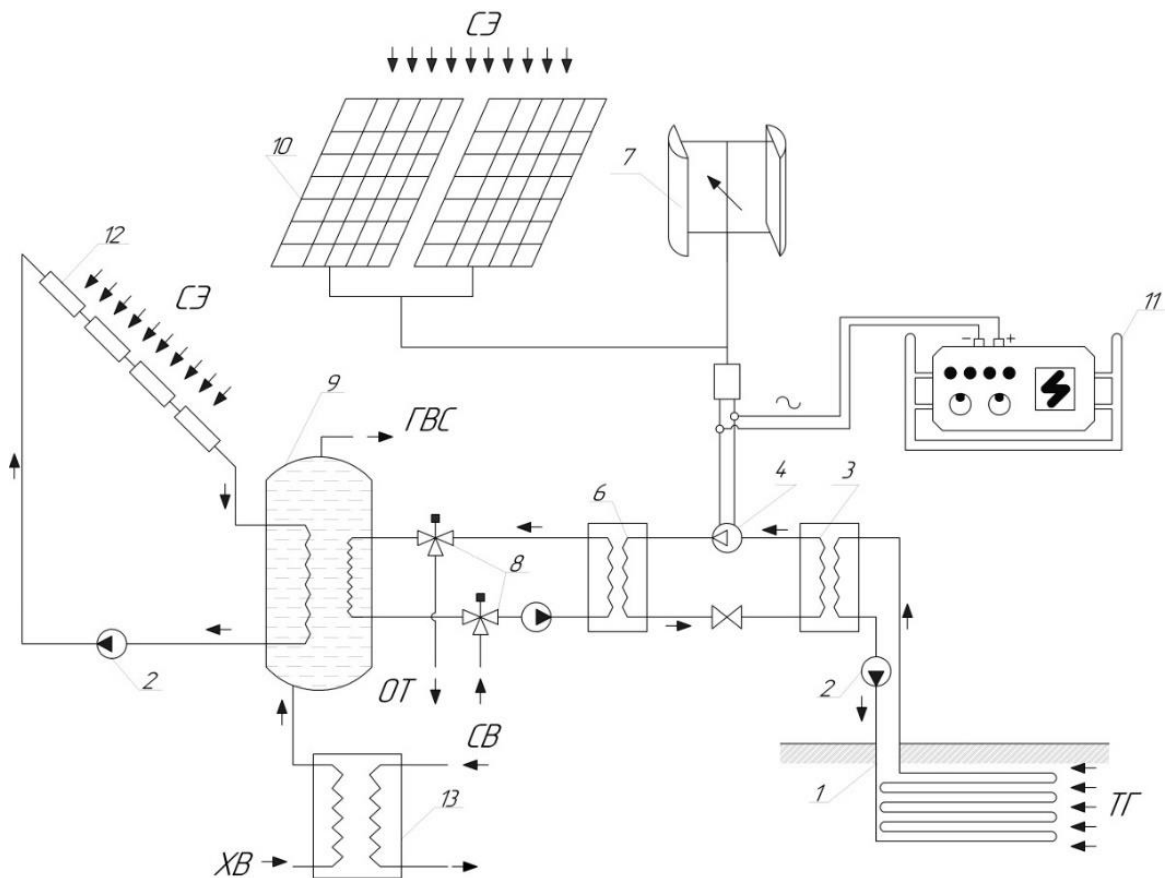
Данный способ получения тепловой энергии является экологически чистым, т. к. полностью отсутствуют какие-либо выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Такая схема может применяться в местах с затрудненной доставкой топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), однако не может являться автономной из сильной зависимости выработки ВО ВЭУ от скорости ветра.

Для автономного теплоснабжения может быть применена система (рисунок 2) с комбинированной выработкой электроэнергии от ВО ВЭУ и ФЭП 10. В неблагоприятные моменты, например, в зимнюю безветренную ночь при разрядке всех электро-аккумуляторов, может быть использована электроэнергия от топливного электрогенератора 11.



1 – внешний контур ТНУ; 2 – циркуляционный насос; 3 – испаритель; 4 – компрессор;
5 – дроссельный вентиль; 6 – конденсатор; 7 – ВО ВЭУ; 8 – реверсивные клапаны;
9 – бак аккумулятор теплоты; 10 – ФЭП; 11 – топливный электрогенератор
Рисунок 2 – Схема использования ТНУ совместно с ФЭП и ВО ВЭУ

В третьей схеме (рисунок 3) для дополнительного нагрева воды в баке-аккумуляторе 9, используются коллекторы солнечной энергии КСЭ 12, что позволяет снизить потребление электрической энергии необходимой для привода компрессора 4 теплового насоса.

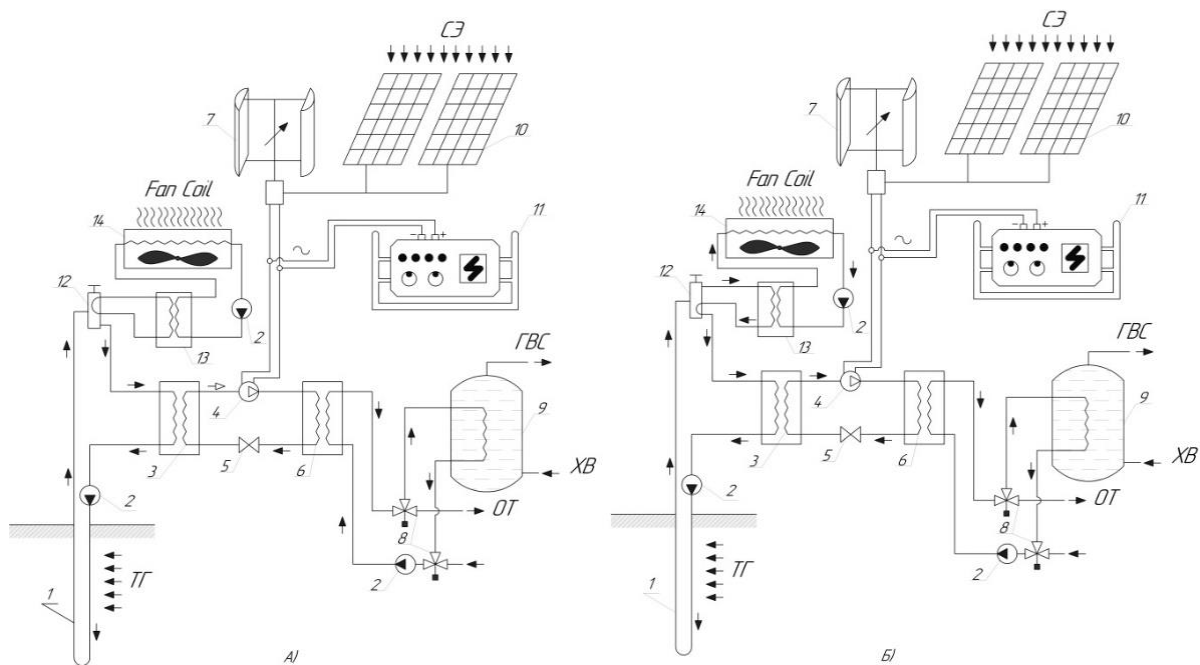


1 – внешний контур ТНУ; 2 – циркуляционный насос; 3 – испаритель; 4 – компрессор;
 5 – расширительный вентиль; 6 – конденсатор; 7 – ВО ВЭУ; 8 – реверсивные клапаны; 9 – бак-аккумулятор
 тепловой энергии; 10 – ФЭП; 11 – топливный электрогенератор
 12 – коллектор солнечной энергии; 13 – УТСВ

Рисунок 3 – Схема использования ТНУ совместно с ВО ВЭУ, КСЭ и УТСВ:

Также в качестве дополнительного источника энергии для предварительного подогрева холодной воды, подаваемой в бак-аккумулятор, могут применяться утилизаторы теплоты сточных вод (УТСВ) 13, в которые подаются теплые сточные воды (например, от ванн) с температурой 30-35 °С. В неблагоприятные моменты, например, например, в зимнюю безветренную ночь, может быть использована электроэнергия из централизованной электросети. Этот вариант эффективен для южных регионов России при широтном расположении зданий, имеющих достаточно большое количество относительно чистых и теплых сточных вод, например, в жилых и общественных зданиях, оборудованных ванными, в производственных зданиях с большим количеством теплой воды после мытья продукции, материалов, оборудования и др.

В четвертой схеме (рисунок 4) помимо теплоснабжения, обеспечивается кондиционирование помещений в летний период. Кондиционирование осуществляется за счёт использования фанкойлов 14 совместно с пассивной системой охлаждения. Для осуществления такой системы охлаждения, во внешний контур ТНУ 1 необходимо добавить блок пассивного охлаждения, который



1 – внешний контур ТНУ; 2 – циркуляционный насос; 3 – испаритель; 4 – компрессор; 5 – расширительный вентиль; 6 – конденсатор; 7 – ВО ВЭУ; 8 – реверсивные клапаны; 9 – бак аккумулятор косвенного нагрева; 10 – ФЭП; 11 – топливный электрогенератор; 12 – четырёхходовой клапан; 13 – теплообменник системы охлаждения; 14 – фанкойл

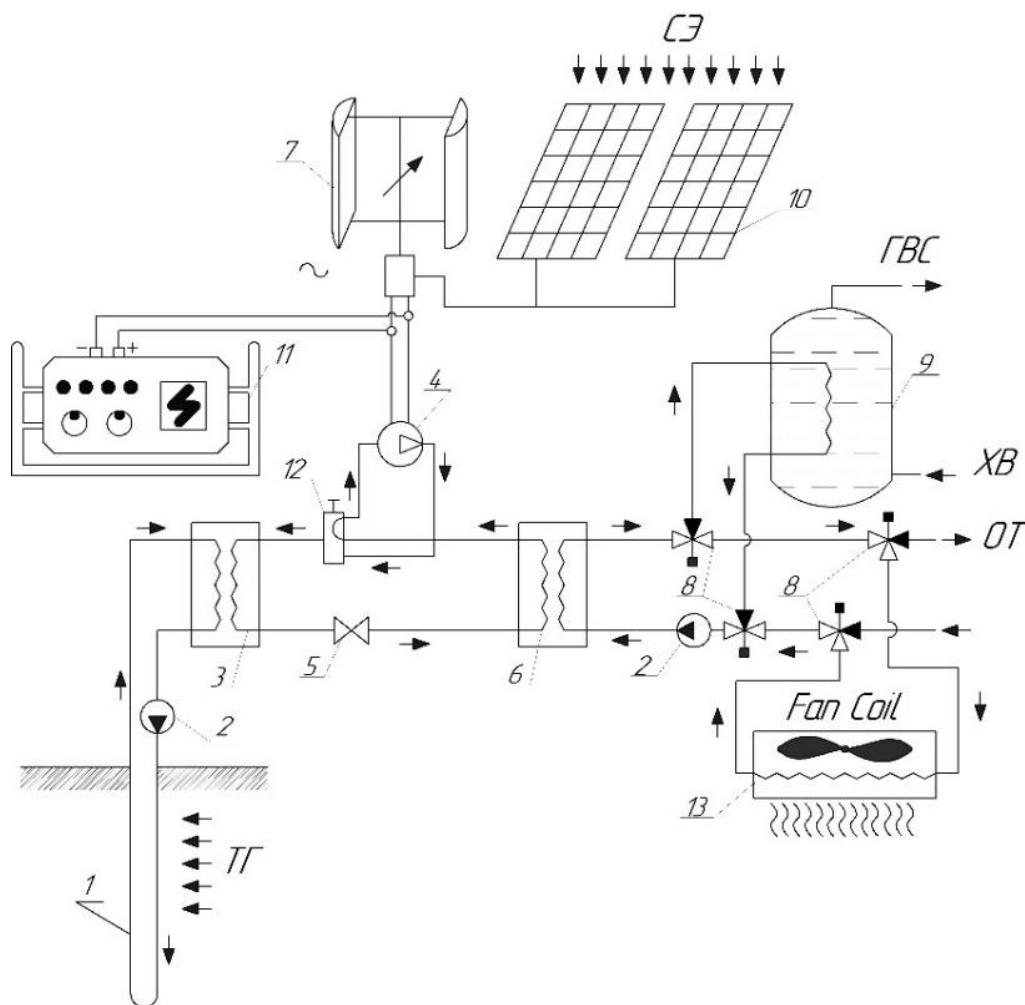
Рисунок 4 – Схема использования ТНУ с пассивной системой охлаждения совместно ВО ВЭУ и ФЭП

включает в себя дополнительные циркуляционные насосы, теплообменник 13 и четырёхходовой клапан 12. Пассивное охлаждение, которое часто называют естественным, подразумевает отбор тепла из помещения и подачу его в скважины для охлаждения (рисунок 4 Б). При этом компрессор теплового насоса не эксплуатируется.

На рисунках 4 А и 4 Б показаны зимний и летний режимы работы, соответственно. В летний режим (рисунок 4 Б) отобранный холод из низкопотенциального источника передается рассолу, который циркулирует по внешнему контуру теплового насоса 1 и за счёт четырёхходового клапана 12 попадает в теплообменник системы охлаждения 13. Проходя через теплообменник 13 рассол охлаждает теплоноситель, циркулирующий через фанкойлы 14. При необходимости нагрева горячей воды, четырёхходовой клапан переключается на режим ГВС и пускает рассол по уже описанному циклу (рисунок 1).

Такой способ кондиционирования используется в ТНУ грунт-вода, грунт-воздух, вода-вода и вода-воздух. Применение воздуха как низкопотенциального источника теплоты – не рационально, так как температура наружного воздуха летом выше, чем в помещении. В такой системе энергозатратными устройствами являются только циркуляционные насосы и фанкойлы. имеет дополнительное преимущество, за время отопительного периода, грунтовой зонд истощается, его температура падает, а благодаря пассивному охлаждению летом сбрасывается и накапливается теплота в грунте для использования его в следующем отопительном сезоне, в результате чего увеличивается коэффициент преобразования и эффективней работает зимой. В конце охлаждающего сезона, грунт больше не может поглотить тепловую энергию, в следствии чего производительность системы падает. В таких случаях далее применяют активное кондиционирование (охлаждение).

Активное охлаждение (рисунок 5) работает по «реверсивному режиму» то есть по обратному циклу. Для реализации данного типа необходимо установить в контур ТНУ четырёхходовой клапан 12. В такой системе фреон циркулирует в обратном направлении, где назначение конденсатора становится испарителем и наоборот. Также будут установлены дополнительные реверсивные клапаны, контролирующие движение теплоносителя к фанкойлам 13.



1 – внешний контур ТНУ; 2 – циркуляционный насос; 3 – испаритель; 4 – компрессор;
 5 – расширительный вентиль; 6 – конденсатор; 7 – ВО ВЭУ; 8 – реверсивные клапаны;
 9 – бак аккумулятор косвенного нагрева; 10 – ФЭП; 11 – топливный электрогенератор;
 12 – четырехходовой клапан; 13 – фанкойл

Рисунок 5 – Схема использования ТНУ с активной системой охлаждения совместно ВО ВЭУ и ФЭП

Таким образом, использование ТНУ для теплоснабжения, является альтернативой в условиях недостатка ТЭР и уже широко используется во многих развитых странах. Рассмотренные выше энергокомплексы с совместным использованием ТНУ и ВИЭ позволяют получить коэффициент преобразования теплоты ТНУ выше 3, что делает их эффективнее, чем применение традиционных систем теплоснабжения, использующих ТЭР [8]. Учитывая большой потенциал использования ВИЭ в России, данные схемы могут получить широкое распространение для теплоснабжения различных объектов.

Список литературы

1. Отчет об отслеживании деятельности Международного энергетического агентства (IEA)-май 2019 г. [Электронный ресурс] <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings/heat-pumps> (Дата обращения: 10.05.2020).
2. Томас Новак, генеральный секретарь ЕНРА (Европейская ассоциация тепловых насосов). Обзор европейского рынка тепловых насосов в 2018 году» [Электронный ресурс] <https://www.ehpa.org/market-data>. (Дата обращения: 10.05.2020).
3. Быков А. В. и др. Холодильные машины и тепловые насосы. Повышение эффективности. – М.: Стройиздат, 1988. – 215 с.
4. Янговский Е. И., Левин Л. А. Промышленные тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 124 с.
5. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
6. Чемяков В.В., Харченко В.В. Система теплоснабжения автономного жилого дома на основе теплового насоса и ветроэлектрической установки // Теплоэнергетика, 2013, № 3. С. 58-62.
7. Семкин Б. В., Стальная М. И., Свит П. П. Использование возобновляемых источников энергии в малой энергетике. Теплоэнергетика, № 2, 1996. – С. 6-7.
8. Шишкин Н.Д. Эффективное использование возобновляемых источников энергии для автономного

теплоснабжения различных объектов. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2012. – 208 с. 9. Чивенков А.И., Лоскутов А.Б., Михайличенко Е.А. Анализ применения и развития ветроустановок // Промышленная энергетика, 2012, № 5. С. 57-63. 10. Киушкина В.Р., Шарипова А.Р. Тенденция децентрализации энергетики и пути совершенствования малой энергетики // Промышленная энергетика, 2014, № 5. С. 2-8. 11. Shishkin N. D., Ilyin R. A. The design, estimation of the parameters of the vertical-axial wind-mill electric generating unit for the self-generated power supply of the objects Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. Volume 1111. 012055. 12. Шишкин Н.Д., Ильин Р.А., Атаев Д.И. Применение экологически эффективных вертикально-осевых ветроэнергоустановок для заповедников и национальных парков юга России // Экология и промышленность России. – 2019, Т 23, № 11. - С. 43-49. 13. Директор Л.Б., Зайченко В.М., Майков И.Л., Иванов О.А. Анализ эффективности схем энергетических комплексов малой распределенной энергетики // Промышленная энергетика, 2014, № 2. С. 41-46. 14. Ильин А.К., Шишкин Н.Д. Автономные теплоэнергетические комплексы (структура, характеристики, эффективность). Ростов-на-Дону: Южный научный центр РАН, 2004. 112 с.