

References

1. *Vorobiov V.A.* Electrification and automation of agricultural production. - M.: "Kolos", 2005, 279 p.
2. *Shandrov B.V., Chudakov A.D.*, Automation equipment.-M "Akademiia", 2007, 363 p.
3. *Konovalov L.I., Petelin D.P.* Automation elements and systems. - M.: "V. Shkola", 1985, 110 p.
4. *Yelizarov I.A., Martemianov Yu.F., Skhirtladze A.G., Frolov S.V.* Automation equipment. - M.: «Mashinostroeniie-1», 2004, 126 p.
5. *Borodin I.F., Nedilko N.M.* Automation of technological processes. M.: "Energoatomizdat", 1986, 368 p.
6. *Ventsel Ye.S.*, Probability theory. - M.: "Nauka", 1969, 576 p.
7. *Vedeniapin G.V.*, General procedure of experimental research and experimental data processing. – M., 1973. – 159 p.

Тананова А.Д.

К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Аннотация

Проведены экспериментальные исследования и выяснены показатели нагрузочной диаграммы двигателя натурального образца универсального малогабаритного кормоприготовительного агрегата ДУ-11 в зависимости от положения шибера задвижки.

Ключевые слова: Дробилка, производительность машины, датчики, микропроцессор.

Тананова А.Д.

ЖЕМ ДАЙЫНДАҒЫШ АГРЕГАТЫ ӨНІМДІЛІГІН РЕТТЕЙТІН АВТОМАТТЫ ЖҮЙЕНІ ЖАСАУ

Аңдатпа

Эксперименталды зерттеулер барысында ДУ-11 шағын мөлшерді жемдайындағыш агрегатының қозғалтқышының жүктеме диаграммасының көрсеткіштері тиек қақпасының орнына байланысты анықталды.

Кілт сөздер: Дәнжарғыш, машина өнімділігі, датчик, микропроцессор.

УДК 621.577

Шаблан Н., Байболов А.Е.

Казахский национальный аграрный университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация

В данной статье представлено математическое описание и методика расчета геотермального теплообменника коаксиального типа для теплового насоса теплоснабжения дома.

Ключевые слова: система теплоснабжения, тепловой насос, теплонасосная система.

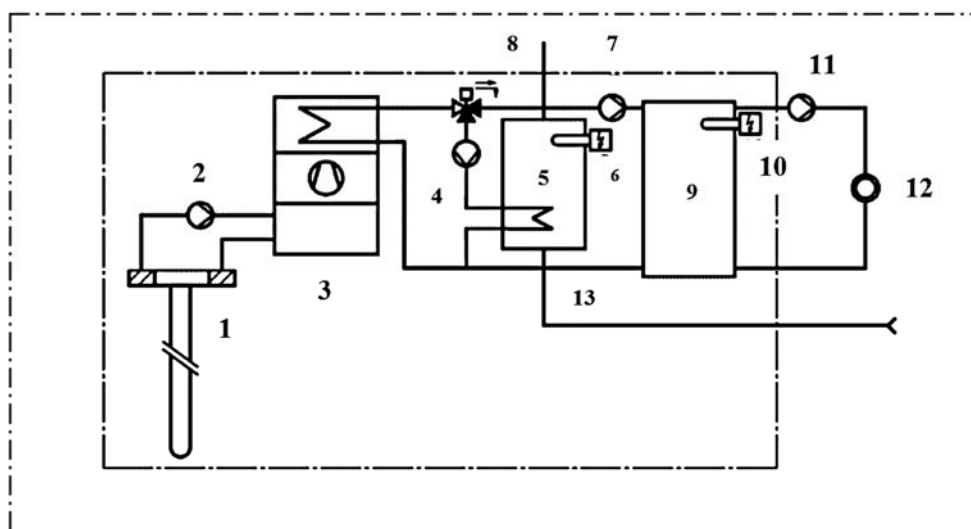
Введение

Тепловые насосы наиболее широко используются в развитых странах в технологических системах отопления, вентиляции, кондиционирования и горячего водоснабжения производственных и жилых зданий, а также в различных технологических процессах промышленных предприятий. Тепловые насосы (ТН) применяются в виде отдельных теплонасосных установок (ТНУ), а также в составе теплонасосных систем (ТНС), в которых могут использоваться несколько тепловых насосов в сочетании с другими устройствами и оборудованием. Если в составе ТНУ тепловой насос дополняется устройствами сбора низкопотенциальной энергии, то в составе ТНС могут применяться несколько ТН, разные устройства сбора низкопотенциальной энергии из разных сред (воздух, вода, грунт), а также устройства управления и автоматизации [1-2].

Материалы и методы

В статье приводится математическая модель теплонасосной системы теплоснабжения, которая может использоваться для удовлетворения тепловых нагрузок отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. В качестве основного методического документа для этого раздела использован ГОСТ Р 54865-2011. «Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами» [3].

Рассматриваемая теплонасосная система генерации тепловой энергии включает в себя подсистему сбора низкопотенциальной тепловой энергии (грунта, воздуха, воды водоемов и скважин). В состав рассматриваемой теплонасосной системы генерирования тепловой энергии включены вспомогательные компоненты до границ с подсистемами транспорта или распределения теплоты. Структура и системные границы рассматриваемой теплонасосной системы приведены на рисунке 1.



1 – источник низкопотенциальной энергии; 2 – насос первого контура отбора энергии (тоcol); 3 – тепловой насос; 4 – насос ГВС; 5 – бак ГВС; 6 – резервный ТЭН ГВС; 7 – насос второго контура; 8 – линия разбора ГВС; 9 – бак-аккумулятор системы отопления дома; 10 – резервный ТЭН системы отопления; 11 – насос отопительного контура; 12 – система отопления дома; 13 – ввод холодной подпиточной вод

Рисунок 1 – Структурная схема теплонасосной системы

Система генерации тепловой энергии включает в себя тепловой насос, подсистему отбора низкопотенциальной тепловой энергии, внутренние и внешние баки-аккумуляторы тепловой энергии и резервные электрические нагреватели. В соответствии с данным стандартом, утилизационные циклы схемы теплоснабжения жилого дома, как составной

части системы обеспечения микроклимата, в целях повышения энергетической эффективности совмещены в единой системе отопления, вентиляции и горячего водоснабжения дома. Схема формирования теплового баланса для рассматриваемой системы генерирования тепловой энергии представлена на рисунке 2.

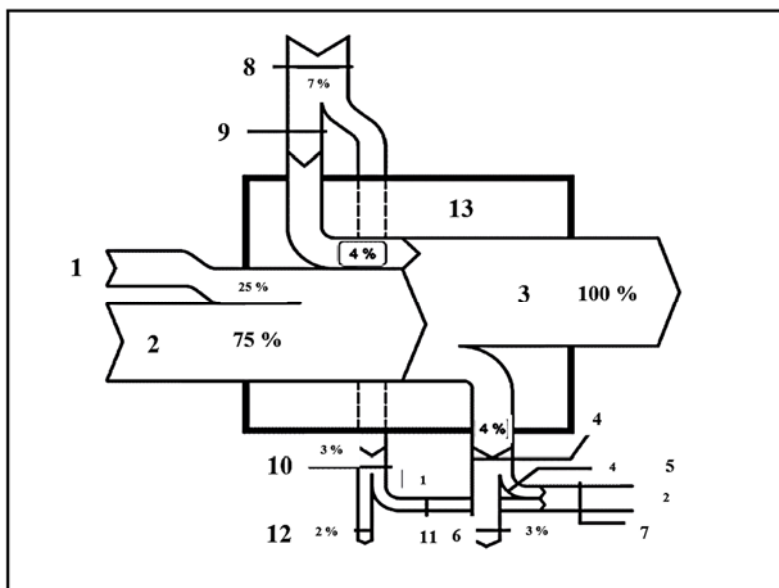


Рисунок 2 – Схема формирования теплового баланса теплонасосной системы

Результаты исследований

$$E_{HWgen.in} = Q_{HWgen.out} + Q_{HWgen.Is} - Q_{HWgen.in} - k_{gen.aux.Is.rvd} \cdot W_{HWgen.aux}$$

$E_{HWgen.in}$ – размер электрической энергии, потребляемой тепловым насосом на привод компрессора и пиковыми электронагревателями.

В расчетах учитывают электроэнергию, потребляемую на привод циркуляционных насосов и вентиляторов.

$k_{gen. aux Is rvd}$ – коэффициент возврата полезной тепловой энергии, возникающего при использовании циркуляционных насосов, когда часть вспомогательной энергии передается теплоносителю непосредственно в виде тепловой энергии.

В сельской местности альтернативой грунтовых теплообменников могут быть геотермальные ресурсы [4]. Сельские жители часто используют водозаборные скважины для питьевого и хозяйственного водоснабжения своих домов и хозяйств. Вода из скважин может использоваться в качестве низкопотенциального источника для специальной теплонасосной системы, предназначенной для теплоснабжения дома. При использовании геотермального низкопотенциального источника применяется система с двумя скважинами – подающей воду и принимающей охлажденную воду. Эта схема имеет недостатки в виде необходимости исследований структуры земной коры в данном месте, повышенной опасности выброса глубинных загрязнений, а также значительных материальных затрат на бурение скважин.

Этих недостатков не имеет односкважинный коаксиальный вид теплообменника, принципиальная схема которого представлена на рисунке 3.

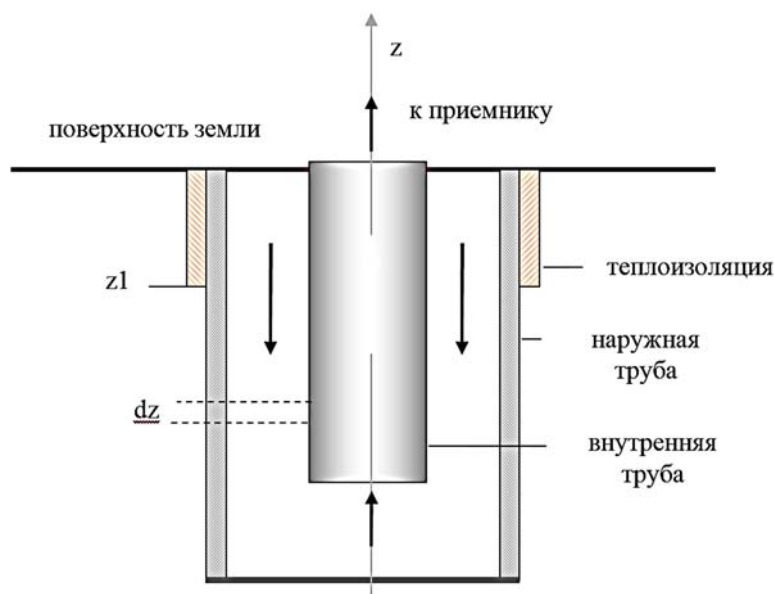


Рисунок 3 – Схема однотрубного геотермального теплообменника.

Коаксиальный теплообменник организуется на базе одной скважины, посредством размещения в нее стального цилиндра, закрытого снизу. В этом кожухе коаксиально помещается труба, изготовленная из материала с низкой теплопроводностью, открытая снизу [2].

Охлажденная вода, опускаясь по кольцевому каналу межтрубного пространства вниз, нагревается тепловой энергией грунта. Нагретая вода поднимается по внутренней трубе на поверхность земли и поступает в теплообменник, где отдает свою тепловую энергию сетевой воде. Охлажденная вода возвращается в кольцевой канал геотермальной скважины.

В данной схеме не используется структура глубинного грунта и в связи с применением замкнутого циркуляционного цикла отсутствуют выбросы загрязненной воды в окружающую среду.

В процессе создания математической модели, для данной конструкции теплообменника определим степень изменения температуры теплоносителя в кольцевом канале в зависимости от глубины расположения скважины и протяженности изолирующей

прокладки между теплообменником и грунтом. При выполнении вычислений будем учитывать следующие допуски:

1. Передача тепловой энергии вдоль оси Z мала и не учитывается;
2. Температура внешней поверхности кольцевого теплообменника заметно не отличается от температуры грунта, которая соответствует глубине расположения скважины;
3. Температура грунта полностью восстанавливается за счет геотермальной энергии и не зависит от времени.

С учетом с этих допусков, далее может быть рассмотрена стационарная задача теплообмена.

Выделим элементарный отрезок dz на кольцевом канале скважины и определим количество тепловой энергии, переданной от грунта к теплоносителю через кольцевой зазор. Обозначим температуру теплоносителя t , где $t = f(z)$, температуру грунта t_z , коэффициент теплопроводности скважины k . Количество тепловой энергии, переданной от грунта к теплоносителю через кольцевой зазор, составит:

$$dQ = 2\pi rk \cdot (t_z - t) \cdot dz \quad (1)$$

Это тепловая энергия поглощается теплоносителем и процесс описывается уравнением:

$$dQ = M \cdot c \cdot dt \quad (2)$$

Приравняем выражения (1) и (2) и получим, что:

$$dt = \frac{2\pi rk}{M \cdot c} \cdot (t_z - t) \cdot dz \quad (3)$$

Температура грунта t_z изменяется линейно по закону:

$$t_z = t_{z0} + G \cdot z, \quad (4)$$

где G – температурный градиент грунта, а t_{z0} – температура поверхности земли. Подставим (4) в (3) и получаем выражение:

$$dt = \frac{2\pi rk}{M \cdot c} \cdot (t_{z0} + G \cdot z - t) \cdot dz \quad (5)$$

Обозначим $\frac{2\pi r \cdot k}{M \cdot c} \equiv A$, подставляем его в уравнение (5) и получаем:

$$dt = A \cdot (t_{z0} + G \cdot z - t) \cdot dz \quad (6)$$

$$\frac{dt}{dz} + At = A(t_{z0} + Gz) \quad (7)$$

Получилось дифференциальное уравнение вида:

$$y' + P(z) \cdot y = Q(z), \quad (8)$$

где $y = t$, $P(z) = A$, а $Q(z) = A(t_{z0} + Gz)$

Решение такого дифференциального уравнения может иметь вид:

$$y = e^{-\int P dz} \cdot \left(\int Q \cdot e^{\int P dz} \cdot dz + C \right) \quad (9)$$

Решение для данной задачи:

$$t = e^{-\int A dz} \cdot \left(\int A(t_{z0} + G \cdot z) \cdot e^{\int A dz} \cdot dz + C \right) \quad (10)$$

$\int A dz = Az$, тогда имеем:

$$t = e^{-Az} \cdot \left(\int A(t_{z0} + G \cdot z) \cdot e^{Az} \cdot dz + C \right) \quad (11)$$

Последовательно выполним следующие преобразования уравнений:

$$t = e^{-Az} \left(\int A \cdot t_{z0} \cdot e^{Az} dz + \int A \cdot G \cdot z \cdot e^{Az} dz + C \right) = e^{-Az} \left(A \cdot t_{z0} \cdot \int e^{Az} dz + A \cdot G \cdot \int z \cdot e^{Az} dz + C \right) \quad (12)$$

$\int e^{Az} dz = \frac{e^{Az}}{A}$, $\int z \cdot e^{Az} dz = \frac{e^{Az}}{A^2} \cdot (Az - 1)$, таким образом, выражение (12) принимает следующий вид:

$$t = e^{-Az} \left(A \cdot t_{z0} \cdot \frac{e^{Az}}{A} + A \cdot G \cdot \frac{e^{Az}}{A} \cdot (Az - 1) + C \right), \text{ или} \\ t = t_{z0} + \frac{G}{A} \cdot (Az - 1) + C \cdot e^{-Az} \quad (13)$$

Определим значение константы C из условия равенства температур воды в точке границы изоляции геотермального теплообменника на входе в теплообменник - при $z = z_1$, $t = t_1$, получим:

$$t_1 = t_{z0} + \frac{G}{A} \cdot (Az_1 - 1) + C \cdot e^{-Az_1} \quad (14)$$

Выражение для C :

$$C = \left(t_1 - t_{z0} - \frac{G}{A} \cdot (Az_1 - 1) \right) \cdot e^{Az_1} \quad (15)$$

Подставив выражение (15) в (13), получаем зависимость температуры теплоносителя от глубины скважины:

$$t = t_{z0} + \frac{G}{A} \cdot (Az - 1) + \left(t_1 - t_{z0} - \frac{G}{A} \cdot (Az_1 - 1) \right) \cdot e^{A(z_1 - z)} \quad (16)$$

Используя формулу (16) рассчитаем глубину скважины, используя параметры теплоносителя на входе и выходе из геотермального теплообменника.

Определим выражение для глубины изоляции z_1 , приняв равенство значений температур грунта и воды на входе в геотермальный теплообменник:

$$t_{z0} + G \cdot z_1 = t_1 \quad (17)$$

Глубина изоляции определится в следующем виде:

$$z_1 = \frac{t_1 - t_{z0}}{G} \quad (18)$$

Выводы

Представлено математическое описание и методика расчета геотермального теплообменника коаксиального типа для теплового насоса теплоснабжения дома.

Полученные зависимости позволяют произвести расчет основных параметров коаксиального теплообменника геотермальной установки.

Литература

1. *Васильев Г.П., Хрустачев Л.В., Розин А.Г., Абуев И.М. и др.* Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии // Правительство Москвы Москомархитектура, ГУП "НИАЦ", 2001.-66С.
2. *Васильев Г.П.* Тепло-хладоснабжение зданий и сооружений с использованием низко-потенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли (Монография). Издательский дом "Граница". М., "Красная звезда" -2006.-220 С.
3. ГОСТ Р 54865-2011. "Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами"
4. *Никитенко В.А., Мотулевич А.В.* Однотрубный геотермальный теплообменник. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тез. докладов XII МНТК студентов и аспирантов. В 3-х т. – М.: МЭИ, 2006. Т.2.С.475.

Шаблан Н., Байболов А.Е.

ЖЫЛУ СОРАПТЫ ЖҮЙЕНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Аңдатпа

Бұл мақалада үйді жылумен қамтамасыз ететін жылу сорабының геотермалды жылуалмастырғыштың коаксиалды түрінің математикалық жазбасы мен есептеу әдістемесі келтірілген.

Кілт сөздер: жылумен қамтамасыз ету жүйесі, жылу сорабы, жылу сорапты жүйе.

Shablan N., Baibolov A.

MATHEMATICAL MODEL OF HEAT PUMP SYSTEM

Annotation

This article presents a mathematical description and method of calculation of the geothermal heat exchanger coaxial heat pump for heating houses.

Keywords: heating system, heat pump, heat pump system.