Сунь Цзяминь, Пономарев Н. С., Уляшева В. М.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции. Сунь Цзяминь – аспирант, Пономарев Н. С. – зав. кафедрой, к. ф.-м. н., доцент, Уляшева В. М. – проф., д. т. н., профессор

Аннотация

Представлен обзор использования возобновляемых источников энергии для отопления зданий, их преимуществ и недостатков, особенностей их применения, уровня исследований, прогноз будущих тенденций развития и направлений исследований. Путем систематизации и анализа текущего состояния исследований в области систем отопления на основе возобновляемых источников энергии данная статья ставит целью предоставить теоретическую поддержку для развития систем теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии и стимулирования трансформации энергетической структуры в сторону устойчивого развития.

Системы отопления на основе возобновляемых источников энергии по сравнению с традиционными системами отопления с использованием ископаемых топлив имеют множество преимуществ, таких, как снижение выбросов парниковых газов, сокращение энергопотребления, повышение энергетической эффективности и т. д. [1]. Виды систем отопления на основе возобновляемых источников энергии представлены на рисунке 1 и включают геотермальные, тепловые насосы, солнечные системы отопления, биомассу и электрические системы отопления.

Рисунок 1 – Классификация технологий отопления с использованием возобновляемых источников энергии

В последние годы быстро развивающимся вариантом в области теплоснабжения является использование средне-глубинных геотермальных ресурсов в теплоснабжении с использованием тепловых насосов. Согласно геологической классификации

геотермальные ресурсы могут быть разделены на поверхностные (до 200 м), среднеглубинные 200–3000 м) и глубокие. Использование теплоты может быть разделено на конвективные и кондуктивные теплообменные системы (горизонтальное и вертикальное расположение). Глубокие геотермальные ресурсы обычно располагаются на глубинах более 3000 метров и могут представлять собой сухие горячие породы или гидротепловые системы [2].

Однако в современных городах подземное пространство является крайне ценным ресурсом, где трубопроводы, метро, подземные торговые центры и т. д. формируют так называемый "второй город". Поэтому использование геотермальной энергии должно быть гармонизировано с общим планированием города. Системы глубокого геотермального теплового насоса могут обеспечивать 3,28 кВт тепловой энергии на 1 кВт электроэнергии, при этом затраты составляют 72 рубля/(Вт·м), что в 4 раза больше, чем в поверхностные системы [3].

Китай является страной с наибольшим числом применений грунтовых тепловых насосов для отопления/охлаждения зданий. Крупные геотермальные тепловые насосы также могут быть использованы для генерации электрической энергии. Основные инвестиции в геотермальные тепловые насосы направлены на бурение термоскважин. Анализ инвестиций показывает: стоимость коллектора составляет 150 юаней/м^2, теплового насоса – 30 юаней/м^2, стоимость конечного оборудования – 30 юаней/м^2 [4].

Воздушные тепловые насосы могут быть использованы для производства горячей (холодной) воды при температуре окружающей среды не ниже –25° С. Для различных регионов от холодных до тропических может применяться оборудование на использовании теплоты различных водоемов или бытовых сточных вод с температурой воды от 8°С до 35°С. Так, в центре обработки данных (рисунок 2), характеризующимся значительными теплоизбытками, эффективность энергосбережения может быть повышена при использовании теплового насоса с водяным источником.

В северных городах Китая с центральным отоплением источником теплоты для тепловых насосов является обратная вода. Если источником теплоты в тепловой сети является котел или ТЭЦ, температура обратной воды обычно составляет 60 ~ 70°С [5]. Если источником теплоты в тепловой сети является тепловой насос, температура обратной воды обычно составляет 35 ~ 45°С, при этом конечная температура воды может достигать более 70 °С. Тепловые насосы могут стать в будущем одним из основных источников тепловой энергии, обслуживающих северные регионы, однако есть некоторые проблемы. Отопительный коэффициент теплового насоса должен быть достаточно высоким, не ниже 2,5.

В настоящее время для отопления зданий, в том числе и жилых, в основном используются тепловые насосы воздух – вода. Основной проблемой является обмерзание поверхности испарителя, последствиями которого являются блокировка каналов воздушного потока, уменьшение воздушного потока, низкая температура и снижение производительности [6]. Важным направлением исследований в области применения тепловых насосов должно стать то, как реализовать прерывистую работу тепловых насосов [7].

Солнечное отопление можно разделить на активное и пассивное (с использованием аккумуляции ограждающими конструкциями). В зависимости от теплоносителя активное солнечное отопление можно разделить на воздушное [8] и отопление горячей водой [9]. Солнечное воздушное отопление предназначено в основном для одноэтажных фермерских домов, его система быстро запускается и морозоустойчива, но имеет низкую эффективность.

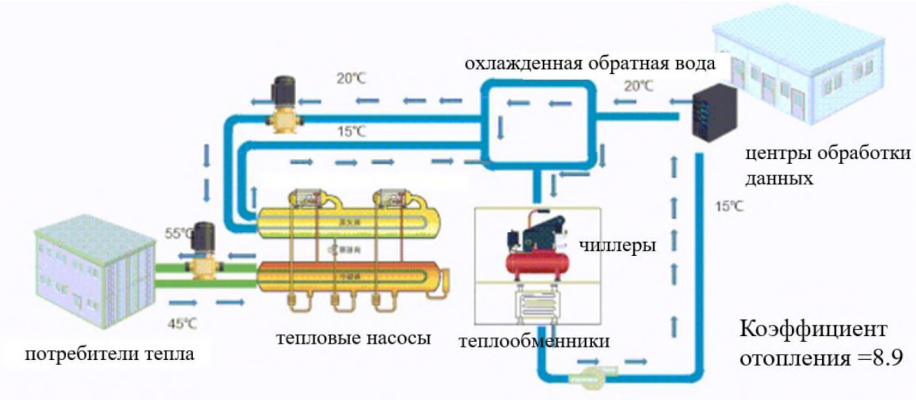

Рисунок 2 – Схема системы отопления с использованием отработанного тепла в центре обработки данных

Солнечное отопление горячей водой разработано на основе солнечного горячего водоснабжения, его система эффективна и проста в установке, но при неправильном управлении подвержена замерзанию и перегреву. Солнечное отопление имеет длительный срок службы и широкий спектр сценариев применения; при одинаковых условиях отопления оно позволяет сэкономить от 40 до 60 % энергозатрат. В настоящее время централизованное солнечное теплоснабжение становится тенденцией международного развития [10]. Теплоаккумулирующая мультиэнергетическая дополнительная система отопления (рисунок 3) является одним из типичных представителей солнечного отопления.

Межсезонная аккумуляция тепловой энергии, в том числе избытка тепловой энергии летом для использования на отопление, позволяет органично объединить энергию ветра, фотовольтаику, солнечную тепловую энергию, тепловые насосы и другие источники энергии, чтобы добиться надежного и эффективного хранения энергии для достижения цели отопления и энергоснабжения [11]. Нагревая сезонный теплоаккумулирующий водоем с помощью солнечных коллекторов, отработанная теплота когенерации также может храниться в сезонном теплоаккумулирующем водоеме для последующего использования в тепловом насосе. В настоящее время передовые мировые технологии межсезонного хранения тепла представлены на рисуноке 4, которые в основном включают стальной резервуар, тепловые накопители в бассейне большого объема (PTES), тепловые накопители на почве (BTES) и тепловые накопители в подземных водоемах (Aquifer) [12]. Из-за специфики технологии хранения в стальных резервуарах объем теплоаккумулятора обычно не превышает 7000 м^3.

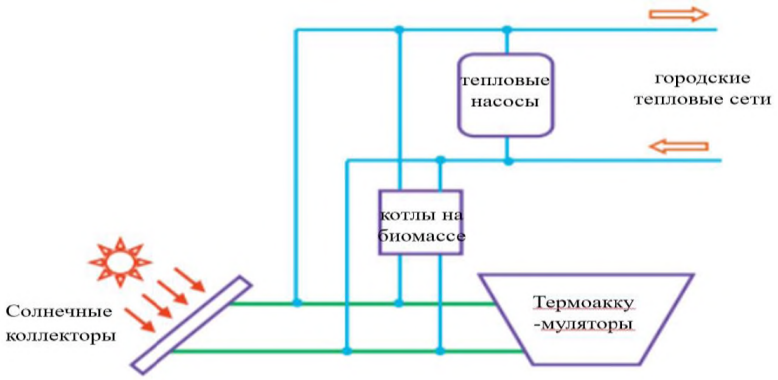

Рисунок 3 – Схема мультиэнергетической системы дополнительного отопления с солнечным теплоаккумулятором

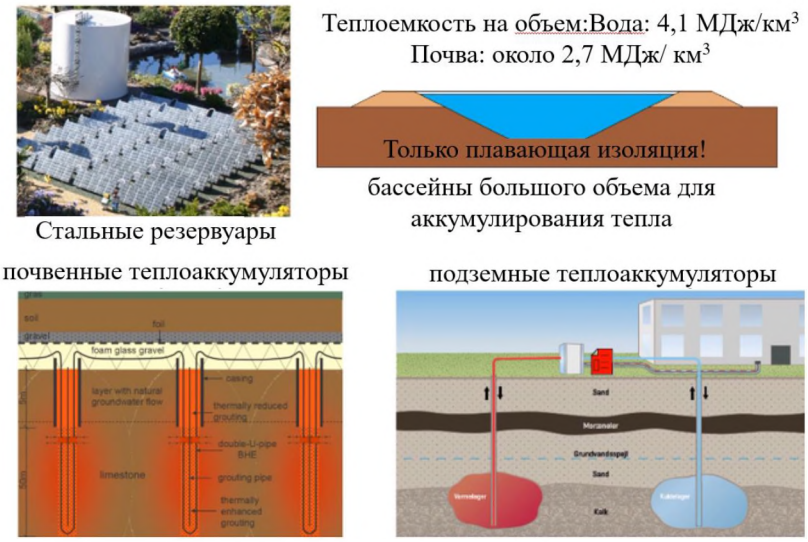

Рисунок 4 – Технология межсезонного хранения тепловой энергии

С помощью технологии сезонного хранения тепловой энергии можно реализовать термоэлектрическую связь тепловых электростанций для повышения гибкости электростанций; отработанное тепло электростанций можно хранить летом и забирать зимой, чтобы избежать потерь тепловой энергии и повысить экономичность электростанций; для повышения коэффициента использования возобновляемых источников энергии можно использовать мультиэнергетические дополнения, такие как энергия ветра, тепловые насосы, отработанное тепло и т. д.

Технология отопления биомассой подразделяется на четыре типа технологий в соответствии с различными способами обработки сырья: прямого сжигания соломы биомассы; пеллетный топливный котел биомассы; пиролиз биомассы и отопление биогазом биомассы. Среди них биогаз биомассы можно разделить на нормальный температурный тип (ниже 20° C), средний температурный тип (20° C~45° C) и высокотемпературный тип (50° C~65° C) в соответствии с различными температурами ферментации, и в настоящее время в коммерческих биогазовых проектах преобладает высокотемпературный тип из-за высокой скорости производства газа и короткого цикла ферментации высокотемпературного типа [13]. Высокотемпературный тип требует дополнительного подогрева резервуара для биогаза зимой, что ограничивает применение этого способа в холодных регионах для отопления.

Котел на пеллетном топливе из биомассы относится к котлам на биомассе, в которых солома и другая сельскохозяйственная и лесная биомасса спрессовывается в формованные виды топлива. Пеллетное топливо из биомассы имеет следующие преимущества: компактность, высокий КПД котла (порядка 85%), длительный срок службы, низкая стоимость установки, экологические преимущества. Недостаток пеллетного котла на биомассе связан с высокой стоимостью топлива, из-за высокого содержания воды в топливе из биомассы выбросы углерода превышают до 2 раз медиану Международной энергетической организации IEA, которая принимает значение 16 % [14].

В последние годы преобразование топлива из биомассы путем пиролиза получило более широкое распространение. Технологии газификации пиролиза биомассы можно разделить на технологии газификации с неподвижным слоем и с псевдоожиженным слоем, основанные на движении топлива в топке [15]. Газификатор с неподвижным слоем подходит для небольших систем газификации биомассы малой мощности. Преимуществами второго способа являются высокая эффективность

газификации, пригодность для крупных проектов газификации, адаптируемость к материалам из биомассы и высокое качество производимого газа. Узкими местами являются высокие инвестиционные затраты и потребление энергии, сложная эксплуатация, высокий спрос на газификационные агенты [16].

В настоящее время основные технологические направления электрического отопления включают электродный котел и водяной теплоаккумулятор, котел сопротивления и водяной теплоаккумулятор, твердое теплоаккумулирующее электронагревательное устройство, электродный котел и теплоаккумулятор фазового изменения и т.д. [17, 18].

При выборе крупномасштабного источника тепла для отопления, если единичная электрическая мощность превышает 4 МВт, то выбирается электродный котел, если единичная электрическая мощность ниже 4 МВт, то выбирается котел сопротивления.

Твердое теплоаккумулирующее электронагревательное устройство имеет электрический нагревательный элемент, интегрированный с теплоаккумулирующим устройством [19]. Твердотельные теплоаккумулирующие электронагревательные установки в настоящее время являются модульными. Малый модуль используется в гостиницах, офисных зданиях, распределенном электрическом отоплении. Большой модуль от 5 МВт до 90 МВт используется для централизованного электрического отопления.

Выводы

Применение нескольких видов энергии является наиболее важной особенностью систем отопления на основе возобновляемых источников энергии. Не существует фиксированной схемы или определенной системы использования нескольких видов энергии, ее необходимо адаптировать к местным условиям и разрабатывать конкретные программы в соответствии с местными ресурсами. Создание набора методов планирования систем отопления на основе возобновляемых источников энергии, а также управление и оптимизация многоэнергетических систем отопления в режиме реального времени – это ключ к решению проблемы долгосрочной устойчивости пользовательской стороны чистого отопления.

Список использованных источников

1. Lin, X. Dynamic modeling and uncertainty quantification of district heating systems considering renewable energy access / X. Lin [et al.] // Applied Energy. Elsevier, 2023. – Vol. 349. – P. 121–629.
2. Hu, Y. Opportunity and challenges in large-scale geothermal energy exploitation in China / Y. Hu, H. Cheng, S. Tao // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. Taylor & Francis, 2022. – Vol. 52, № 21. – P. 3813–3834.
3. Deng, J. Field test on energy performance of medium-depth geothermal heat pump systems (MD-GHPs) / J. Deng [et al.] // Energy and Buildings. Elsevier, 2019. – Vol. 184. – P. 289–299.
4. Bae, S. Economic and environmental analysis of ground source heat pump system according to operation methods / S. Bae, Y. Nam // Geothermics. Elsevier, 2022. – Vol. 101. – P. 102–373.
5. Третьякова, П. А. Показатели эффективности применения тепловых насосов в системе централизованного теплоснабжения/ П. А. Третьякова, А. А. Меньшикова, Т. В. Третьякова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2020. – No 2. – С.17–21/
6. Song, M. Review on improvement for air source heat pump units during frosting and

defrosting / M. Song [et al.] // Applied energy. Elsevier, 2018. – Vol. 211. – P. 1150–1170.
7. Sweetnam, T. Domestic demand-side response with heat pumps: controls and tariffs / T. Sweetnam [et al.] // Building Research & Information. Taylor & Francis, 2019. – Vol. 47, № 4. – P. 344–361.
8. Kabeel, A. E. Solar air heaters: Design configurations, improvement methods and applications–A detailed review / A. E. Kabeel [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier, 2017. – Vol. 70. – P. 1189–1206.
9. Shukla, R. Recent advances in the solar water heating systems: A review / R. Shukla [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier, 2013. – Vol. 19. – P. 173–190.
10. Perez-Mora, N. Solar district heating and cooling: A review / N. Perez-Mora [et al.] // International Journal of Energy Research. Wiley Online Library, 2018. – Vol. 42, № 4. – P. 1419–1441.
11. Gao, L. A review on borehole seasonal solar thermal energy storage / L. Gao, J. Zhao, Z. Tang // Energy procedia. Elsevier, 2015. – Vol. 70. – P. 209–218.
12. Yu, K. Coordinated planning and operation of inter seasonal heat storage and P2G devices integrated to urban multi-energy system / K. Yu [et al.] // Energy Reports. Elsevier, 2023. – Vol. 9. – P. 4617–4634.
13. Tabatabaei, M. Prominent parameters in biogas production systems / M. Tabatabaei [et al.] // Biogas: Fundamentals, Process, and Operation. Springer, 2018.– P. 135–161.
14. Wikipedia.Biomass.
15. Hanchate, N. Biomass gasification using dual fluidized bed gasification systems: A review / N. Hanchate [et al.] // Journal of cleaner production. Elsevier, 2021. – Vol. 280. – P. 123–148.
16. Min, F. An experimental investigation into the gasification reactivity and structure of agricultural waste chars / F. Min [et al.] // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. Elsevier, 2011. – Vol. 92, № 1. – P. 250–257.
17. Maruf, M. N. I. Classification, potential role, and modeling of power-to-heat and thermal energy storage in energy systems: A review. / M. N. I. Maruf [et al.] // Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2022. 53, 102553.
18. David, A. Heat roadmap Europe: large-scale electric heat pumps in district heating systems / A. David [et al.] // Energies. MDPI, 2017. – Vol. 10, № 4. – P. 578.