

## Әдебиеттер

1. Химические источники тока./Под ред. В.Н.Варыпбаева. -М.: Высшая школа, 1990. 238 с.
2. Сатаев М.С., Дауренбекова Л.М. Решение о выдаче предварительного патента по заявке № 932064. 1. Способ нанесения токопроводящего слоя на диэлектрические материалы.
3. Дж. Ван Везер. Фосфор и его соединения. -ПЛМ., 1962.
4. Производство электрических аккумуляторов./Под ред. М.А.Дасояна. -М.: Высшая школа, 1970.
5. Сатаев М.С., Дауренбекова Л.М. Решение о выдаче предварительного патента по заявке № 940833.1. Способ изготовления оксидно-никелевого электрода.

*М.С. Сатаев, А.М. Есимова, Ш.Т. Қошқарбаева, Г.С. Рысбаева, А.Б. Тасбалтаева*

### ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДНО-НИКЕЛЕВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕДЬФОСФОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК

В данной статье приведены результаты исследований получения оксидно-никелевых электродов щелочных безламельных аккумуляторов на основе металлизированных неметаллических материалов.

*M.S. Satayev, A.M. Yesimova, Sh.T. Koshkarbayeva, G.S. Rysbaeva, A.B. Tasbaltaeva*

### PRODUCTION OF OXIDE-NICKEL ELECTRODES OF ALKALINE ACCUMULATORS WITH THE USING COPPER-PHOSPHORUS ELECTRO-CONDUCTING FILMS

The given article contains the research results of the production of oxide-nickel electrodes of alkaline tubular-plate accumulators on the basis of metallized non-metallic material.

**УДК 621.577+697.1**

**Ш.К. Сыдыков, Р.А. Омаров**

*Казахский национальный аграрный университет*

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

#### **Аннотация**

В работе описана математическая модель теплонасосной системы автономного теплоснабжения. Приведены расчеты потребной площади теплоприемника воздушного солнечного коллектора, температуры в теплоаккумулирующем устройстве.

**Ключевые слова:** теплонасосная система теплоснабжения, низкопотенциальные источники теплоты, теплонасосная установка, воздушный солнечный коллектор, теплоаккумулятор.

## Введение

Теплонасосная система автономного теплоснабжения жилых и производственных зданий представляет собой различные теплообменные аппараты, утилизирующие низкопотенциальные теплоты окружающего воздуха, солнечной энергии, воды и грунта поверхностных слоев Земли, включенные в единый с испарителем теплонасосной установки (ТНУ) контур.

Преимуществом таких систем является доступность низкопотенциального источника теплоты (НИТ). Однако использование лишь теплоты окружающего воздуха или солнечной энергии, грунта поверхностных слоев Земли в качестве единственных источников НИТ в комбинации с ТНУ малоэффективно. Это, прежде всего, связано с сезонными и суточными колебаниями температуры наружного воздуха в зависимости от погодных условий и неравномерности прихода солнечной радиации в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий, которая влечет за собой колебания режимов работы теплового насоса, снижающего его эффективность. Так, изменение температуры наружного воздуха с  $+7^{\circ}\text{C}$  до минус  $10^{\circ}\text{C}$  приводит к снижению производительности ТНУ в 1,5...2,0 раза.

В силу недостаточной изученности вопроса и отсутствием надежного, согласующегося с опытными данными математического описания, в настоящее время практически отсутствует технологий теплонасосной системы теплоснабжения (ТСТ), удовлетворяющие природно-климатических условий различной зоны Казахстана.

## Основная часть

Принимая во внимание результаты НИР [1], а также оценки характеристики метеорологических условий в период отопительного сезона юго-восточной зоны республики, нами предлагается следующая гибридная ТСТ, состоящая из воздушных солнечных коллекторов, грунтового теплообменника и теплоаккумулятора, используемая для предварительного нагрева наружного воздуха, который впоследствии поступает в испаритель теплового насоса. Предлагаемая модель ТСТ представлена на рисунок 1.

В модели предлагаемая технология ТСТ рассматривается как система, включающая теплоутилизирующие, аккумулирующие, генерирующие компоненты и компоненты потребления теплоты.

Параметрами системы являются количественный состав и свойства каждого из ее компонентов. Состояние компонента, - есть некоторая функция времени, зависящая от его параметров. Входными энергетическими потоками системы являются энергия солнца и поверхностных слоев Земли, утилизирующие соответственно солнечными коллекторами и грунтовыми теплообменниками НИТ.

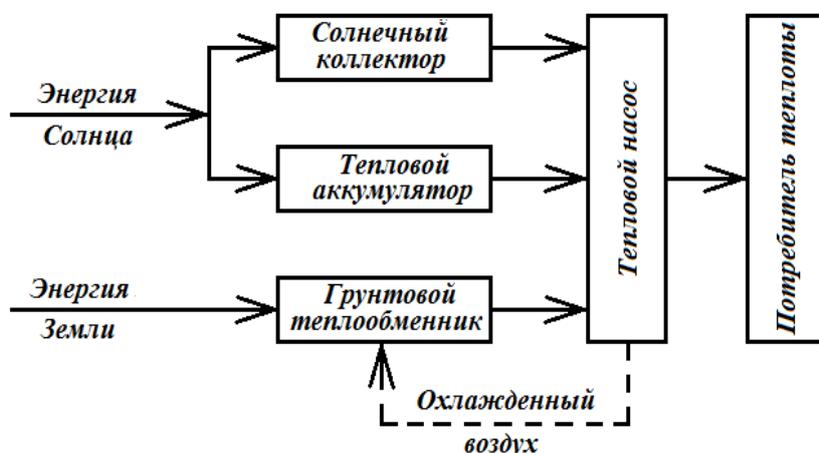


Рисунок 1 – Энергетические потоки в теплонасосной системе автономного теплоснабжения.

Сгенерированные потоки тепловой энергии после преобразования направляются в испаритель теплового насоса. Часть энергии накапливается в тепловом аккумуляторе для компенсации, не достающейся теплоты.

Основной показатель работоспособности приведенной теплонасосной системы теплоснабжения – возможность обеспечения стабильной работы и производительности теплового насоса, удовлетворяющих потребителей теплоты не ниже требуемой:

$$q_{\text{ген}}(t) + q_{\text{аккумулятор}}(t) \geq q_{\text{пот}}(t) \quad (1)$$

или

$$q_{\text{тн}}(t) + q_{\text{ск}}(t) + q_{\text{гт}}(t) + q_{\text{аккумулятор}}(t) \geq q_{\text{пот}}(t) \quad (2)$$

где:  $q_{\text{пот}}(t)$  – теплота необходимая для отопления здания;

$q_{\text{ген}}(t)$  - генерируемая энергия;

$q_{\text{аккумулятор}}(t)$  - аккумулируемая тепловая энергии.

$q_{\text{тн}}(t)$  – теплопроизводительность теплового насоса;

$q_{\text{ск}}(t)$  – тепловая энергия вырабатываемая солнечным коллектором;

$q_{\text{гт}}(t)$  – тепловая энергия вырабатываемая грунтовым теплообменником.

Эффективность ТСТ – целый набор значений показателей, определяющих не только его работоспособность, но и надежность, характеристики экономического плана: стоимость, себестоимость тепловой энергии, срок окупаемости, площадь размещения, удобство обслуживания и многие другие.

Решение задачи проектирования действительно эффективного теплогенерирующего комплекса, как показали результаты анализа состояния данного вопроса, выполненного в [1], может быть осуществлено путем применения методов моделирования и оптимизации.

Вместе с тем, из-за сложности установления ряда теплотехнических параметров получаемого полезного тепла, как от солнечной энергии, так и энергии поверхностных слоев Земли, многомерную модель, изображенную на рис.1, проанализируем в упрощенном виде по отдельности.

#### **Методика теоретического расчета потребной площади теплоприемника воздушного солнечного коллектора для теплонасосной системы теплоснабжения**

Для построения математической модели и упрощения анализа процесса конвективного теплообмена в системе НИТ – ТНУ – потребитель теплоты принимаем, что рабочее тело несжимаемо, перенос теплоты осуществляется конвективно, перенос теплоты за счет теплопроводности незначителен и им можно пренебречь. Исходя изложенного, многомерную модель (рисунок 1), представим в виде простой модели сопряженной гелиосистемы с тепловым насосом, показанной на рисунке 2.

Проектированию любой гелиосистемы предшествует теплотехнический расчет теплоприемника. Потребная площадь теплоприемника обычно определяется экспериментально по количеству теплоты в установке, что сопряжено с большими трудностями.

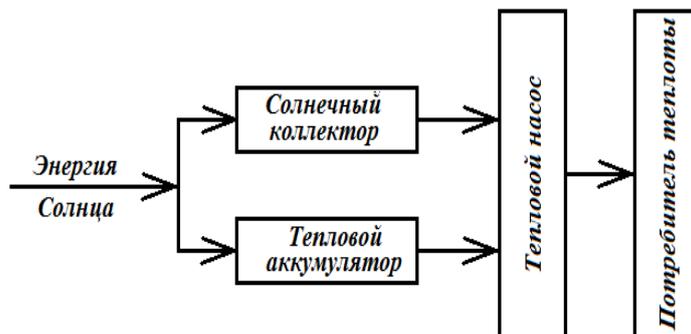


Рисунок 2- Схема сопряжения гелиосистемы с тепловым насосом

При таких расчетах невозможно учитывать влияние теплотехнических и геометрических параметров теплоприемника – площади поверхности коллектора, толщины стенки, теплопроводности абсорбера и др.

Тепловой баланс между поступающей энергией и получаемой от теплоприемника полезной энергией можно представить в следующем виде:

$$dQ_{\text{пог}} = dQ_{\text{пол}} + dQ_{\text{акк}} + dQ_{\text{пот}}, \quad (3)$$

или

$$dQ_{\text{пог}} - dQ_{\text{пот}} = dQ_{\text{пол}} + dQ_{\text{акк}} \quad (4)$$

где:  $dQ_{\text{пог}}$  – солнечная энергия, поглощенная рабочей поверхностью плоского коллектора, Вт/м<sup>2</sup>;

$dQ_{\text{пол}}$  – тепловой поток, переданный в солнечном коллекторе теплоносителю (полезная теплота), Вт/м<sup>2</sup>;

$dQ_{\text{акк}}$  – тепловая энергия в теплоаккумуляторе, Вт/м<sup>2</sup>;

$dQ_{\text{пот}}$  – тепловые потери плоского коллектора в окружающую среду путем излучения, конвекции и теплопроводности, Вт/м<sup>2</sup>.

Разность между солнечной энергией, поглощенной рабочей поверхностью плоского коллектора и тепловые потери в окружающую среду:

$$dQ_{\text{пог}} - dQ_{\text{пот}} = dQ = f_p \cdot [I \cdot (\tau\alpha) - K \cdot (T_{\text{абс}} - T_o)] dF_{\text{ск}}, \quad (5)$$

где:  $f_p$  – показатель теплотерь, или показатель массового расхода теплоносителя, который определяется как отношение фактической передачи тепла к максимально возможной;

$I$  – суммарная солнечная радиация, Вт/м<sup>2</sup>;

$(\tau\alpha)$  – приведенная поглощающая способность коллектора ( $\tau$ -коэффициент пропускания прозрачного покрытия;  $\alpha$ -коэффициент поглощения абсорбирующей поверхности);

$K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$T_{\text{абс}}$  – средняя температура абсорбера, °C;

$T_o$  – температура наружного воздуха, °C;

$F_{\text{ск}}$  – площадь рабочей поверхности плоского коллектора, м<sup>2</sup>.

Полезная теплота, переданная в солнечном коллекторе теплоносителю в единицу времени:

$$dQ_{\text{пол}} = G \cdot C_p \cdot dT, \quad (6)$$

где:  $G$  – массовый расход теплоносителя (воздуха), кг/сек;

$C_p$  – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/кг·°C.

Уравнение (5) и (6) запишем в следующем виде:

$$f_p \cdot [I \cdot (\tau\alpha) - K \cdot (T_{\text{абс}} - T_o)] dF_{\text{ск}} = G \cdot C_p \cdot dT \quad (7)$$

Принимая граничные условия:

$$\begin{aligned} T = T_o & \quad \text{при} \quad F_{\text{ск}} = 0, \\ T = T_{\text{абс}} & \quad \text{при} \quad F_{\text{ск}} > 0 \end{aligned} \quad (8)$$

и интегрируя (7), получаем либо потребную площадь поверхности гелиоколлектора для подогрева оптимального расхода воздуха через коллектор:

$$F_{\text{ск}} = G \cdot C_p (T_{\text{вых}} - T_o) / f_p \cdot [I \cdot (\tau\alpha) - K \cdot (T_{\text{абс}} - T_o)], \quad (9)$$

либо величину температуры нагретого воздуха:

$$T_{\text{вых}} = f_p \cdot F_{\text{ск}} \cdot [I \cdot (\tau\alpha) - K \cdot (T_{\text{абс}} - T_o)] / G \cdot C_p + T_o. \quad (10)$$

Методы расчета  $f$ ,  $(\tau\alpha)$  и  $K$  достаточно подробно рассмотрены в работе [2].

Коэффициент отвода теплоты от коллектора  $f$  равен отношению фактически полученной полезной энергии к той энергии, которую можно получить, если температура всей поглощающей поверхности будет равна  $t_{\text{вх}}$ . Значение этого коэффициента

определяется конструкцией коллектора и несущественно зависит от плотности солнечной радиации и температур поглощающей поверхности и окружающей среды.

Коэффициент  $K$  для большинства конструкций солнечных коллекторов равен  $0,7 \dots 1,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ . Максимальное значение  $(\tau\alpha) = 1$ ; при одинарном остеклении  $(\tau\alpha)$  не превышает  $0,8$ .

Полученную расчетную зависимость (10) подтверждают геометрические и теплотехнические показатели теплоприемника, сконструированного и испытанного в естественных условиях авторами в августе текущего года.

Экспериментальная установка площадью  $F_{\text{ск}} = 25,68 \text{ м}^2$  ( $4,28 \times 6,0 \text{ м}$ ) имеет следующие данные:

- абсорбер – листовой металл с селективным покрытием –  $\delta = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;
- теплопроводность материала теплоприемника –  $\lambda = 0,91 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{С}$ ;
- коэффициент пропускания прозрачного покрытия –  $\tau = 0,9$ ;
- коэффициент поглощения абсорбирующей поверхности –  $\alpha = 0,89$ ;
- массовый расход теплоносителя (воздуха) -  $G = 1,0 \text{ кг}/\text{сек}$  ( $V = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ );
- удельная теплоемкость теплоносителя -  $C_p = 1000 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}$ ;
- средняя температура абсорбера,  $T_{\text{абс}} = 45 \text{ }^\circ\text{С}$ ;
- температура наружного воздуха,  $T_o = 27 \text{ }^\circ\text{С}$ .

Принимая суммарную солнечную радиацию  $I = 700 \text{ Вт}/\text{м}^2$  (для г. Алматы), коэффициенты  $K = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ ,  $f = 1,0$  и подставляя эти данные в (10), вычисляем значение  $T_{\text{вых}}$ :

$$T_{\text{вых}} = 41 \text{ }^\circ\text{С}$$

Из формулы (9) находим требуемую площадь теплоприемника плоского солнечного коллектора:  $F_{\text{ск}} = 25,4 \text{ м}^2$ , т.е. погрешность опытных данных составляет  $1,2\%$ ; ее можно считать незначительной.

Как было отмечено, для теплонасосной системы теплоснабжения характерна существенная неравномерность энергопотребления в отопительный период и поэтому аккумуляирование теплоты при ее избытке и отдачи по мере необходимости в энергии позволяет улучшить график энергопотребления. Обеспечения процесса накопления, хранения и выработки тепловой энергии в соответствии с требованиями потребителя осуществляется теплоаккумуляующими устройствами.

Наиболее распространены тепловые аккумуляторы с твердым теплоаккумуляующим материалом. При этом в качестве теплоаккумуляующих материалов используют доступные и дешевые вещества – щебень, феолит (железная руда), остатки строительных материалов и т.п. [3].

Уравнения, описывающий баланс тепловой энергии в теплоаккумуляторе с однородной температурой, в общем случае выражается [4]:

$$dQ_{\text{акк}} = (mC_p)_T \cdot \partial T_T / \partial \tau \quad (11)$$

где:  $m$  – масса теплоаккумуляующего материала в аккумуляирующем устройстве, кг;  
 $C_p$  – удельная теплоемкость теплоаккумуляующего материала в аккумуляирующем устройстве,  $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}$ ;

$T_T$  – температура теплоаккумуляующего материала,  $^\circ\text{С}$ ;

$\tau$  – время.

С другой стороны:

$$dQ_{\text{акк}} = Q_{\text{п}} - Q_{\text{уд}} - U (T_{\text{ак}} - T_o) \cdot dF \quad (12)$$

$Q_{\text{п}}$ ,  $Q_{\text{уд}}$  – показатели пополнения и удаления энергии теплоаккумулятора, кДж;

$U$  – коэффициент тепловых потерь коллектора,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ ;

$F$  – площадь солнечного коллектора,  $\text{м}^2$ ;

$T_{\text{ак}}$  – температуре в теплоаккумуляующим устройстве,  $^\circ\text{С}$ ;

$T_o$  – температура окружающего воздуха в месте размещения теплоаккумулирующего устройства, °С.

Приравняв правые части уравнения (11) и (12) и интегрируя во времени, ее можно переписать следующим виде:

$$T'_{ак} = T_{ак} + \Delta t [Q_{п} - Q_{уд} - (UF) (T_{ак} - T_o)] / (mC_p)_{г}. \quad (13)$$

Таким образом, можно определить температуру в конце условного интервала  $\Delta t$ , при условии, что температура была неизменна в течение этого интервала.

### **Выводы**

Предложена методика построения математической модели теплонасосной системы автономного теплоснабжения, составлены уравнения теплового баланса, проведены расчеты потребной площади теплоприемника воздушного солнечного коллектора, средней температуры теплоаккумулирующего устройства.

### **Литература**

1. Отчет о научно-исследовательской работе: «Разработка энергосберегающей системы отопления жилых домов и зданий на базе использования тепловых насосов «воздух-вода» с дистанционным контролем и управлением». Алматы, 2013 г. – 131 с.
2. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения.- М.: Энергоиздат, 1982.-80 с.
3. Амерханов Р.А., Долинский А.А., Морозюк Т.В. Аккумуляция теплоты в системах теплоснабжения сельского хозяйства //Пром.теплотехника. – 2002.-Т.24.- №1. С.106-108.
4. Solar engineering of thermal processes/John A. Duffie, William A. Beckman. – 2<sup>nd</sup> ed. Wiley, John&Sons, Incorporated, 1991.-918 p.

Сыдықов Ш.К., Омаров Р.А.

### **ЖЫЛУСОРҒЫ ЖҮЙЕСІ АРҚЫЛЫ ЖЫЛУМЕН ДЕРБЕС ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ**

Мақалада жылусорғы жүйесі арқылы жылумен дербес қамтамасыз етудің математикалық моделін құрастыру методикасы ұсынылған, жылу баланс теңдемелері құрастырылған, жазық күн коллекторының қажетті ауданынын және жылу аккумуляторы қондырғысының температурасын анықтайтын есептеулер келтірілген.

*Кілт сөздер:* жылусорғы жүйесімен жылыту, төменгіпотенциалды энергия көздері, жылусорғы қондырғысы, ауа жылытатын күн коллекторы, жылу аккумуляторы.

Sh.K. Sydykov, R.A. Omarov

### **MATHEMATICAL MODEL OF HEAT PUMP SYSTEM OF AUTONOMOUS HEATING**

This article describes a mathematical model of heat pump systems of autonomous heating. The calculations of the required area of the heat of the air solar collector temperature heat storage device.

*Keywords:* heat pump heating system, low-potential heat sources, the heat pump system, air solar collector, heat storage.