

УДК 697.2:330.131.5

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ОТОПЛЕНИЯ**

ЖЕЛЕЗНЯКОВ Е. О.<sup>1\*</sup>, студ.  
БОГОЯВЛЕНСКИЙ С. А.<sup>2\*</sup>, студ.

<sup>1\*</sup>Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: e.zheleznyakov@mail.ru, ORCIDID:0000-0001-6124-201X

<sup>2\*</sup>Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: heartsoulforse@gmail.com, ORCIDID:0000-0002-1728-6581

**Аннотация.** *Цель.* Продолжающийся рост тарифов на центральное отопление в Украине приводит к увеличению популярности систем автономного отопления. Целью данной работы видится поиск ответа на такой вопрос: насколько экономически эффективны источники тепловой энергии, что используются в системах автономного отопления. *Методика.* Для изучения данного вопроса был использован эмпирический метод исследования. *Результаты.* Полученные эмпирическим путем данные позволили определить наиболее эффективный источник тепловой энергии для систем автономного отопления. *Научная новизна.* В процессе исследований было произведено выявление более совершенных методов для определения экономической целесообразности установки систем автономного отопления. *Практическая значимость.* Данное исследование позволяет определить эффективный источник тепловой энергии для систем автономного отопления.

*Ключевые слова:* автономное отопление; экономическая эффективность; тарифы на отопление; источник тепловой энергии

## **ПОРІВНЯЛЬНА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ОПАЛЕННЯ**

ЖЕЛЕЗНЯКОВ Є. О.<sup>1\*</sup>, студ.  
БОГОЯВЛЕНСЬКИЙ С. О.<sup>2\*</sup>, студ.

<sup>1\*</sup>Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернышевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: e.zheleznyakov@mail.ru, ORCIDID:0000-0001-6124-201X

<sup>2\*</sup>Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернышевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: heartsoulforse@gmail.com, ORCIDID:0000-0002-1728-6581

**Анотація.** *Мета.* Продовження росту тарифів на центральне опалення в Україні призводить до збільшення популярності систем автономного опалення. Метою даної роботи вбачається пошук відповіді на таке питання: наскільки економічно ефективними джерела теплової енергії для систем автономного опалення. *Методика.* Для вивчення цього питання був використаний емпіричний метод дослідження. *Результати.* Отримані емпіричним шляхом дані дозволили виявити ефективне джерело теплової енергії для систем автономного опалення. *Наукова новизна.* У процесі досліджень були знайдені більш досконалі методи для визначення економічної необхідності встановлення систем автономного опалення. *Практична значимість.* Дане дослідження дозволяє визначити ефективне джерело теплової енергії для системи автономного опалення.

*Ключові слова:* автономне опалення; економічна ефективність; тарифи на опалення; джерело теплової енергії

## **COMPARATIVE ECONOMIC EFFICIENCY OF SOURCES OF THERMAL ENERGY FOR AUTONOMOUS HEATING SYSTEMS**

ZHELEZNYAKOV E. O.<sup>1\*</sup>, stud.  
BOGOYAVLENSKIY S. A.<sup>2\*</sup>, stud.

<sup>1</sup>\*Department of heating, ventilation and air quality, State Higher Education Institution «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», st.Chernyshevsky 24th, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (056) 756-34-86, e-mail: e.zheleznyakov@mail.ru, ORCIDID:0000-0001-6124-201X

<sup>2</sup>\*Department of heating, ventilation and air quality, State Higher Education Institution «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», st.Chernyshevsky 24th, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (056) 756-34-86, e-mail: heartsoulforse@gmail.com, ORCIDID:0000-0002-1728-6581

**Annotation. Goal.** The continuing increase in tariffs for central heating in Ukraine leads to an increase in the popularity of autonomous heating systems. The research task is to find the answer to the question: what is the economic efficiency of heat energy sources of the autonomous heating systems. **Method.** The empirical method of investigation was used to study this issue. **Results.** The empirically obtained data made it possible to determine the most efficient source of heat energy for autonomous heating systems. **Scientific novelty.** In the process of research has been produced identifying better methods for determining the economic feasibility of the installation of autonomous heating systems. **Practical significance.** This study makes it possible to determine the effective source of thermal energy for autonomous heating systems.

**Keywords:** autonomous heating; economic efficient; tariffs for heating; source of heat energy

### Постановка проблемы

Высокий рост тарифов, низкий уровень доходов населения и общее нелегкое положение в экономике способствуют резкому увеличению интереса населения Украины к системам отопления альтернативным центральному (автономное отопление).

### Анализ последних исследований, выявление нерешенных ранее частей общей проблемы

В известной литературе вопросы, посвященные эффективности систем автономного отопления уже разрабатывались [1,3], но вопросы выявления экономической эффективности источников тепловой энергии для систем автономного отопления изучались недостаточно глубоко.

### Цель работы

Уже отмечавшийся выше рост интереса среди населения Украины к системам автономного отопления, требует от нас выявить наиболее экономически эффективный источник тепловой энергии для этих систем.

### Изложение основного материала исследований

В начале, нам необходимо определиться с объектами нашего исследования. В качестве таковых мы примем три источника тепловой энергии для систем автономного отопления, что являются наиболее доступными для широких масс населения Украины [1]: газовый котел, электрический котел и тепловой насос «воздух-вода». Остановимся более подробно на их описании:

- **Газовый котёл** — устройство для получения тепловой энергии в целях, отопления помещений различного назначения, нагрева воды для хозяйственных и иных нужд, путём сгорания газообразного топлива. Газообразным топливом для газовых котлов чаще всего является природный газ — метан или пропан-бутан.

- **Электрический котёл** — прибор, предназначенный для нагрева электрическим током

теплоносителя. Электродкотел часто используется в качестве резервного источника при теплоснабжении от аппаратов, которые работают от возобновляемых источников энергии, к примеру, тепловых насосов, мощности которых не всегда достаточно для обогрева помещений в период сильных холодов.

- **Тепловой насос «воздух-вода»** — устройство для переноса тепловой энергии от источника тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. Конструктивно устройства типа «воздух-вода» выполняются согласно двух компоновочных схем: сплит и моно. В первом случае установка состоит из двух блоков, соединенных коммуникациями. Один, наружный, включает мощный компрессор и испаритель (монтируется на участке недалеко от дома); второй, внутренний, содержит конденсатор и автоматику и устанавливается в помещении. В свою очередь в моноблоках все элементы собираются в общем корпусе и монтируются в доме, а с улицей соединяются гибким воздухопроводом. Есть моноблоки, допускающие как наружный, так и внутренний монтаж.

Определившись с исследуемыми объектами, перейдем к следующему шагу наших исследований. Экономическую эффективность источников тепловой энергии для систем автономного отопления мы можем установить выявив денежные затраты потребителей на получение 1 кВт-часа полезной тепловой энергии при помощи исследуемых объектов.

Итак, исходя из действующих нормативных документов низшая теплота сгорания 1 м<sup>3</sup> природного газа Q<sub>н</sub>, что поставляется потребителям, составляет 31,8 МДж [2]. Для удобства дальнейших изысканий преобразуем это число из джоулей в киловатт-часы (1 кВт-час = 3,6 МДж). Тогда при сжигании 1 м<sup>3</sup> природного газа выделяется низшая теплота сгорания Q<sub>н</sub>=8,83 кВт-час. Действующая на данный момент цена 1 м<sup>3</sup> газа является равной 6,879 грн [6]. Определим количество тепловой энергии, что газовый котёл передаёт теплоносителю системы отопления при сжигании 1 м<sup>3</sup> газа. Используем формулу:

$$Q_{\text{пт}} = \eta_{\text{гк}} * Q_{\text{нт}} \quad (1)$$

где:  $Q_{\text{пт}}$  – полезная тепловая энергия, получаемая теплоносителем при сжигании 1 м<sup>3</sup> газа, кВт-час;  
 $Q_{\text{нт}}$  – тепловая энергия, выделяемая при сжигании 1 м<sup>3</sup> газа, равная 8,83 кВт-час;  
 $\eta_{\text{гк}}$  – усредненный КПД газовых котлов, равный 0,9.

Отсюда  $Q_{\text{пт}}=7,96$  кВт-час. Проведя несложные математические вычисления, легко можно определить, что цена 1 кВт-часа полезной тепловой энергии выделяющейся при сжигании 1 м<sup>3</sup> природного газа составляет 0,87 грн.

Дальше мы определим количество электроэнергии, что необходимо затратить стандартному электрическому котлу для передачи теплоносителю полезной тепловой энергии  $Q_{\text{п1}}=1$  кВт-час. Цена 1 кВт-часа электроэнергии в Украине устанавливается решениями Национальной комиссии, что осуществляет государственное регулирование в сферах энергетики и коммунальных услуг (НКРЭКУ). В зависимости от количества ежемесячно потреблённой электроэнергии для различных категорий населения Украины НКРЭКУ определены два варианта цены 1 кВт-часа электроэнергии – 0,9 грн и 1,68 грн [4]. Для полноты исследований учтём оба варианта. Количество электроэнергии, что необходимо затратить стандартному электрическому котлу для передачи теплоносителю полезной тепловой энергии  $Q_{\text{п1}}=1$  кВт-час определяется по формуле:

$$A_{\text{эк}} = \frac{Q_{\text{пт}}}{\eta_{\text{эк}}} \quad (2)$$

где:  $A_{\text{эк}}$  – количество электроэнергии, что потребляется электрическим котлом, кВт-час;  
 $\eta_{\text{эк}}$  – усредненный КПД электрических котлов, равный 0,98.

Отсюда  $A_{\text{эк}}=1,02$  кВт-час.

Теперь перейдём к тепловому насосу «воздух-вода». Для нагрева теплоносителя тепловой насос использует энергию от низкопотенциального источника теплоты. Сама по себе она бесплатна, но для её добычи тепловой насос употребляет некое количество энергии электрической. Цена 1 кВт-часа электроэнергии в Украине выше уже была указана. Если эффективность работы описанных выше устройств определялась коэффициентом полезного действия  $\eta$  (КПД), то эффективность работы теплового насоса определяется коэффициентом преобразования теплоты COP (coefficient of performance). COP показывает соотношение вырабатываемой тепловой энергии к потребляемой электрической энергии. COP определяется по формуле:

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{п}}}{A_{\text{тн}}} \quad (3)$$

где:  $Q_{\text{п}}$  – полезная тепловая энергия, получаемая теплоносителем, кВт-час;

$A_{\text{тн}}$  – количество электрической энергии, что потребляется тепловым насосом, кВт-час.

Отсюда, количество электроэнергии, что необходимо затратить тепловому насосу для передачи теплоносителю 1 кВт-час полезной тепловой энергии определяется по формуле:

$$A_{\text{тн1}} = \frac{Q_{\text{п1}}}{\text{COP}} \quad (3)$$

где:  $A_{\text{тн}}$  – количество электрической энергии, что потребляется тепловым насосом при производстве 1 кВт-часа полезной тепловой энергии, кВт-час;  
 $Q_{\text{п1}}$  – 1 кВт-час полезной тепловой энергии.

По сравнению с описанными выше источниками тепловой энергии тепловой насос «воздух-вода» отличается сильной зависимостью от изменения температуры наружного воздуха, её разности с требуемой температурой теплоносителя и мощности работы компрессора. Всё это приводит к тому, что в зависимости от внешних условий значение COP единичного устройства может сильно изменяться. Таким образом, коэффициент преобразования теплоты, в отличие от КПД, является величиной переменной, и вывести его усреднённое значение не представляется возможным. Поэтому в рамках данного исследования будет показано изменение количества электроэнергии, что необходимо затратить тепловому насосу «воздух-вода» для передачи теплоносителю полезной тепловой энергии  $Q_{\text{п1}}=1$  кВт-час, в зависимости от перемены значения COP. В данном исследовании приняты значения  $\text{COP}=1,2\dots2,7$ . Значение нижней границы изучаемого интервала обусловлено отсутствием современных тепловых насосов обладающих  $\text{COP}<1,2$  при температуре наружного воздуха  $t_{\text{н}}\approx-15\dots-20$  °C и температуре теплоносителя  $t_{\text{тн}}\approx35\dots40$  °C [5]. Значение верхней границы изучаемого интервала обусловлено отсутствием современных тепловых насосов обладающих  $\text{COP}>2,7$  при температуре наружного воздуха  $t_{\text{н}}\approx-15\dots-20$  °C и температуре теплоносителя  $t_{\text{тн}}\approx35\dots40$  °C [5]. Результаты расчетов заносим в таблицу 1.

Таблица 1

**Зависимость количества электроэнергии, что потребляется тепловым насосом, от значения COP (при производстве 1 кВт-часа полезного тепла)/**  
**The depending of the quantity of electrical energy that is consumed by the heat pump on the value of COP (at the production of 1 kWh of useful heat)**

COP	$A_{\text{тн}}$ , кВт-час	COP	$A_{\text{тн}}$ , кВт-час
1,20	0,83	2,00	0,50
1,30	0,77	2,10	0,48
1,40	0,71	2,20	0,45
1,50	0,67	2,30	0,43
1,60	0,63	2,40	0,42
1,70	0,59	2,50	0,40
1,80	0,56	2,60	0,38
1,90	0,53	2,70	0,37

Теперь мы можем определить денежные затраты потребителей на получение полезной тепловой

энергии  $Q_{пл}=1$  кВт-час при помощи исследуемых объектов. Проведя несложные математические вычисления, мы получим требуемые значения. Результаты расчетов заносим в таблицу 2.

Таблица 2

**Цена 1 кВт-час полезной тепловой энергии, грн/  
Price of 1 kWh of useful heat energy, UAH**

Газовый котел	Электрокотел		Тепловой насос «воздух-вода»		
	Тариф на электричество, грн за 1 кВт-час		COP	Тариф на электричество, грн за 1 кВт-час	
	0,9	1,68		0,9	1,68
0,87	0,92	1,71	1,2	0,75	<b>1,40</b>
			1,3	0,69	<b>1,29</b>
			1,4	0,64	<b>1,20</b>
			1,5	0,60	<b>1,12</b>
			1,6	0,56	<b>1,05</b>
			1,7	0,53	<b>0,99</b>
			1,8	0,50	<b>0,93</b>
			1,9	0,47	<b>0,88</b>
			2	0,45	0,84
			2,1	0,43	0,80
			2,2	0,41	0,76
			2,3	0,39	0,73
			2,4	0,38	0,70
			2,5	0,36	0,67
			2,6	0,35	0,65
2,7	0,33	0,62			

В таблице 2 цена 1кВт-часа полезной тепловой энергии выработанной газовым котлом принята нами

в качестве эталона для сравнения и выделена курсивом. Цены большие, чем это значение выделены полужирным шрифтом. Цены меньшие, чем это значение обозначены обычным шрифтом. Как мы можем видеть электрический котел, при любом варианте тарифа на электроэнергию, отличается наибольшей стоимостью 1 кВт-часа полезной тепловой энергии. Газовый котел является обладателем достаточно средней цены 1 кВт-часа полезного тепла. Наименьший уровень затрат приходится на тепловой насос «воздух-вода».

**Выводы**

Если количество ежемесячно используемой потребителем электроэнергии соответствует требованиям тарифа 0,9 грн за 1 кВт-час, то тепловой насос «воздух-вода» эффективней газового и электрического котлов при заданных условиях (температура наружного воздуха  $t_{н} \approx -15 \dots -20$  °С и температура теплоносителя  $t_{тн} \approx 35 \dots 40$  °С). Если количество ежемесячно используемой потребителем электроэнергии соответствует требованиям тарифа 1,68 грн за 1 кВт-час, то тепловой насос «воздух-вода» обладает максимальной экономической эффективностью только когда  $COP \geq 2$ . Таким образом, на основании данных таблицы 2, мы можем утверждать, что наибольшей экономической эффективностью отличается тепловой насос «воздух-вода».

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Железняков Е. О., Богоявленский С. А. Экономически доступные источники тепловой энергии систем автономного отопления для среднестатистической украинской семьи / Железняков Е. О., Богоявленский С. А. // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2016. – №92. – С. 51-56
2. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия: ГОСТ 5542-87/ Мингазпром СССР. – Москва, 1987 – Режим доступа: <http://document.ua>
3. Петренко А. О. Разработка энергоэффективной гибридной системы отопления коттеджа / А. О. Петренко, В. О. Петренко, И. В. Голякова, И. И. Балычев, Е. В. Патоня // Строительство материаловедение, машиностроение. – 2015. – №84. – С. 151-156
4. Тарифы на электроэнергию // Национальная комиссия, что осуществляет регулирование в сферах энергетики и коммунальных услуг. Электрическая энергия. Население. – Режим доступа: <http://www.nerc.gov.ua>
5. Тепловые насосы «воздух-вода». Технические данные//Mitsubishi Electric. – 2015. – С. A31-A40
6. Цены на газ // Финансовый портал Минфин. – Режим доступа: <http://index.minfin.com.ua>

**REFERENCES**

1. Zheleznyakov E.O., Bogoyavlenskiy S.A. *Ekonomicheski dostupnyye istochniki teplovooy energii sistem avtonomnogo otopleniya dlya srednestatisticheskoy ukrainской sem'i*[Economically available source of heat energy of autonomous heating systems for the average Ukrainian family]/ Zheleznyakov E.O., and Bogoyavlenskiy S.A. // Building, materials science, mechanical engineering: Collection of scientific papers Issue №92. – Dnepropetrovsk, PSACEA, 2016 – p. 51-56.(in Russian)
2. Mingazprom SSSR. *Gazy gorychiye prirodnyye dly promyshlennogo i kommunal'no-bytovogo nazncheniya. Tekhnicheskiye usloviya*[Natural gases for commercial and domestic use. Specifications]. Moscow, 1987. Available at:<http://document.ua>. (in Russian)
3. Petrenko A.O. *Razrabotka energoeffektivnoy gibridnoy sistemy otopleniya kottedzha* [The development of energy-efficient hybrid cottage heating system] / A.O. Petrenko, V.O. Petrenko, I.V. Golyakova, I.I. Balychev, E.V. Patonya // Building, materials science, mechanical engineering: Collection of scientific papers Issue №84. – Dnepropetrovsk, PSACEA, 2015 – p. 151-156.(in Russian)

4. *Tarify na elektroenergiyu*[Electricity tariffs]. *Natsional'na komisiya, shcho zdiysnyuye derzhavne rehulyuvannya u sferakh energetyky ta komunal'nykh posluh. Elektrichna enerhiya. Naselenniya* [The National Commission, which regulates in energy and utilities. Electric Energy. Population]. Available at: <http://www.nerc.gov.ua>. (in Ukrainian)
5. Mitsubishi Electric. *Teplovyye nasosy «vozdukh-voda»*. *Tekhnicheskiye dannyye*[Air-water thermal pump.Specifications]. – Kiev, 2015 – p. A31-A40.(in Russian)
6. *Tseny na gaz*[Prices for gas]. *Finansovyy portal Minfin*[Financial Portal Ministry of Finance]. Available at:<http://index.minfin.com.ua>. (in Russian)

Стаття надійшла в редколегію 29.03.2017