



THE EXPEDIENCY OF THE HEAT PUMPS USE FOR GREENHOUSES HEATING

Yurii DEMIYNENKO, Nikolay GOGOL

V.S. Martynovskiy Educational & Scientific Institute of Cold,
Cryotechnologies and Environmental Energy
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

Abstract. The possibility of using an air heat pump (HP) in conjunction with the gas boiler (GB) for heating greenhouses for the cultivation of strawberries. System of heating based on heat pump water heater is the basic variant for comparison. The heat pump Midea HS model RSJ-380 / SN1 is chosen as the most suitable in value for money. The slowdown of HP productivity within the decreasing of outdoor air temperature leads to the energetically unprofitable using of HP considering the energy conversion efficiency of thermal power station. The limit of the HP use is COP 2.875 according to the EU standards. Estimation conditions are accepted in Chisinau and Odessa. The use of air HP doesn't reduce operational outlay because of current electricity and gas prices. The HP could be used at the objects without gas transmission piping system, as the cost of its building is compare to the cost of greenhouse building.

Keywords. Heating greenhouses, heat pump, gas boiler, the air temperature, coefficient of performance, productivity of boiler.

RAȚIONAMENTE LA UTILIZAREA POMPELOR TERMICE PENTRU ÎNCĂLZIREA SERELOR

Iurii DEMIANENCO, Nicolai GOGOL

Institutul de frig, criotehnologii și ecoenergetică V.S. Martânovschi
Academia națională a tehnologiilor alimentare, Odesa

Rezumat: Este examinată posibilitatea utilizării pompei termice cu aer (PT) împreună cu cazanul pe gaz (CG) pentru încălzirea serelor, unde se cultică căpșunile. Varianta de bază pentru comparare este selectat sistemul de încălzire în baza cazanului cu gaz de încălzire a apei. În calitate de pompă de căldură este luată cel mai disponibilă PT din considerente preț-calitate, produs de firma MIDEA, model RSJ-380/SN1. Este arătat, că căderea productivității PT la căderea temperaturii aerului din mediul înconjurător aduce la dezavantaje de utilizare a sa din motive de randament scăzut a stației termice. Limita de utilizare a PT, în corespundere cu normele UE, este COP 2,875. Condiții din calcule efectuate pentru Chișinău și Odesa. La tarifele în vigoare pentru energie electrică și gaz utilizarea PT cu aer nu oferă economii a cheltuielilor de exploatare. Utilizarea PT este o variantă fără de alternativă acolo, unde nu ajung conductele de gaz, dar construcția rețelei gazoductelor necesită mari cheltuieli, comparabile cu costul serelor.

Cuvinte-cheie: Încălzirea serelor, pompă termică, cazan pe gaz, temperatura aerului, COP, randamentul cazanului.

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ТЕПЛИЦ

Демьяненко Ю.И., Гоголь Н.И.

Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С.
Мартыновского
Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, Украина

Аннотация. Рассмотрена возможность использования воздушного теплового насоса (ТН) совместно с газовым котлом (ГК) для отопления теплиц, где выращивается клубника. Базовым вариантом для сравнения выбрана система отопления на основе газового водогрейного котла. В качестве теплового насоса принят наиболее приемлемый по соотношению цена – качество ТН фирмы Midea модели RSJ-380/SN1. Показано, что падение производительности ТН при уменьшении температуры окружающего воздуха приводит к тому, что использование его становится энергетически невыгодным с учетом коэффициента полезного действия тепловой электростанции. Пределом использования ТН, в соответствии с нормами ЕС, является COP 2,875. Расчетные условия приняты по Кишиневу и Одессе. При действующих тарифах на электричество и газ применение воздушного ТН не дает экономии эксплуатационных затрат. Использование теплового насоса является безальтернативным вариантом там, где нет сетевого газа, а прокладка газопровода к объекту требует больших капитальных вложений, сопоставимых со стоимостью строительства теплицы.

Ключевые слова. Отопление теплиц, тепловой насос, газовый котел, температура воздуха, COP, производительность котла.

ВВЕДЕНИЕ

Расцвет овощеводства на закрытых грунтах в бывшей Российской империи начался в первой половине XIX века и был связан со значительным удешевлением производства листового стекла. Огромную известность в то время получило «клинское» овощеводство, названное в честь Клинского уезда, где особенно было развито огородничество на защищенном грунте. Обогревались теплицы с помощью обычных печей, дымовые газы от которых распределялись по специальным тепловым колодцам-боровам, выводящим дым наружу. Часть его подмешивалась в атмосферу теплиц, что способствовало увеличению количества завязи и повышению урожайности.

В 1930-е годы в Советском Союзе начало возрождаться тепличное овощеводство, развитие которого было прервано войной, и только в 1960-е годы стали появляться «тепличные комбинаты», площадь которых иногда исчислялась десятками гектаров. Суммарная площадь «закрытого грунта» к 1990 году составляла в Советском Союзе более 5000 га, что превышало показатели многих европейских стран. Этому способствовали низкие цены на энергоносители.

Распад СССР, непрерывное удорожание энергоносителей, отсутствие государственной поддержки привело к тому, что сегодня доля собственных тепличных овощей на рынке стран СНГ ничтожно мала, преобладает дешевая импортная продукция далеко не самого высокого качества.

В настоящее время теплицами на просторах бывшего СССР занимаются отдельные фермеры и дачники-энтузиасты, благодаря массовому распространению новых светопрозрачных материалов, таких как полиэтиленовая пленка, поликарбонат, тепличное дело переживает новый бум.

В теплицах на приусадебных участках сегодня используются различные варианты обогрева – все зависит от местных условий. Биологическое и печное отопление почти полностью заменили водяные и электрические котлы. Поиски экономически выгодных решений продолжаются.

Владельцы теплиц предпринимают поиски альтернативных источников энергоснабжения с целью сделать свою продукцию конкурентоспособной. С развитием рынка тепловых насосов многие усмотрели в этом панацею. Однако все оказалось не так просто. При наличии отбросного тепла или источника с постоянной положительной температурой (река, озеро) тепловые насосы для систем отопления действительно безальтернативны. Использование же теплоты грунта требует очень больших капитальных вложений. Привлекает своей дешевизной воздушный тепловой насос, однако он не может быть использован в качестве моноисточника.

В данной статье рассмотрена целесообразность бивалентной схемы отопления на основе газового водогрейного котла и воздушного теплового насоса.

1. ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Рассмотрена возможность использования воздушного теплового насоса для отопления теплицы.

Теплица площадью 600 м² расположена на плоской крыше одноэтажного магазина одного из продовольственных рынков города. Стены до подоконников имеют толщину 500 мм и выложены пустотелым кирпичом; каркас теплицы выполнен из металлопроката, применено ленточное остекление стен однокамерным энергосберегающим стеклопакетом, все окна открываются. Крыша имеет форму сегмента и выполнена из поликарбоната толщиной 16 мм.

Инженерные системы теплицы должны удовлетворять наиболее жестким требованиям, поэтому в проект заложены следующие расчетные параметры воздуха внутри помещения: $t = 22 - 25$ °С, $\phi = 75 - 80$ %. Предложено для поддержания относительной влажности использовать механическую вентиляцию с рекуперацией тепла. Для компенсации теплопотерь – фенкойлы, работающие в режиме рециркуляции.

Системы отопления с ТН являются низкопотенциальными с температурой теплоносителя в интервале 35 – 40 °С. Очевидно, что в этом случае использование в качестве отопительных приборов традиционных батарей (радиаторов) неэффективно, альтернативой им являются только фенкойлы, что и было выбрано в техническом предложении.

Принятые технические решения удовлетворительно корреспондируются с новой концепцией теплицы, предложенной компанией «Кубо» (Голландия), известным авторитетом в данной области [1].

В качестве базового варианта принято отопление газовым водогрейным котлом. Произведена оценка альтернативного варианта: бивалентной схемы на основе теплового насоса (ТН) «воздух – вода» и газового котла (ГК) при отрицательных температурах. Это типичное решение, так как теплопроизводительность ТН падает при уменьшении температуры наружного воздуха.

Такой подход подтверждается и зарубежным опытом, так как использование ТН «воздух – вода» требует наименьших капитальных затрат – покупка и монтаж ТН приведут к удорожанию системы на 9000 \$. Так, в 2010 году во Франции было продано 63 тысячи тепловых насосов, 9 тысяч из которых являются устройствами, использующими тепло грунта, а 54 тысячи - тепло воздуха [2].

Зависимость теплопроизводительности ТН от температуры наружного воздуха приводит к тому, что при определенных отрицательных температурах работа теплового насоса становится энергетически не выгодной (если учитывать КПД электростанций). Так, европейские нормативы ограничивают использование ТН «воздух – вода» коэффициентом преобразования COP, равным 2,875 (отношение теплопроизводительности к затраченной мощности). Эта величина определяется, исходя из КПД тепловых электростанций [3].

В рассматриваемой системе отопления пиковые нагрузки при низких температурах наружного воздуха, когда у теплового насоса $COP < 2,875$, полностью покрываются работой ГК, а в остальное время используется ТН и частично ГК.

2. ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ ПОМЕЩЕНИЯ ТЕПЛИЦЫ

Расчетные параметры наружного воздуха в холодный период для г. Кишинева составляют: $t = -15^{\circ}\text{C}$; $h = -13$ кДж/кг, для г. Одессы $t = -18^{\circ}\text{C}$; $h = -16,3$ кДж/кг [4]. Такая температура бывает далеко не каждый год, продолжительность ее стояния небольшая и вполне покрывается производительностью ГК (он выбирается на максимальную нагрузку). Поэтому расчеты проведены по среднесуточным температурам наружного воздуха за отопительный период, результаты приведены в таблице 1.

При этом учитывались тепловыделения от системы освещения, обеспечивающей продолжительность светового дня 16 часов. Были выбраны светодиодные фитолампы [5] с установленной мощностью 27 кВт. Часть этой мощности (около 55 %) превращается в тепло, которое вычиталось из теплотерь ограждающих конструкций.

Тепловой баланс потерь тепла объектом, тепловыделений от освещения и теплопроизводительностей теплового насоса и котла для г. Кишинева представлен на рисунке 1.

3. ТЕПЛОВОЙ НАСОС И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Как было указано выше, альтернативный вариант отличался от базового наличием теплового насоса «воздух – вода». Для рассматриваемого объекта был выбран сравнительно недорогой ТН фирмы Midea модели RSJ-380/SN1, зависимость COP которого от температуры наружного воздуха, представлена на рисунке 2.

Принцип действия ТН состоит в «перекачивании» тепловой энергии с низкого температурного уровня (окружающая среда) на более высокий (отапливаемое помещение). Для этого используется электрическая энергия на привод компрессора.

Эффективность работы ТН характеризуется коэффициентом преобразования теплоты (отечествен. E , англ. COP — сокр. от *coefficient of performance*) – соотношением вырабатываемой тепловой энергии и потребляемой электрической [6]:

$$COP = \frac{Q_{\text{потреб}}}{A} = \frac{Q_{\text{источн}} \cdot k}{A} \quad (1)$$

Здесь:

$Q_{\text{потреб}}$ — теплота, полученная потребителем [Дж];
 $Q_{\text{источн}}$ — теплота, забираемая тепловым насосом из источника низкопотенциального тепла [Дж];
 k — коэффициент полезного действия;

A — работа, совершенная насосом [Дж].

Коэффициент преобразования ТН зависит от температур окружающей среды T_1 и теплоносителя T_2 :

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

Чем меньше эта разность, тем больше коэффициент преобразования [6].

Но для производства 1 кВт·ч электроэнергии на тепловой электростанции нужно втрое больше топлива, чем на получение такого же количества тепла в котельной (электрический КПД тепловой электростанции составляет 33 – 35%). Очевидно, что сопоставлять расходы тепловой и электрической энергии только по их количеству некорректно – необходимо знать, какой ценой получено электричество. Так, электрический КПД атомных электростанций 40 – 44 %, а гидроэлектростанций 92 – 94 % [7].

Поэтому в странах, где широко используются тепловые насосы, минимальная величина COP ограничивается законодательно. Так, в декабре 2008 года Европарламентом принята директива по использованию возобновляемых источников энергии (Direktive on the Use of Renewable Energy Sources), не допускающая использования ТН с коэффициентом преобразования 2,875 и ниже [3].

При этом условии тепловой насос будет равен по эффективности современному газовому котлу с коэффициентом полезного действия, составляющим:

$$33\% \cdot 2,875 = 94,88\%$$

Но, например, в Норвегии, где практически вся электроэнергия вырабатывается гидроэлектростанциями [7], такое соотношение обеспечивается при коэффициенте преобразования, равном: $COP = 94,88: 92 = 1,03$

Поэтому в Норвегии законодательно установлено, что тепловые насосы могут работать с $COP \geq 1,2$ [2].

4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ВЫГОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТН С УЧЕТОМ ТАРИФОВ НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

Заказчик не может сделать выбор между газовым котлом и тепловым насосом, не принимая во внимание тарифы на энергоносители. Применение ТН более выгодно, чем газовый котел, если соблюдается неравенство [3]:

$$T_э < \left(\frac{COP}{\eta_k} \right) \cdot T_{\text{газ}} \quad (3)$$

Здесь $T_э$ и $T_{\text{газ}}$ – тарифы на электричество и газ соответственно, η_k – КПД газового котла.

Эксплуатационные расходы определялись, исходя из тарифов, действующих в настоящее время в Одессе и Кишиневе (таблица 2).

Таблица 2
Стоимость энергоносителей

| Город | Действующие тарифы | | |
|---------|--------------------|------------|----------|
| | Газ | | Эл-во |
| | \$/м ³ | \$/ кВт·ч* | \$/кВт·ч |
| Одесса | 0,275 | 0,02915 | 0,086 |
| Кишинев | 0,23 | 0,02438 | 0,1 |

*1\$/м³ = 0,106 \$/кВт·ч при условии, что теплотворная способность природного газа равна 33520 кДж/м³

Подставляя в (3) минимальное допустимое значение COP=2,875 и максимально возможный $\eta_k = 0,9488$, получим:

- для Одессы 0,086 0,088;
- для Кишинева 0,1 > 0,074

Несложные расчеты показывают, что неравенство (3) для Кишинева соблюдается при COP = 4 (0,1 < 0,103). Из графика на рис. 1 видно, что COP = 4 при температуре окружающей среды + 10 °С.

5. СРОК ОКУПАЕМОСТИ ЗАТРАТ

Рассмотрим экономию эксплуатационных расходов на энергоносители при применении ТН (COP=2,875, $\eta_k = 0,9488$). Она может быть вычислена по формуле:

$$\mathcal{E} = g \cdot \left(\frac{T_{\text{газ}}}{\eta_{\text{котел}}} - \frac{T_o}{COP} \right) \quad (4),$$

где g – количество тепловой энергии, кВт·ч, необходимое для отопления помещения теплицы в течение отопительного периода (таблица 1). Суммируя значения по месяцам, получим для г. Кишинева:

$$g_K = 176961 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Аналогично для г. Одессы:

$$g_O = 172748 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

После подстановки в (4) имеем для Кишинева и Одессы соответственно:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_K &= -1607,3 \$ \\ \mathcal{E}_O &= +142,2 \$ \end{aligned}$$

Полученный результат привязан к валютным курсам и действующим тарифам. Он свидетельствует о том, что настоящие тарифы не стимулируют энергосбережение.

ВЫВОДЫ

1. При выборе альтернативного источника тепла для отопления теплицы вариантом с наименьшими капитальными затратами является тепловой насос (ТН) «воздух – вода».
2. Однако в этом случае нужен дополнительно традиционный источник тепла – котел – (так называемая бивалентная схема), т.к.

теплопроизводительность воздушных ТН уменьшается с понижением температуры наружного воздуха. Кроме того, использование теплового насоса «воздух – вода» становится экономически не выгодным, когда коэффициент преобразования COP опускается до значения 2,875.

Если источником электроэнергии для ТН являются гидроэлектростанции, COP может быть существенно ниже: 1,2 по норвежским данным.

3. Безальтернативным вариантом является использование ТН «вода – вода», у которого первичный контур отбирает тепло от источника с постоянной положительной температурой: река, озеро, теплые промышленные стоки. В этом случае система отопления моновалентная – необходимость в традиционном источнике тепла – котле – отпадает. Кроме того, COP возрастает до 5 – 7, то есть с 1 кВт электрической мощности, потраченной на привод компрессора ТН, получают 5 – 7 кВт тепла.

4. Существующие тарифы на энергоносители не способствуют широкому применению тепловых насосов.

5. Использование ТН «воздух – вода» и бивалентной схемы отопления (с котлом) является в настоящее время безальтернативным вариантом там, где нет сетевого газа, а прокладка газопровода к объекту требует больших капитальных затрат, сопоставимых со стоимостью строительства теплицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://rusteplika.ru>
2. Использование тепловых насосов: опыт Франции и Норвегии. – novatechnika.info. <http://ecotechnica.com.ua/energy/zemlya/226-ispolzovanie-teplovyykh-nasosov-opyt-frantsii-i-norvegii.html>
3. Гершкович В.Ф. Всегда ли эффективен тепловой насос. – Сантехника, опалення, кондиціонування (СОК). 2009, №10, с.40 – 43.
4. <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETSscreen/>
5. Конин С. Светодиодная революция в овощеводстве. – Сантехника, опалення, кондиціонування (СОК). 2011, №8, с.62 – 63.
6. Мартыновский В. С. Тепловые насосы. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955.
7. <http://www.spazint.ru/energetika/energoberezhenie/kpd-elektrostanczij.html>
8. http://www.norge.ru/elektro_energi

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:



Демьяненко Юрий Иванович, кандидат технических наук, ст.н.с. ПНИИЛ ХТ ОНАПТ, сфера научных интересов – кондиционирование воздуха, теплообмен, альтернативная энергетика.
E-mail: dejurij@gmail.com

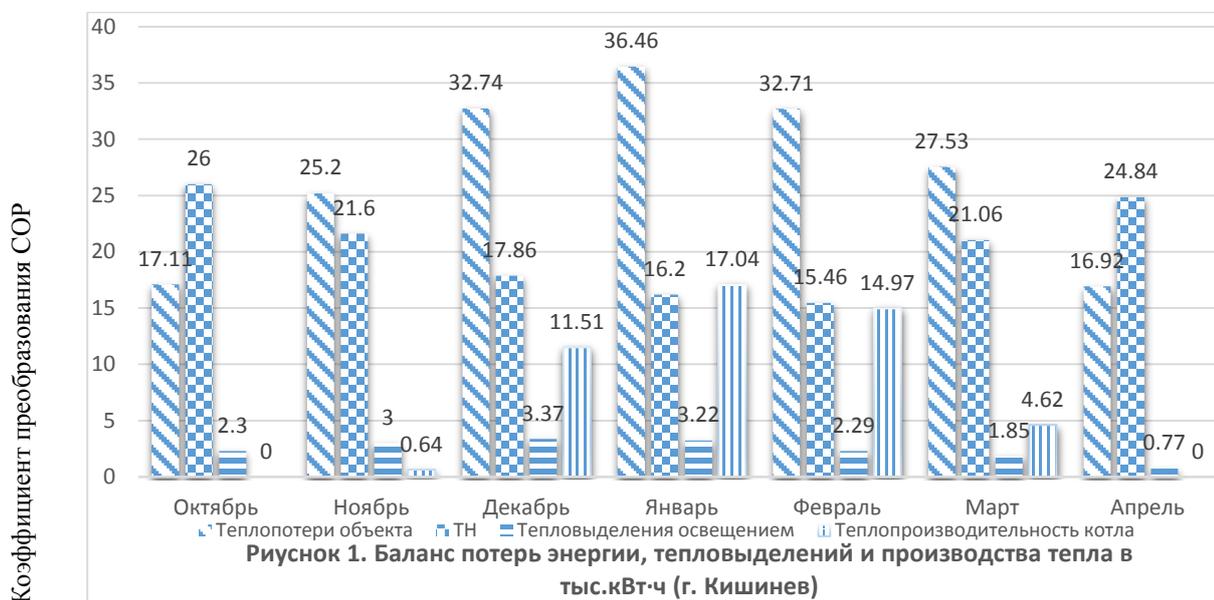


Гоголь Николай Иванович, кандидат технических наук, ст.н.с. ПНИИЛ ХТ ОНАПТ, сфера научных интересов – холодильные системы, схемные решения холодильных систем, теплообмен в элементах холодильных систем.
E-mail: nigogol@mail.ru

Таблица 1
Тепловой баланс теплицы (г. Кишинев)

| Параметр | Месяцы | | | | | | |
|---|---------|--------|---------|--------|---------|-------|--------|
| | октябрь | ноябрь | декабрь | январь | февраль | март | апрель |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Среднесуточная температура, °С | 10,1 | 3,9 | - 0,9 | -3,5 | - 2,5 | 2,6 | 9,5 |
| Продолжительность светового дня, ч | 10,8 | 9,35 | 8,68 | 9,0 | 10,68 | 11,98 | 14,28 |
| Теплопотери, кВт·ч | 17112 | 25200 | 32736 | 36456 | 32712 | 27528 | 16920 |
| Тепловыделения ламп, кВт·ч | 2393 | 2963 | 3370 | 3222 | 2291 | 1851 | 766 |
| Необходимая теплопроиз-водительность системы отопления, кВт·ч | 14719 | 22237 | 29366 | 33234 | 30421 | 25677 | 16154 |
| Выработка тепловой эне-ргии ТН, кВт·ч | 25966 | 21600 | 17856 | 16197 | 15456 | 21055 | 24840 |
| Расход эл.энергии ТН, кВт·ч | 4653 | 6768 | 6160 | 5892 | 5463 | 7291 | 4399 |
| Выработка тепловой энергии котлом, кВт·ч | 0 | 637 | 11510 | 17037 | 14965 | 4622 | 0 |

Рисунок 2



COP

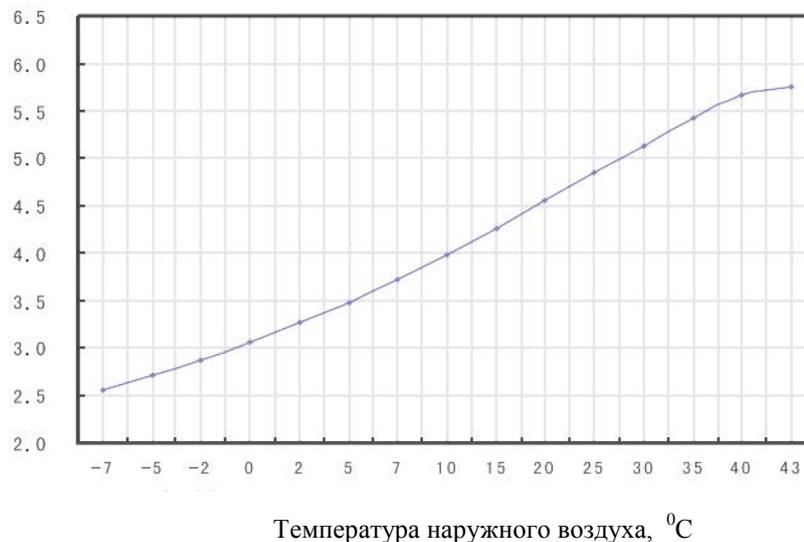


Рис.3 Зависимость коэффициента преобразования COP от температуры наружного воздуха для ТН RSJ – 380/SN1