УДК 621.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN COMBINED HEATING SYSTEMS

Е.В. Барбарич, А.Н. Медведева
Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет

E.Barbarich, A. Medvedeva
Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *в данной статье рассматриваются перспективные схемы совместного применения тепловых насосов и солнечных коллекторов, анализируется их эффективность, экономические и экологические преимущества, а также ключевые технические аспекты внедрения.*

Abstract: *this article considers the promising schemes of joint use of heat pumps and solar collectors, analyzes their efficiency, economic and environmental benefits, as well as key technical aspects of implementation.*

Ключевые слова: *возобновляемые источники энергии, тепловые насосы, солнечные коллекторы, гибридные системы, теплоснабжение, энергоэффективность.*

Keywords: *renewable energy sources, heat pumps, solar collectors, hybrid systems, heat supply, energy efficiency.*

s
e
v
i
c
h
b
n
t
u
by

Введение

Современные системы централизованного теплоснабжения, основанные преимущественно на получении тепла при помощи сжигания ископаемого топлива, сталкиваются с рядом проблем: высокой себестоимостью тепловой энергии, существенным воздействием негативным воздействием на экологию и растущими требованиями к энергоэффективности. Эти проблемы подталкивают к поиску альтернативных и более устойчивых решений, способных обеспечить надежное и экономически выгодное теплоснабжение с минимальным ущербом для экологии. В этом контексте особый интерес представляют комбинированные системы, использующие возобновляемые источники энергии и интегрирующие тепловые насосы, способные извлекать низкопотенциальное тепло из окружающей среды (воздуха, грунта, воды), и солнечные коллекторы, преобразующие солнечную радиацию в тепловую энергию.

Такие решения позволяют снизить зависимость от углеводородного топлива на 40–70% и существенно уменьшить выбросы CO_2. Однако их широкое внедрение требует решения ряда технических и экономических задач.

Основная часть

Традиционные системы теплоснабжения имеют ряд недостатков, связанных с экономическими, экологическими и техническими факторами.

Одной из главных проблем является зависимость от ископаемого топлива. По данным Министерства энергетики за 2023 год, около 70% тепла вырабатывается за счет природного газа. Это создает риски, связанные с колебаниями цен на энергоносители. Кроме того, эксплуатационные затраты на традиционные системы теплоснабжения весьма значительны.

Экологические последствия традиционных систем теплоснабжения также вызывают серьезные опасения. Выбросы углекислого газа от теплоэлектростанций, работающих на угле, составляют около 0,8 тонн CO на мегаватт-час, в то время как современные тепловые насосы и системы когенерации могут снизить этот показатель до 0,2 тонн, если используются источники "зеленой" электроэнергии. Локальный ущерб, вызванный выбросами, также значителен: согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), традиционные источники тепла вносят значительный вклад в образование смога в городах, что негативно сказывается на здоровье населения.

Так же имеются технические ограничения традиционных систем теплоснабжения: сравнительно низкий коэффициент полезного действия (КПД) устаревших котельных составляет всего 60%, в то время как современные технологии, такие как тепловые насосы и системы когенерации, могут достигать КПД в 85%.

Таким образом, традиционные системы теплоснабжения сталкиваются с множеством проблем, требующих комплексного подхода к их решению.

Комбинированные системы теплоснабжения с применением альтернативных источников энергии являются перспективной заменой традиционным системам. Одной из ключевых составляющих таких комбинированных систем являются тепловые насосы (ТН). Их принцип работы основан на извлечении низкопотенциальной тепловой энергии из окружающей среды и последующем ее преобразовании в тепловую энергию более высокой температуры, пригодную для отопления зданий и других нужд [1].

Тепловой насос функционирует по принципу, обратному холодильнику. В то время как холодильник отводит тепло от продуктов питания внутри камеры и рассеивает его наружу, тепловой насос выполняет противоположную задачу: он извлекает тепловую энергию из окружающей среды, расположенной снаружи здания, и направляет ее для обогрева внутреннего пространства. Источниками тепла для теплового насоса служат не только атмосферный воздух и воздух внутри помещений, но и грунтовые воды, а также тепло земли. Поскольку температура извлеченного тепла, как правило, недостаточна для эффективного отопления помещений или обеспечения горячего водоснабжения (ГВС), для повышения температуры используются термодинамические процессы, протекающие с выделением теплоты (процессы испарения, конденсации и расширения).

Принцип работы ТН представлен следующим образом: в грунте или водоеме возле отапливаемого здания располагают коллекторы для сбора рассеянного тепла, по трубкам которых движется специальный хладагент (обычно, незамерзающая смесь на основе гликоля). После прохождения циркуляционного контура, жидкость возвращается в насос, где производится

отбор тепла и понижение ее температуры примерно на 4–6℃. Полученная устройством энергия переходит к отопительной системе, а цикл повторяется заново (жидкость циркулирует по трубкам коллектора, выравнивая температуру, а после возвращается обратно в агрегат).

Для круглогодичного использования могут применятся геотермальные ТН, поскольку колебания температуры в водоемах и грунте не так существенны, как в воздушных. Воздушные ТН могут использоваться для подогрева бассейнов в летний период с целью уменьшения расходов топлива в традиционных системах теплоснабжения. В летний период при необходимости кондиционирования запускается обратный процесс. В таком случае происходит забор тепловой энергии внутри здания и сброс ее в грунт или воду. Отопление и охлаждение при этом в течение года может производиться одним и тем же агрегатом.

Другим важным элементом комбинированных систем теплоснабжения являются солнечные коллекторы (СК). Они преобразуют солнечную радиацию в тепловую энергию, которая может использоваться для ГВС или непосредственно для отопления помещений. Солнечные коллекторы подразделяются на несколько типов, отличающихся конструкцией и эффективностью. СК представляют собой инновационное решение в сфере обеспечения ГВС и отопления, предлагая эффективную и экологически чистую альтернативу традиционным источникам энергии. Их применение невероятно широко: от частных домов и дач до крупных объектов коммунальной инфраструктуры.

Разнообразие моделей солнечных коллекторов позволяет выбрать оптимальный вариант для конкретных условий эксплуатации.

Плоские солнечные коллекторы характеризуются своей доступностью, простотой установки и возможностью монтировки под любым углом, что обеспечивает максимальную эффективность использования солнечной энергии в течение всего года. Их КПД составляет порядка 50–60%, что позволяет значительно сократить потребление энергии от других источников. Высокая производительность в летний период компенсируется несколько меньшей эффективностью в холодное время года, хотя они способны функционировать даже при незначительном солнечном освещении и эффективно очищаться от снега и инея [2].

Вакуумные солнечные коллекторы обладают минимальными теплопотерями, обеспечивая длительную и стабильную работу на протяжении всего дня, даже в условиях низких температур. Они способны генерировать более высокие температуры по сравнению с плоскими коллекторами, что особенно важно для систем отопления. Более высокая стоимость вакуумных коллекторов оправдывается их высокой эффективностью, длительным сроком службы и устойчивостью к низким температурам (до -30℃).

Воздушные СК предназначены для отопления. К их достоинствам можно отнести надежность работы, легкость интеграции в существующие системы отопления и вентиляции и простоту конструкции, что делает их обслуживание максимально простым и удобным.

Выбор типа коллектора зависит от многих факторов: климатических условий, размеров здания, требований к температуре горячей воды и отопления. Для загородных домов и дач солнечные коллекторы представляют собой привлекательную альтернативу традиционным системам отопления, позволяя значительно сократить расходы на энергоресурсы и уменьшить углеродный след.

Наиболее распространенным типом солнечного коллектора является система с естественной циркуляцией как показано на рисунке 1.

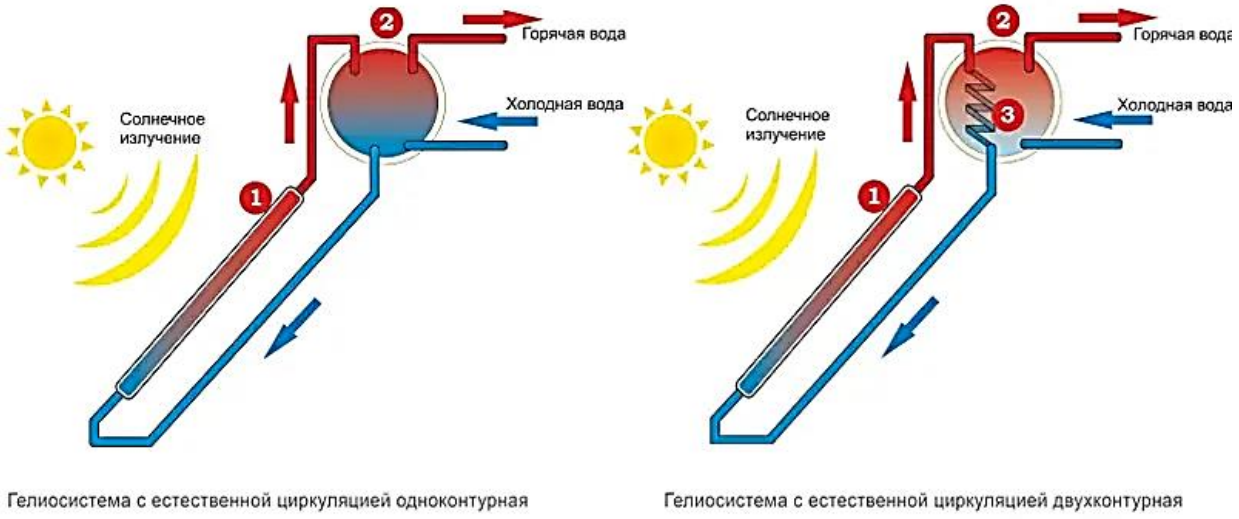

Рисунок 1 – Гелиосистема с естественной циркуляцией [3]

Данный тип СК функционирует за счет термосифонного эффекта, обусловленного разницей плотностей нагретой и холодной воды. При нагреве в коллекторе жидкость становится менее плотной и поднимается в верхнюю часть системы, тогда как охлажденная вода, обладающая большей плотностью, опускается вниз. Этот естественный переток создает непрерывную циркуляцию без необходимости использования дополнительного насосного оборудования.

Ключевыми преимуществами системы являются: энергонезависимость (отсутствие потребности в электропитании для циркуляции теплоносителя), простота конструкции и минимальное количество подвижных элементов, высокая эксплуатационная надежность и долговечность.

Процедура наполнения системы теплоносителем:

1. Подготовка системы: перед началом эксплуатации система должна быть заполнена водой или антифризом (в регионах с отрицательными температурами).

2. Ввод теплоносителя: заполнение осуществляется через специальный заливной клапан, расположенный в нижней части контура, что обеспечивает постепенное вытеснение воздуха.

3. Контроль уровня: процесс продолжается до момента появления воды из воздухоотводчика или контрольного вентиля в верхней точке системы.

4. Удаление воздушных пробок: после заполнения необходимо выполнить развоздушивание системы через краны Маевского или автоматические воздухоотводчики.

5. Проверка герметичности: осуществляется визуальный осмотр соединений и контроль давления в системе (для закрытых контуров).

Следует отметить, что эффективность термосифонных систем несколько уступает решениям с принудительной циркуляцией, особенно в условиях: большой протяженности трубопроводов, сложной архитектуры системы (многоэтажные здания), необходимости высоких температур теплоносителя.

Для повышения эффективности работы требуются дополнительные улучшения системы: добавление четких этапов процесса наполнения, указание альтернативных теплоносителей (антифризов), включение элементов технического контроля (воздухоудаления, проверки герметичности), учет ограничений системы для разных условий эксплуатации.

Следует отметить, что системы с естественной циркуляцией демонстрируют несколько меньшую эффективность по сравнению с системами принудительной циркуляции, оснащенными циркуляционными насосами. Это обусловлено более низкой скоростью теплообмена и ограничениями по гидравлическому сопротивлению контура. Оптимальный выбор типа системы определяется комплексом факторов, включая: требуемую производительность; особенности архитектурного решения; климатические условия эксплуатации; экономическую целесообразность.

Интеграция тепловых насосов и солнечных коллекторов в единую систему позволяет создать высокоэффективное и экологически чистое решение для теплоснабжения. Солнечные коллекторы могут обеспечить значительную часть тепловой энергии в течение солнечных дней, а тепловые насосы будут компенсировать недостаток солнечной энергии в пасмурную погоду или ночью. Такой подход существенно снижает зависимость от ископаемого топлива, уменьшает выбросы CO_2 в атмосферу и повышает энергоэффективность всей системы в целом. Однако широкое внедрение таких комбинированных систем требует решения целого ряда технических и экономических задач. Необходимо также учитывать специфические климатические условия в каждом конкретном регионе, чтобы оптимизировать выбор типов ТН и СК, обеспечивая максимальную эффективность и надежность всей системы теплоснабжения.

В практике используется несколько схем комбинирования тепловых насосов и солнечных коллекторов [4]:

1. Последовательная схема предполагает следующий вид: солнечные коллекторы сначала нагревают буферную емкость, а затем полученное тепло с помощью ТН передается в систему отопления. Это позволяет максимально эффективно использовать солнечную энергию для обогрева помещений.

2. Параллельная схема предполагает независимую друг от друга работу агрегатов, но при этом оба типа устройства подключены к общему теплоаккумулятору. Это позволяет обеспечить гибкость в использовании источников тепла в зависимости от условий и потребностей.

Каскадная схема представляет собой многоуровневую систему, в которой

используются различные типы насосов и коллекторов, что может позволить достичь в

ы Комбинированные системы, несмотря на свою привлекательность с точки зрения экологичности и энергоэффективности, сталкиваются с рядом серьезных препятствий на пути к широкому внедрению.

к Во-первых, существует значительная зависимость от климатических условий. Эффективность работы как солнечных коллекторов, так и тепловых насосов, напрямую связана с температурой окружающего воздуха и солнечной инсоляцией. В регионах с недостатком солнечной энергии или холодными зимами эффективность таких комбинированных систем резко снижается, что делает их применение экономически нецелесообразным.

ф Во-вторых, интеграция комбинированных систем в уже существующие тепловые сети представляет собой сложную инженерную задачу.

к Несмотря на указанные трудности, практический опыт применения комбинированных систем теплоснабжения в разных странах демонстрирует их потенциал. В Датском городе Орхус работает гибридная система мощностью 12 МВт, сочетающая солнечные коллекторы и грунтовые тепловые насосы, которая покрывает 70% тепловой нагрузки целого района. В Германии, в рамках проекта Solarnet, комбинированные системы успешно используются для теплоснабжения многоквартирных домов, демонстрируя годовой КПД на уровне 85%. В России также реализованы пилотные проекты, например, в Московской области (коттеджный поселок с воздушными тепловыми насосами и солнечными коллекторами, обеспечивающие экономию 60% газа) и в Краснодарском крае (система теплоснабжения школы на базе вакуумных солнечных коллекторов и теплового насоса).

Заключение

Перспективы развития комбинированных систем теплоснабжения связаны с решением указанных выше проблем. Актуальными направлениями исследований являются разработка новых, более эффективных хладагентов для тепловых насосов, создание гибридных солнечных коллекторов/фотоэлектрических панелей для одновременного получения тепла и электроэнергии, совершенствование систем аккумулирования тепла для обеспечения непрерывной работы системы в условиях переменчивой солнечной инсоляции и температуры окружающей среды, а также интеграция таких систем в концепцию "умного города" с использованием современных систем управления и мониторинга. Только комплексный подход, направленный на решение всех этих задач, позволит обеспечить широкое и эффективное внедрение комбинированных систем теплоснабжения, способствуя достижению целей по энергосбережению и снижению углеродного следа.

Литература

1. European Heat Pump Association. Market Report 2022: [сайт] // European Heat Pump Association. – Brussels: EHPA, 2023. – 48 с. – URL: https://www.ehpa.org/market-report-2023/ (дата обращения: 10.04.2025).

2. Даффи, Дж. А. Солнечная инженерия тепловых процессов / Дж. А. Даффи, У. А. Бекман ; пер. с англ. – 4-е изд. – Хобокен, Нью-Джерси : Wiley, 2013. – 936 с. – ISBN 978-0-470-87366-3.
елиосистемы с естественной циркуляцией: [сайт] // SolarSoul. – URL:

4. Петров, К. М. Комбинированные системы теплоснабжения / К. М. Петров. – СПб. : Политехника, 2019. – 245 с.