



СНИЖЕНИЕ СТОИМОСТИ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ ЗАМЕНЫ КОЛЛЕКТОРА ПЕРВОГО КОНТУРА

И. Халлыев, К.Х. Гильфанов

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
ezker@mail.ru

Резюме: Целью данной работы является снижение стоимости теплонасосной системы теплоснабжения путем использования солнечного коллектора в первичном контуре теплового насоса. Известно, что цена материала и монтаж коллектора первичного контура составляет 30% от общей стоимости теплонасосной системы теплоснабжения. Использование солнечного коллектора в первом контуре теплового насоса исключает необходимость бурения или подземного монтажа коллектора низкопотенциальной тепловой энергии. Отказ от классических видов коллекторов: горизонтальные коллекторы и вертикальные зонды, оказывает также положительный экологический эффект на почву. Комбинированное использование солнечного коллектора и теплового насоса добавит вариативности в компоновке теплонасосной системы теплоснабжения. В статье представлены результаты теоретического исследования целесообразности эксплуатации солнечных коллекторов на широтах Республики Татарстан. Приведен сравнительный анализ различных видов теплового насоса и солнечного коллектора, исходя из которого были подобраны основные компоненты комбинированной системы. Работа включает в себя расчеты необходимой мощности и площади поверхности поглощения солнечного коллектора. Приведены результаты сравнительного анализа производительности солнечного коллектора в зависимости от угла падения солнечных лучей и среднего уровня инсоляции. В результате работы, было определено, что использование солнечного коллектора в первичном контуре теплового насоса будет дешевле в 2 раза по сравнению с горизонтальными коллекторами и в 4 раза по сравнению с вертикальными зондами.

Ключевые слова: тепловой насос, система теплоснабжения, солнечный коллектор, площадь поглощения, инсоляция, низкопотенциальная энергия.

Для цитирования: Халлыев И, Гильфанов КХ. Снижение стоимости теплонасосной системы теплоснабжения путем замены коллектора первого контура // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 1. С. 28-37. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-1-28-37.

DECREASING COST OF HEAT PUMP HEAT SUPPLY SYSTEM BY CHANGING FIRST CIRCUIT COLLECTOR

I Hallyyev, KH Gilfanov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
ezker@mail.ru

Abstract: The aim of this work is to reduce the cost of the heat pump heating system by using a solar collector in the primary circuit of the heat pump. It is known that the price of material and installation of the primary circuit collector is 30% of the total cost of the heat pump heating system. The use of a solar collector in the primary circuit of a heat pump eliminates the need for drilling or underground installation of a low-potential thermal energy collector. The rejection of the classic types of collectors: horizontal collectors and vertical probes, also has a positive environmental effect on the soil. The combined use of a solar collector and a heat pump will add variability in the layout of the heat pump heating system. The article presents the results of a theoretical study of the feasibility of operating solar collectors at the latitudes of the Republic of Tatarstan. A comparative analysis of various types of heat pump and solar collector is given,

based on which the main components of the combined system were selected. The work includes calculations of the required power and surface area of the absorption of the solar collector. The results of a comparative analysis of the performance of the solar collector are presented, depending on the angle of incidence of sunlight and the average level of insolation. As a result of the work, it was determined that the use of a solar collector in the primary circuit of a heat pump will be twice cheaper compared to horizontal collectors and 4 times compared to vertical probes.

Keywords: heat pump, heat supply system, solar collector, absorption area, insolation, low potential energy.

For citation: Hallyyev I, Gilfanov KH. Decreasing cost of heat pump heat supply system by changing first circuit collector. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020; 22(1):28-37. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-1-28-37.

Введение

В условиях современной реальности делается значимый акцент на развитие возобновляемой энергетики, которая уже не является энергетикой будущего, а считается энергетикой настоящего (рис.1). В мировой практике давно используют альтернативные источники тепловой энергии – воздух, грунтовые воды, воды водоемов и энергию солнца. Извлекается тепловая энергия из окружающей среду с помощью теплонасосной системы теплоснабжения (ТСТ), основным компонентом которой является тепловой насос. Главными преимуществами данной системы является экологичность и экономичность.

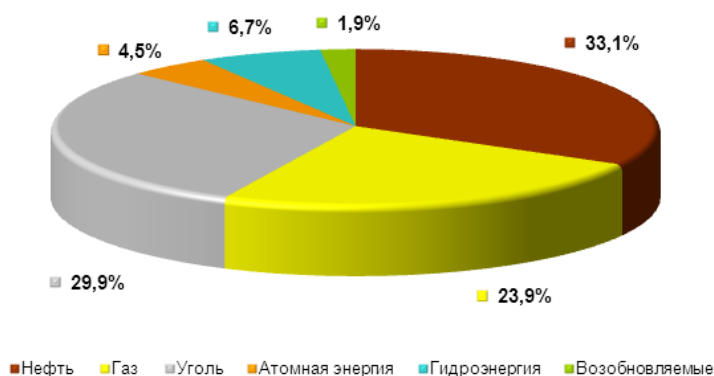


Рис. 1. Пропорциональное распределение потребления энергии в мире

Тепловой насос функционирует аналогично холодильной машине. Теплота отбирается от источников низкопотенциальной энергии, повышается её температура и передается к менее нагретому телу (рис. 2). В качестве источников низкопотенциальной энергии, в классических теплонасосных системах, используются грунт, вода и воздух [1].

Исходя из типа источника низкопотенциальной энергии и агрегатного состояния теплоносителя в третьем контуре теплового насоса, различают несколько видов теплонасосной системы теплоснабжения:

1. Грунт-вода
2. Грунт-воздух
3. Вода-вода
4. Вода-воздух
5. Воздух-воздух

Повышение температуры достигается благодаря воздушному компрессору, а соотношение температурных значений на входе теплового насоса и на его выходе называется коэффициентов преобразования температуры. Коэффициент преобразования температуры у различных тепловых насосов варьируется от 1,2 до 3.

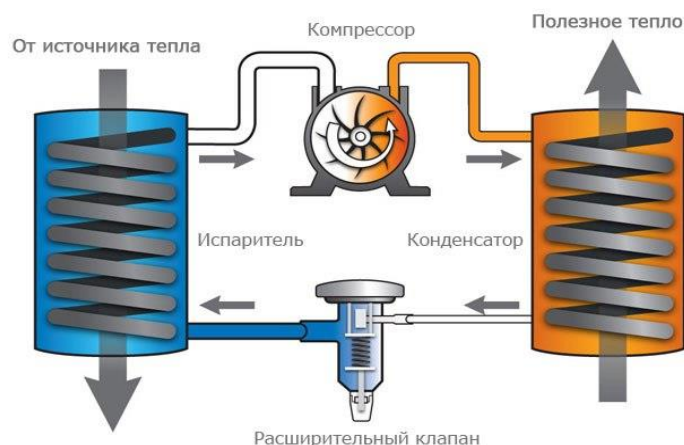


Рис. 2. Структурная схема и основные компоненты геотермального теплового насоса

Камнем преткновения в оперативном развитии ТСТ и её всеобщему использованию является дороговизна монтажа коллектора первого контура. Коллектор первого контура служит для отбора низкопотенциальной тепловой энергии из первичных источников, и представляет собой изолированные трубки, горизонтально смонтированные в глубине не менее 1,5 метров, или вертикальные зонды, для монтажа которых необходимо бурение до 20 метров (рис.3). В силу запрета на бурение во многих местностях, горизонтальные коллекторы являются более популярными. Вопреки своей популярности, горизонтальные коллекторы наносят экологический вред почве, так как почва над коллекторами со временем становится непригодной для растительности [2].



Рис. 3. Классические виды коллекторов теплового насоса. Горизонтальный коллектор и вертикальный зонд

С целью исключения экологического вреда и дорогостоящего монтажа коллекторов, предлагается использовать солнечный коллектор в первом контуре теплового насоса. В данной системе источником возобновляемой «низкопотенциальной» энергии является солнце. Если реализовать систему теплоснабжения только на солнечных коллекторах, то для удовлетворения тепловых нужд среднего коттеджного дома, необходимо установить солнечные коллекторы с общей площадью поглощения 180 м^2 . Учитывая, что оптимальной позицией для установки солнечного коллектора без уменьшения КПД является крыша дома, то монтаж столь большого количества солнечных коллекторов является невозможным [3].

После проведения теоретического сравнительного анализа между двумя разными видами солнечного коллектора, было решено использовать в первом контуре теплового насоса вакуумный солнечный коллектор (рис.4).

Преимущества вакуумного солнечного коллектора по сравнению с плоским:

- Высокий КПД 90-98%, который достигается благодаря лучшей тепловой изоляции – вакууму;
- Устойчивость к механическим природным воздействиям;
- Отсутствие необходимости в чистке от снега;
- Относительно низкая стоимость;
- Легкость в масштабировании;

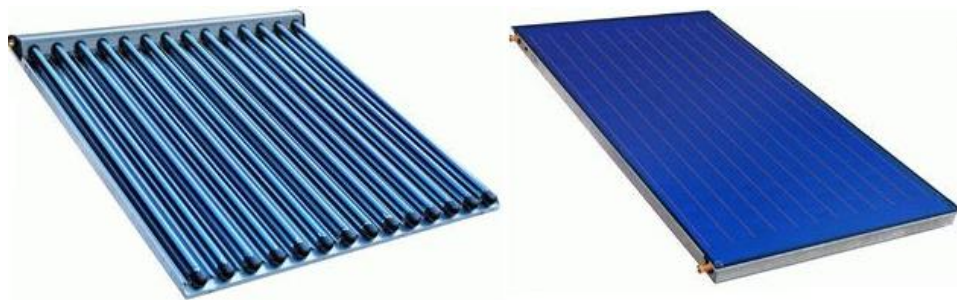


Рис. 4. Виды солнечных коллекторов. Вакуумный и плоский солнечные коллекторы.

Методы исследования

В данной работе были использованы теоретический и математический методы исследования. Исходя из теоретического анализа выявлено, что оптимальным видом теплового насоса для данной комплексной системы является тепловой насос «Грунт - вода», а для отбора тепла использовать вакуумный солнечный коллектор.

Для прикладного математического анализа, в первую очередь необходимо определить тепловые нужды целевого помещения. При расчете тепловых нужд помещения учитываются объем помещения, обобщенный коэффициент теплопередачи здания и разница между температурами [4].

Расчет тепловых нужд Q помещения:

$$Q = k \cdot V \cdot \Delta T$$

где k – обобщенный коэффициент теплопередачи здания. Для стены из кирпича в один слой $k = 1,5$; V – объем отапливаемого помещения; ΔT – разница между наружной и внутренней температурами.

Необходимо учитывать самую низкую возможную наружную и целевую внутреннюю температуры:

$$k = 1,5$$

$$V = S \cdot h = 100 \cdot 3 = 300 \text{ м}^3$$

$$\Delta T = |T_{\text{вн}} - T_{\text{внт}}| = |-35 - 25| = 60^\circ\text{C}$$

$$Q = 1,5 \cdot 300 \cdot 60 = 27 \text{ кВт}$$

Исходя из величины тепловых нужд, подбирается тепловой насос, который способен удовлетворить данные нужды, и обладает необходимой производительностью. Был выбран тепловой насос с мощностью 27 кВт, и произведен расчет для определения требуемой мощности от коллектора.

Расчет получаемой (необходимой) тепловой мощности от коллектора:

$$Q_o = Q_{wp} - P$$

где Q_o – необходимая тепловая мощность солнечного коллектора; Q_{wp} – тепловая мощность теплового насоса; P – электрическая мощность, затрачиваемая на работу компрессора (нагрев фреона).

Для

$$Q_{wp} = 27 \text{ кВт} \Rightarrow P = 7,3 \text{ кВт}$$

$$Q_o = 27 - 7,3 = 19,7 \text{ кВт}$$

После определения необходимой тепловой мощности, получаемой от коллектора первого контура, производим расчет площади поглощающей поверхности солнечного коллектора.

Расчет площади поглощающей поверхности солнечного коллектора:

$$P = P_m \cdot \eta \cdot S$$

где: P – производительность солнечного коллектора; η – коэффициент полезного действия; Производители указывают от 0,9 до 0,98; S – площадь поглощения коллектора

$$P_m = \sin(\alpha) \cdot P_{ins}$$

Если солнечный коллектор установлен перпендикулярно к лучам солнца:

$$\sin(90^\circ) = 1 \Rightarrow P_m = P_{ins}$$

где P_{ins} – средняя дневная инсоляция.

Для Республики Татарстан: $P_{ins} \approx 3,6 \frac{\text{ч}}{\text{сутки}}$

$$P = P_{ins} \cdot \eta \cdot S \Rightarrow S = \frac{P}{P_{ins} \cdot \eta} = \frac{19,7}{3,6 - 0,95} = 7,43 \text{ м}^2,$$

$$\eta = 0,95 \Rightarrow S = 7,43 \text{ м}^2.$$

Результаты

С использованием математического метода исследования, исходя из тепловых нужд экспериментального помещения с объемом $V=300 \text{ м}^3$, были получены следующие результаты расчета:

Объем тепловых нужд Q помещения:

$$Q = 1,5 \cdot 300 \cdot 60 = 27 \text{ кВт}.$$

Получаемая (необходимая) тепловая мощность коллектора с учетом затрачиваемой энергии на работу компрессора теплового насоса:

$$Q_o = 27 - 7,3 = 19,7 \text{ кВт}.$$

Площадь поглощающей поверхности солнечного коллектора:

$$S = 7,43 \text{ м}^2$$

Исходя из формулы расчета поглощающей поверхности и производительности солнечного коллектора, можно построить графики их зависимости от среднего уровня инсоляции и угла падения солнечных лучей на поверхность солнечного коллектора.

Изменение требуемой величины площади поглощающей поверхности солнечного коллектора для генерации фиксированной тепловой мощности P в зависимости от средней инсоляции (рис. 5):

$$S = \frac{P}{P_{ins} \cdot \eta}$$

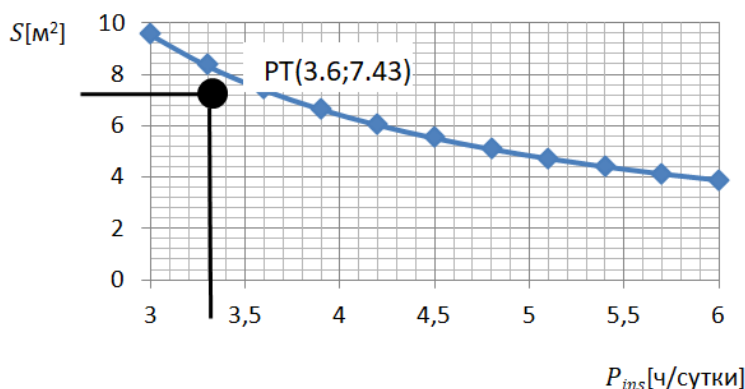


Рис. 5. График зависимости площади поглощающей поверхности солнечного коллектора от среднедневной инсоляции

Зависимость производительности солнечного коллектора от угла падения солнечных лучей при постоянной площади поглощающей поверхности и неизменной среднедневной инсоляции (рис. 6).

$$P = \sin(\alpha) \cdot P_{ins} \cdot \eta \cdot S.$$

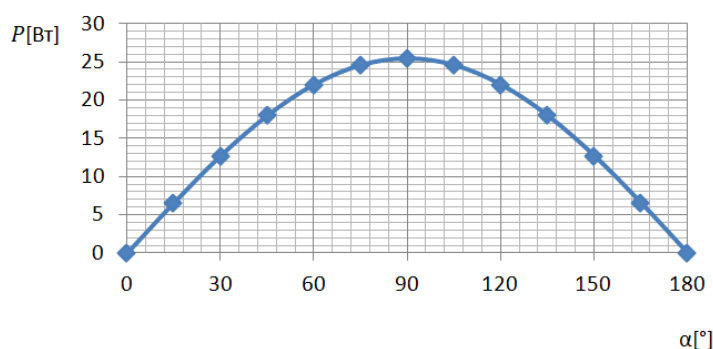


Рис. 6. График зависимости производительности солнечного коллектора от угла падения солнечных лучей

Обсуждение

Представленные выше графики наглядно иллюстрируют эффективность использования солнечного коллектора и изменение его производительности в зависимости от климатических условий местности и правильности монтажа [6].

График зависимости площади поглощающей поверхности солнечного коллектора от среднесуточной инсоляции местности необходим для определения целесообразности эксплуатации солнечного коллектора в ТСТ. Исходя из карты инсоляции России, можно определить, что в регионах с уровнем инсоляции менее 1700 час/год, использование солнечного коллектора является не целесообразным (рис.7).



Рис. 7. Карта инсоляции регионов России

Исходя из показаний графика зависимости производительности солнечного коллектора от угла падения солнечных лучей, можно прийти к очевидному выводу, что производительность будет наилучшим, если коллектор установлен перпендикулярно к солнечным лучам. При падении солнечных лучей на поверхность коллектора под прямым углом, производительность солнечного коллектора будет равной его номинальной мощности (рис. 8). Основной проблемой является то, что на протяжении календарного года высота солнца над горизонтом не остается неизменным [7].

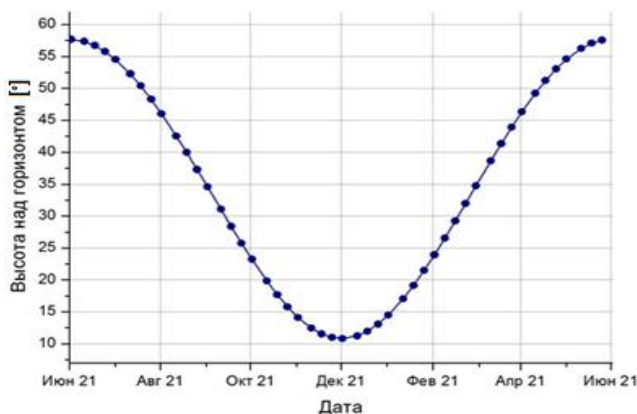


Рис. 8. Динамика высоты солнца над горизонтом на протяжении календарного года

Исходя из данного условия, наилучшим решением является установка солнечного коллектора на динамичной конструкции, и оборудовать базовой системой слежения за уровнем солнца, которая будет «ловить» оптимальный угол падения солнечных лучей [8]. В случае необходимости установки большого количества солнечных коллекторов (более 50 вакуумных трубок), то альтернативным вариантом достижения положительного баланса является установка под таким углом, чтобы в самое холодное время года солнечные лучи падали под углом 90° [9].

При получении необходимой среднегодовой инсоляции и правильном монтаже солнечного коллектора, такая замена в первичном контуре теплового насоса может привести к значительному снижению стоимости всей теплонасосной системы теплоснабжения [10].

Сравнительный анализ использования в первичном контуре теплового насоса солнечного и классических видов коллектора

Исходя из требуемого значения мощности, можно рассчитать стоимость коллектора и его монтажа для трех вариантов: горизонтальный коллектор, вертикальный зонд и солнечный коллектор [11].

Необходимая (получаемая) мощность от коллектора:

$$Q_o = Q_{wp} - P = 27 - 7,3 = 19,7 \text{ кВт.}$$

Расчет стоимости горизонтального коллектора:

Съем тепла с каждого метра трубы зависит от многих параметров: глубины укладки, наличия грунтовых вод, качества грунта и т.д. Ориентировочно можно считать, что для горизонтальных коллекторов он составляет 20 Вт/м. Более точно: сухой песок – 10, сухая глина – 20, влажная глина – 25, глина с большим содержанием воды – 35 Вт/м [12].

Суммарная длина труб коллектора L и общая площадь участка под него A рассчитываются по формулам:

$$L = \frac{Q_o}{q} = \frac{19,7}{0,02} = 985 \text{ м}$$

где: q – удельный (с 1 м трубы) теплосъем. $q = 20 \text{ Вт/м}$.

$$A = L \cdot da = 985 \cdot 0,75 = 738,75 \text{ м}^2,$$

где: da – расстояние между трубами (шаг укладки), $da = 0,75 \text{ м}$.

Общая стоимость горизонтального коллектора [13]:

Цена металлопластиковой трубы с внешним диаметром 32 мм для горизонтального коллектора равна 250 руб/м. Стоимость необходимой длины составит 246 250 рублей.

Монтаж горизонтального коллектора будет стоить 155 рублей за метр, и для общей длины равен 152 675 рублей.

Итоговая стоимость материала для горизонтального коллектора и его монтаж составит 398 925 рублей.

Расчет стоимости вертикального зонда:

При использовании вертикальных скважин глубиной от 20 до 100 м в них погружаются U-образные металлопластиковые или пластиковые (при диаметрах выше

32 мм) трубы. Как правило, в одну скважину вставляется две петли, после чего она заливается цементным раствором. В среднем удельный теплосъем такого зонда можно принять равным 50 Вт/м [14].

Аналогичным образом, но с учетом изменения удельного теплосъема, проводим расчет необходимой длины коллектора:

$$L = \frac{Q_o}{q} = \frac{19,7}{0,05} = 394 \text{ м.}$$

Для установки коллектора необходимо пробурить четыре скважины глубиной по 100 м. В каждой из них размещаем по две петли из металлопластиковой трубы. Учитывая принцип U-образной установки вертикальных зондов, всего устанавливаются 4 контура по 200 м [15].

Общая стоимость вертикального зонда:

стоимость 100 метровой U-образной трубы для использования в качестве вертикального зонда равна 25 350 рублей. Стоимость трубы на 394 м будет равна 101 400 рублей.

Стоимость бурения скважин в Республике Татарстан ориентировочно равна 1500 руб/ погонный метр. Общая стоимость бурения 4 скважин глубиной по 100 м составит 600 000 рублей.

Итоговая стоимость материала для вертикального зонда и его монтажа составит 701 400 рублей.

Расчет стоимости солнечного коллектора

В пункте 2.3 было определена площадь поглощающей поверхности солнечного коллектора равная $S = 7,4 \text{ м}^2$. Цена солнечного коллектора SCH-30 с площадью поглощения $39,6 \text{ м}^2$ (30 вакуумных трубок) равна 45 000 рублей. Для удовлетворения расчетных требований понадобятся 2 коллектора типа SCH-30, стоимость которых составит 90 000 рублей.

Для монтажа солнечных коллекторов понадобятся:

- металлопластиковые трубы с диаметром 20 мм, длина которых зависит от места монтажа солнечного коллектора и теплового насоса, и варьируется от 20 до 50 метров;
- различные соединительные элементы, фитинги и переходники;
- расширительные баки. К каждому коллектору монтируется по одному расширительному баку;

Стоимость всех необходимых компонентов для монтажа солнечных коллекторов не превышает 30 000 рублей.

Стоимость монтажа солнечного коллектора зависит от мощности оборудования, его комплектации и условий работ и составляет от 25% от его стоимости. В нашем случае стоимость монтажа составит 22 500 рублей.

Итоговая стоимость солнечного коллектора, необходимых для монтажа компонентов и услуг по монтажу составит 142 500 рублей (табл).

Таблица

Анализ стоимости разных видов коллектора первичного контура

Тип коллектора	Стоимость материала, руб.	Стоимость монтажа, руб.	Общая стоимость, руб.
Горизонтальный коллектор	246 250	152 675	398 925
Вертикальный зонд	101 400	600 000	701 400
Солнечный коллектор	120 000	22 500	142 500

Заключение

В данной работе были проведены теоретическое и математическое исследование для определения целесообразности использования солнечного коллектора в первом контуре теплонасосной системы теплоснабжения. В результате исследований были изучены и подобраны оптимальные виды теплового насоса и солнечного коллектора для совместной эксплуатации. В работе представлены результаты расчетов мощности теплового насоса и площади поверхности солнечного коллектора для удовлетворения тепловых нужд целевого помещения. Исходя из расчетных формул и результатов, построены графики зависимости

площади поглощающей поверхности солнечного коллектора от средней дневной инсоляции и его производительности от угла падения солнечных лучей.

В результате изучения карты инсоляции России и динамики высоты солнца над горизонтом, были предложены методы определения целесообразности использования солнечного коллектора и варианта его монтажа для достижения оптимальных результатов.

Результаты стоимостного анализа для разных типов коллектора:

- стоимость горизонтального коллектора: 398 925 рублей;
- стоимость вертикального зонда: 701 400 рублей;
- стоимость солнечного коллектора: 142 500 рублей.

Выводы:

1.Использование солнечного коллектора в первичном контуре теплового насоса приводит к уменьшению затрат на монтаж коллектора низкопотенциальной энергии как минимум в 2,5 раза. Затраты на монтаж коллектора первичного контура составляют 30% от общей стоимости теплонасосной системы теплоснабжения.

2.Классические коллекторы, в частности вертикальные зонды, могут быть использованы не во всех регионах России, в силу запрета на бурение.

3.Исключение необходимости в подземном монтаже не только сокращает длительность монтажа всей системы, но и также позволяет избежать вреда почве, которая становится не пригодной для растительности, если использовать классические виды коллекторов. Почта становится не пригодной для растительности из-за повышения среднегодовой температуры грунта.

В дальнейшем планируется провести анализ зависимости производительности данной системы от видов используемых теплоносителей и хладагентов.

Литература

1. Кристиан Винтелер.11-я Конференция МЭА по тепловым насосам 2014 / тепловые насосы, системы солнечной энергии и хранения льда - моделирование и сезонные характеристики / Монреаль (Квебек).IEA-ETSA Pand IRENA Technology Brief E17. Thermal Energy Storage/.AndreasHauer, Канада: 2014. 20-25 стр.
2. Andreas Hauer. Modeling of combined solar thermal, heat pumps, ice storage systems and heat recovery in wastewater // Proceedings of the EuroSun 2014 conference. Bayern: 2013. pp. 5-8.
3. Carbonell D., Philippen D., Granzotto M. Simulation of Combined Solar Thermal, Heat Pump, Ice Storage and Waste Water Heat Recovery Systems // Conference Proceed ings EuroSun 2014. Rapperswil, Switzerland: 2014. pp.63-80.
4. Халлыев И., Таначев Н. Теплонасосная система с использованием солнечного коллектора // 25 Международная научно–техническая конференция студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика". Москва: 2019. С. 23-30.
5. Халлыев И., Таначев Н. Комбинированная система теплоснабжения тепловой насос - солнечный коллектор // ЭНЕРГИЯ–2019 14 всероссийская (международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Иваново: 2019. С. 30-33.
6. Гришков АА. Совершенствование режимных и технологических характеристик систем теплоснабжения малоэтажных жилых зданий при использовании источников низкопотенциальной теплоты. Пермь: 2010. С. 53-55.
7. Елистратов С.Л.Комплексное исследование эффективности тепловых насосов. Новосибирск: 2010. С. 78-80.
8. Alves-Filho O. Heat Pump Dryers: Theory, Design and Industrial Applications // CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. С. 30-50.
9. Хавьер Ф. Урчегуя. Возобновляемое отопление и охлаждение // Политехнический университет Валенсии: 2016. С.13-20.
10. ВоротницкийВ.Э. Системы рекуперации тепла трансформаторов и автотрансформаторов 220-750 кВ энергии одной сети. Издание Наука и технология. Центр ФСК ЕЭС (Москва). 2016. № 6. С. 32-42.
11. Сёдлов А. Анализ эффективности; использования парокомпрессионных теплонасосных установок в-теплофикационных системах // Энергосбережение и водоподготовка. 2015.С. 20-30.
12. Бурков АИ., Гришков АА., Кротов ВМ. Исследовательская установка для определения энергетического потенциала грунтового массива и заглубленных строительных конструкций при использовании теплонасосных систем в целях климатизации зданий. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы 7 Междунар. науч. конф. Волгоград: ВолгГАСУ, 2009. С. 83-90.
13. С.Дж. Рис. Приемущества наземных системах тепловых насосов // Издательство Woodhead

2016. С.78-80.

14. Определение оптимальных параметров оборудования и работы систем теплоснабжения с применением тепловых насосов // Качество внутреннего воздуха и окружающее среды. Материалы 7 Международной научной конференции. Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ. 2009. С. 55-60.

15. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения жилых зданий – один из путей снижения энергозатрат // Строительство и образование. 2009. С. 33-40.

Авторы публикации

Халлыев Ишанберды – аспирант кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств», Казанский Государственный Энергетический Университет.

Гильфанов Камилъ Хабибович – д-р. техн. наук., профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств», Казанский Государственный Энергетический Университет.

References

1. Christian Winteler. 11th IEA Heat Pump Conference 2014 / *heatpump, solar energy and ice storage systems - modelling and seasonal performance*. Montréal (Québec) Canada: 2014. 20-25 p.
2. Andreas Hauer. IEA-ETSAP and IRENA Technology Brief E17. *Thermal Energy Storage*. Bayern: 2013. pp. 5-8 p.
3. Carbonell D, Philippen D, Granzotto M. Conference Proceed ings EuroSun 2014. Simulation of Combined Solar Thermal, Heat Pump. *Ice Storage and Waste Water Heat Recovery Systems*. Rapperswil, Switzerland: 2014. pp. 63-80.
4. Khallyev I, Tanachev N. 25th International scientific and technical conference of students and post-graduate students "Radioelectronics, Electrical Engineering and Energy". Heat pump system using a solar collector. Moscow: 2019. pp. 23-30
5. Khallyev I, Tanachev N. ENERGY-2019 14th All-Russian (international) scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists. *Combined heat supply system heat pump - solar collector*. Ivanovo: 2019. pp. 30-33.
6. Grishkov AA. *Improvement of regime and technological characteristics of heat supply systems of low-rise residential buildings using sources of low potential heat*. Perm: 2010. pp. 53-55.
7. Elistratov SL. *A comprehensive study of the efficiency of heat pumps*. Novosibirsk: 2010. pp. 78-80.
8. Alves-Filho O. *Heat Pump Dryers: Theory, Design and Industrial Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. pp. 30-50.
9. Javier F. Urchueguia. *Renewable Heating and Cooling*. Polytechnic University of Valencia: 2016. pp. 13-20.
10. Vorotnitsky V. Heat recovery systems of transformers and autotransformers 220-750 kb energy of one network. *Edition Science and Technology*. Center FGC UES (Moscow). 2014. pp. 32-42.
11. Performance analysis; the use of steam compression heat pump units in heat-supply systems / AC Sadlov, et al. *Energy Saving and Water Treatment*. 2015. pp. 20-30.
12. Burkov AI, Grishkov AA, Krotov VM. Research facility for determining the energy potential of the soil mass and buried building structures using heat pump systems for the climate control of buildings. *Indoor Air and Environment Quality: Material. 7 International scientific conf*. Volgograd: VolgGASU, 2009. pp. 83-90.
13. Rees SJ. *Advances in Ground-Source Heat Pump Systems*. Woodhead Publishing: 2016, 78-80p.
14. Determination of the optimal parameters of equipment and the operation of heat supply systems using heat pumps. *Internal air quality and environment: Mater. 7 International Scientific conf*. Volgograd: VolgGASU Publishing House. 2009. pp. 78-80.
15. The use of heat pumps in heating systems of residential buildings is one of the ways to reduce energy consumption. *Material. 7. Construction and education*. 2009. pp. 33-40.

Authors of the publication

Ishanberdi Halyyev – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Email: ezker@mail.ru.

Kamil Kh. Gilfanov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Поступила в редакцию

22 октября 2019г.