

УДК 631. 2. 662. 99

Исаханов Е.М., Шыныбай Ж.С.

Казахский национальный аграрный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ДОМ

Аннотация

В статье рассмотрена последовательность построения математической модели теплонасосной системы теплоснабжения сельских домов с грунтовым теплообменником. Приведены результаты моделирования теплонасосной системы для сельского дома. Теплонасосная система отопления сельских домов дает существенный резерв экономии тепловой энергии.

Ключевые слова: теплонасосная система, возобновляемая энергия, грунт, грунтовой теплообменник, моделирование, экономия энергии.

Введение

Система обеспечения микроклимата зданий и сооружений, в том числе сельских домов является энергоемкой. На обеспечение микроклимата сельских домов затрачивается до 80% всей потребляемой энергии. В то же время для энергоснабжения сельских домов возможно использование теплонасосных систем, что соответствует политике «зеленой энергетики». Теплонасосная система теплоснабжения, как правило, состоит из системы сбора низкопотенциального тепла, собственно тепловых насосов и традиционных источников тепловой энергии и служит для покрытия пиковых нагрузок. Эффективным может оказаться комбинация тепловых насосов с другими источниками возобновляемой энергии, например, комбинация грунтового теплообменника и теплового насоса, где первое устройство повышает температуру теплоносителя, а второе производит глубокое извлечение энергии из массива грунта.

Массив грунта фактически представляет собой тепловой аккумулятор неограниченной емкости, тепловой режим которого формируется под воздействием солнечной радиации и потока радиационного тепла, поступающего из земных недр. На сравнительно небольшой глубине от поверхности имеются слои грунта, температурный потенциал которых в холодное время года значительно выше, чем у наружного воздуха, а в жаркое время года - значительно ниже.

Большие возможности заключает в себе использование теплоаккумулирующих свойств грунтового массива для кондиционирования воздуха в жаркий период года. В этом случае грунт охлаждает теплоноситель, нагреваемый внутренним воздухом помещения, и повышает свою температуру. Таким образом, в течение лета в грунте накапливается тепло, подводимое теплоносителем грунтового теплообменника, и к отопительному сезону тот имеет повышенный температурный потенциал, что значительно повышает эффективность работы теплонасосной системы в целом.

Использование тепла верхних слоев земли для теплоснабжения зданий при мощности системы теплосбора, полностью покрывающей потребности здания в тепле и холоде, позволит снизить затраты энергии на отопление и кондиционирование на 50...60% [1, 2].

Материалы и методы

Целесообразность применения систем теплоснабжения, использующих тепло грунта, определяется в каждом конкретном случае численным моделированием, учитывающим все теплотехнические особенности грунта.

В теплонасосной системе теплоснабжения грунтовым теплообменником используется тепловая энергия, накопленная в грунте за счет нагрева ее Солнцем или другими источниками. Аккумулированная грунтом теплота трансформируется с помощью горизонтально (грунтовые коллекторы) или вертикально (грунтовые зонды) проложенных грунтовых теплообменников. Количество трансформируемого тепла, размер необходимой поверхности для расположения грунтового коллектора зависит от теплофизических свойств грунта и климатических условий местности. Такие теплофизические свойства как теплоемкость и теплопроводность, очень сильно зависят от состава и состояния грунта.

Изучение грунта как источника тепла показывает следующее:

1. По данным разных исследователей тепловой поток в грунте с 1 погонного метра трубы составляет 10...60 Вт/м;
2. Оптимальное значение глубины и шага размещения труб составляет соответственно 1.5 и 2.0 м;
3. В некоторых случаях из-за взаимного влияния труб их шаг увеличивается. При размещении труб на меньшей глубине производительность теплового насоса может снижаться на 5% на каждой градус понижения температуры грунта.

Наличие грунтовых вод на незначительной глубине резко повышает производительность системы теплосбора, так как осуществляется постоянный приток тепла за счет обмывания ее грунтовыми водами. Кроме того, наличие влаги в почве повышает ее теплопроводность, и улучшает контакт грунта с трубами [3].

Поскольку в настоящее время не существует стандартных теплообменников для извлечения теплоты из грунта, то такие системы должны проектироваться для каждого природно-климатического региона и конкретных случаев отдельно.

Расход теплоты на отопление определяем по выражению

$$Q_{от} = q_{от} V (t_{вн} - t_{но}) \eta, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $q_{от}$ - удельная отопительная характеристика здания, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; V - объем здания по наружному обмеру, м^3 ; $t_{вн} = 18 ^\circ\text{C}$ - расчетная зимняя температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$; η - поправочный коэффициент. $\eta = 1,2...1,4$.

Расход холода на кондиционирование воздуха, кВт.

$$Q_{охл} = q_{охл} \cdot S_{п} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (2)$$

где - $q_{охл} = 65...70 \text{ Вт}/\text{м}^2$; $S_{п}$ - жилая площадь здания, м^2 .

Хладопотребление дома за период кондиционирования воздуха составит, $\text{кВт}\cdot\text{ч}$;

$$W_{охл} = Q_{охл} \cdot \tau_{охл}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}. \quad (3)$$

Расход теплоты на бытовое горячее водоснабжение,

$$Q_{г.в} = 0,278 \cdot N \cdot q_{ер} \cdot C_{в} (t_{г} - t_{х}) (1 + \beta_{т}) / 24 \cdot 10^3, \text{ кВт}, \quad (4)$$

где N - число жителей; $q_{ер} = 105 \text{ кг}/(\text{сутки чел})$ - расход воды одним человеком в сутки отопительного периода; $C_{в}$ - удельная теплоемкость воды, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

$t_r = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ - средняя температура горячей воды; $t_x = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура холодной воды;
 $\beta_r = 0.1$ – коэффициент, учитывающий потери тепла;

Расход теплоты на горячее водоснабжение в летнее время:

$$Q_{г.в} = Q_{г.в} \beta_{л} \frac{t_2 - t_{хл}}{t_2 - t_{хз}}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

где $t_{хл}$ и $t_{хз}$ - зимняя и летняя температура воды в трубопроводе, $^{\circ}\text{C}$; $\beta_{л} = 0.8$ – коэффициент снижения расхода тепла в летнее время;

Продолжительность зимнего горячего водоснабжения примем 212 суток (октябрь...апрель) по 16 часов в сутки.

Общее теплоснабжение за год, кВт·ч.:

- для системы отопления и зимнего горячего водоснабжения;

$$W'_г = W_{от} + W_{гв}, \text{ кВт·ч}. \quad (6)$$

- для системы теплоснабжения и зимнего горячего водоснабжения.

$$W''_г = W_{от} + W_{охл} + W_{г.в}, \quad (7)$$

Максимальная мощность на отопление и горячее зимнее водоснабжение определяем по соотношению, кВт.

$$Q_{\Sigma} = Q_{от} + Q_{г.в} \text{ кВт}. \quad (8)$$

На выбранной глубине массив грунта представляет собой теплоаккумулирующую среду с определенной удельной теплоемкостью в зависимости от типа грунта. Поверхность такого массива вступает в контакт с теплоносителем т.е. с воздушной средой, в результате чего происходит теплоотдача. Холодный воздух проходя по теплообменнику нагревается, а теплый воздух охлаждается.

Количество теплоты в массиве грунта, кДж ,

$$Q = G_{уд} M t, \quad (9)$$

где $G_{уд}$ - удельная теплоемкость грунта, кДж / (кг·К);

$M = F \gamma L$ – масса грунта, прилегающего грунтовому теплообменнику, кг;

F – площадь сечения массива грунта вокруг теплообменника, м^2 ;

γ – плотность грунта, $\text{кг}/\text{м}^3$;

L – длина теплообменника, м;

t – средняя температура массива грунта, прилегающего теплообменнику.

Количество теплоты, кДж, необходимое для нагрева воздуха, за 1 ч,

$$Q_v = \gamma_1 C_v W (T_k - T_{п}), \quad (10)$$

где γ_1 – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_v – удельная теплоемкость воздуха, кДж / (кг·К);

W – требуемое количество воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$T_k, T_{п}$ – температуры воздуха в канале теплообменника и в помещении сельского дома.

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкции теплообменника,

$$R_0 = n (t_b - t_n) / (\Delta t_n \cdot \alpha_v), \quad (11)$$

где n – коэффициент, значение которого зависит от положения поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху; для перекрытий, расположенных ниже уровня земли,

$$n = 0,4;$$

t_v – расчетная температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

t_n – расчетная температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_n – перепад температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности воздушного канала на входе в помещение, $^{\circ}\text{C}$;

α_v – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Количество теплоты, передаваемое в воздушный канал из массива грунта, кДж/ч ,

$$Q_k = K P_v L (T_{gr} - T_n), \quad (12)$$

где $K = 1 / R_0$ – коэффициент теплоотдачи, $\text{кДж} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{K})$;

P_v – внутренний периметр воздушного канала, м ;

L – длина теплообменника, м ;

T_{gr} , T_n – температуры грунта на глубине размещения воздушного канала и наружного воздуха.

С учетом того, что количество теплоты Q_v , необходимое для нагрева воздуха, должно быть равно количеству теплоты Q_k , попадающей в теплообменник из внешнего источника, общая длина воздушного канала,

$$L = n (t_v - t_n) Q_v / [P_v L (T_{gr} - T_n) \Delta t_n \cdot \alpha_v] \quad (13)$$

Результаты исследований и их обсуждение

На основе полученных выражений было выполнено моделирование с применением программы «Maple» теплонасосной системы теплоснабжения сельского жилого дома и отопительно-вентиляционной системы овчарни с использованием теплоты грунта. Результаты показали, что для теплоснабжения многоквартирного жилого сельского дома ($F = 60 \text{ м}^2$, $V = 140 \text{ м}^3$) в условиях Алматинской области достаточна теплонасосная система с потребляемой мощностью 2,2 кВт. При этом, экономия топлива за отопительный сезон (4000ч) – 2,51 т. условного топлива. Отопительно-вентиляционная система овчарни, выполненная подземными воздуховодами ($d=0,22\text{м}$, $L=35\text{м}$) может обеспечить требуемый микроклимат в помещении. При этом подогрев приточного холодного воздуха на 10°C осуществляется теплотой грунта и тепловая мощность воздуховода составляет 1,2 кВт, а удельная погонная мощность 35 Вт/м. Утилизация теплоты Земли на горизонтах, имеющих круглый год постоянную положительную температуру независимо от климатических условий, в системах отопления сельских домов дает существенный резерв экономии тепловой энергии.

Выводы

Предложена методика построения математической модели теплонасосной системы теплоснабжения сельских домов с грунтовым теплообменником. Получены результаты моделирования теплонасосной системы. Использование теплонасосной системы отопления сельских домов дает существенную экономию тепловой энергии.

Литература

1. Федянин В.Я., Карнов М.К. Использование грунтовых теплообменников в системах теплоснабжения. // Ползуновский вестник. №4, 2006, С.98-103.

2. Костиков А.О., Харлампиди Д.Х. Влияние теплового состояния грунта на эффективность теплонасосной установки с грунтовым теплообменником // Энергетика: экономика, технологии, экология. – 2009. - №1. - С.32-40

3. Васильев Г.П. Теплоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной энергии поверхностных слоев Земли. - М.: Издательский дом «Граница», 2003. – 176 с.

4. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Учебник для ВУЗов. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, 2009, 433 с.

5. Филиппов С.П., Ионов М.С., Дильман М.Д. Перспективы применения воздушных тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий в различных климатических условиях // Теплоэнергетика. - 2012. - №11. – С.11-18.

Исаханов Е.М., Шыныбай Ж.С.

АУЫЛДЫҚ ҮЙЛЕРДІ ЖЫЛУМЕН СУЫҚПЕН ҚАМТУ ЖЫЛУ СОРҒЫСЫ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

Андатпа

Мақалада ауылдық үйлерді жылумен суықпен қамтуда топырақ жылу алмастырғышы бар жылу сорғысы жүйесінің математикалық моделін құру реті қаралады. Ауылдық үйлерге арналған жылу сорғысы жүйесін модельдеу нәтижелері келтірілген. Ауылдық үйлерді жылыту жылу сорғысы жүйесі жылу энергиясын үнемдеуде айтарлықтай резерв береді.

Кілт сөздер: жылу сорғы жүйесі, жаңартылатын энергия, топырақ, топырақ жылу алмастырғышы, модельдеу, энергия үнемдеу.

Issakhanov E.M., Shynybay Zh.S.

MODELING OF HEAT PUMPING SYSTEMS WARM-WATER SUPPLY OF RURAL HOUSES

Annotation

In the article the sequence of constructing a mathematical model of the heat pump system of heat cooling of rural houses with a ground heat exchanger is considered. The results of modeling the heat pump system for a rural house are given. The heat pump system of heating rural houses provides a significant reserve of saving thermal energy.

Keywords: heat pump system, renewable energy, soil, ground heat exchanger, modeling, energy saving.