

и А. И. Леонтьева, которая учитывает эффекты сжимаемости и неизоэргичности в пограничном слое.

**Ключевые слова:** конвективная теплоотдача, аэродинамическое сопротивление трения, аэродинамический нагрев, пограничный слой, ламинарно - турбулентный переход, турбулентные пятна Эммонса, коэффициент перемежаемости, асимптотическая теория турбулентного пограничного слоя, летный эксперимент, температура стенки, граничные числа Рейнольдса.

**Shiyko O.M. THE PROBLEM OF CALCULATION OF HEAT TRANSFER AND FRICTION RESISTANCE OF SUPERSONIC AXISYMMETRIC OBJECTS UNDER THE SOLID PROPELLANT ENGINES OPERATING IN THE PRESENCE OF PARIETALI BOUNDARY LAYER LAMINAR-TURBULENT TRANSITION AND NON-ISOTHERMAL COMPRESSIBLITI EFFECTS**

*The results of calculations of aerodynamic heating and local coefficient of friction on the surface of the head of supersonic aircraft. On the basis of flight research and calculations suggest the usefulness of theory of turbulent spots of Emmon's calculations of aerodynamic heating and friction resistance in the laminar-turbulent transition.*

**Key words:** aerodynamic resistance of friction, heat, the aerodynamic boundary layer, laminar-turbulent transition and turbulent stains of Emmon's, the flight experiment, temperature of wall, boundary Reynolds numbe

Стаття надійшла в редакцію: 04.10.2016

Рецензент: д.т.н., проф. **Топілін Г.Є.**

УДК 620.9(083)

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ И ВЕТРОУСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ**

**Л. Г. Рожкова**, к.т.н., доцент

**М. Ю. Савченко-Перерва**, к.т.н., ст. викладач

Сумський національний аграрний університет

*В статье выполнен сравнительный анализ, с точки зрения экономической целесообразности, основных аспектов выбора систем отопления с помощью возобновляемых источников энергии: низкопотенциального тепла земли, воды, воздуха и так далее, а также энергии ветрового потока. Первое реализуется применением тепловых насосов, второе - ветроустановок. Выполнен примерный расчет величины теплопотерь объекта, потребляющего тепло. Отмечены преимущества и недостатки того и другого способа. Показаны составляющие ценообразования тепловых насосов и ветроустановок.*

**Ключевые слова:** тепловые насосы, отопление, ветроустановки, теплопотери, возобновляемые источники энергии.

**Постановка проблемы в общем виде.** На современном этапе развития возникли глобальные проблемы, от решения которых зависит будущее всего человечества. Одна из таких проблем - энерго- и ресурсосбережение, так как потребности в энергии возрастают многократно, стоимость энергоносителей увеличивается, запасы традиционных источников энергии иссякают. Добавляется и экологический кризис вследствие использования невозобновляемых ресурсов планеты. Изменения климата могут привести человечество к катастрофе. Решением данной проблемы является использование альтернативных и возобновляемых источников энергии, а также максимальное использование произведенной сбрасываемой тепловой энергии.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Одним из основных направлений в развитии и внедрении энергосберегающих технологий в мире отдается возобновляемым и нетрадиционным источникам энергии. Известно,

что ветроэнергетика является одним из наиболее перспективных направлений альтернативной энергетики. Так, инвестиции в мировой ветроэнергетический сектор в 2014г. увеличились на 11%, достиг рекордных 99,5 млрд долларов США по данным Bloomberg New Energy Finance. Мировой опыт также показывает, что оптимальное соотношение централизованных и децентрализованных электрогенерирующих мощностей в любой стране примерно равен 51:49 с небольшим преимуществом централизованной энергетики. В Украине соотношение централизованных и децентрализованных электрогенерирующих мощностей составляет 93:7, где только 7% децентрализовано, что обуславливает большие потери в энергетическом комплексе [1]. Задачу децентрализации может решить применение автономных источников энергии, в частности ветроустановок. При этом следует отметить, что ветроустановки могут использоваться не только в качестве электрогенерирующих устройств, но и

для прямой генерации теплоты, используемой затем для отопления, получения горячей воды и так далее. Принципиальная схема системы отопления с использованием ветроустановки обычно включает следующие устройства: тепловой аккумулятор-генератор, в случае электронагрева теплоносителя - электрогенератор, электронагреватели, трубопроводную систему для теплоносителя с радиаторами нагревания. Существует также способ нагревания теплоносителя в тепловом аккумуляторе-генераторе с помощью перемешивания теплоносителя специальным ротором, присоединенным непосредственно к вращающемуся валу.

Другим бурно развивающимся видом использования альтернативных видов энергии является утилизация низкопотенциального тепла земли, воды, воздуха и других подобных источников. В процессе использования традиционных видов энергии (уголь, нефть, газ и т.д.) в атмосферу и воду сбрасывается значительное количество сопутствующей тепловой энергии. Это низкотемпературное рассеянное тепло, так называемый вторичный источник теплоты. Его запасы огромны, и существуют большие потенциальные возможности использования энергии, которая вокруг нас, в самых различных сферах деятельности человека. Кроме того, в качестве естественных возобновляемых источников может рассматриваться тепловая энергия земли и подземных вод (грунтовых, артезианских), а также наружного воздуха. Наиболее удачным путем реализации этого громадного потенциала является применение тепловых насосов - принципиально новое решение проблемы теплоснабжения [2].

По данным [2] на сегодняшний день геотермальный тепловой насос (Geothermal Heat Pump или GHP - система) является наиболее эффективной энергосберегающей системой отопления и кондиционирования. Геотермальные тепловые насосы получили широкое распространение в США, Канаде и странах Европейского Сообщества. GHP - системы устанавливаются в общественных зданиях, частных домах и на промышленных объектах. Толчок к развитию GHP системы получили после энергетических кризисов 1973 и 1978 годов. В начале своего развития GHP - системы устанавливались в домах высшей ценовой категории, но за счет применения современных технологий геотермальные тепловые насосы стали доступны многим американцам. Они устанавливаются в новых зданиях или заменяют устаревшее оборудование с сохранением или незначительной модификацией прежней отопительной системы. Геотермальный тепловой насос был установлен даже в широко известном небоскребе Нью-Йорка The Empire State Building.

В настоящее время применение геотермальных тепловых насосов в мире [2]:

- в США ежегодно производится около 1 млн. геотермальных тепловых насосов. При строительстве новых общественных зданий используются исключительно геотермальные тепловые насосы. Эта норма была закреплена Федеральным законодательством США;
- в ШВЕЦИИ 50% всего отопления обеспечивают геотермальные тепловые насосы. В Стокгольме 12% всего отопления города обеспечивается геотермальными тепловыми насосами общей мощностью 320 МВт, использующими как источник тепла Балтийское море с температурой +8 °С;
- в ГЕРМАНИИ предусмотрена дотация государства на установку тепловых насосов в размере 400 марок за каждый кВт установленной мощности;
- в МИРЕ по прогнозам Мирового Энергетического Комитета к 2020 году доля геотермальных тепловых насосов в теплоснабжении составит 75% .

**Формулирование целей статьи (постановка задачи).** Цель данной статьи – сравнительный анализ применения устройств для использования альтернативных источников энергии, в частности, тепловых насосов и ветроустановок в системах отопления.

**Изложение основного материала .** Мощность тепловых устройств для отопления (ветроустановки, теплового насоса и т.д.), очевидно, будет обусловлена требуемым количеством тепла. Таким образом, в первую очередь необходимо определить мощность генератора тепла. Безусловно, мощность генератора тепла должна быть больше величины теплопотерь объекта, который будет потреблять тепло. Известно, что теплопотери зданий рассчитываются по формуле:

$$Q_{зд.} = V * C_{об} * (t_{внутр.} - t_{нар.}) * k , \quad (1)$$

где V – объем здания; C<sub>об</sub> – объемная теплоемкость здания; t<sub>внутр.</sub> и t<sub>нар.</sub> – соответственно минимально допустимая температура воздуха в помещении и минимальная температура наружного воздуха для данного климатического района, k – безразмерный поправочный коэффициент, принимаемый равным (в соответствии с нормами):

$$\text{при } t_{нар.} \geq -10^{\circ}\text{C } k = 1; t_{нар.} \geq -20^{\circ}\text{C } k = 1,1; t_{нар.} \geq -30^{\circ}\text{C } k = 1,2.$$

В качестве примера определим величину теплопотерь для дома в северных областях Украины. Для северных областей Украины средняя температура наиболее холодной пятидневки t<sub>нар.</sub> = -22°С. Минимально допустимая температура воздуха в помещении t<sub>внутр.</sub> = 18°С. Объемная теплоемкость здания C<sub>об</sub> обычно принимается 0,81. Расчет показывает, что для утепленного дома площадью 100м<sup>2</sup> и высотой потолков 2,5м теплопотери в единицу времени составят:

$$Q_{д} = 2.5 * 100 * [18 - (-21)] * 0,81 * 1,1 = 8688 \text{Вт.}$$

Тогда для отопления дома в наиболее холодный период необходимо иметь теплопроизводительность системы отопления:

$$Q_{д.маx} = Q_{д} * n = 8688 * 1,15 = 9990 \text{Вт} = \sim 10 \text{кВт},$$

где  $n=1,15$  – коэффициент запаса.

Таким образом, для отопления коттеджа площадью  $100\text{м}^2$  необходим тепловой насос мощностью  $10 \text{кВт}$  либо ветроустановка со средней выработкой энергии, обеспечивающей мощность  $10 \text{кВт}$  в течение отопительного периода. По такому же принципу (по потребной тепловой мощности) рассчитывается мощность любого теплового насоса либо ветроустановки.

Тепловые насосы по устройству и принципу действия аналогичны холодильной установке, то есть основными узлами данных устройств являются испаритель (коллектор теплоты), компрессор, конденсатор и регулирующий вентиль, а принцип работы базируется на втором законе термодинамики и обратном цикле Карно. Отличие от холодильника состоит в том, что конденсация рабочего тела (холодильного агента) должна происходить при достаточно высокой температуре, обусловленной требованиями к отопительным системам. Главным здесь является то, что обратный цикл Карно не может быть осуществлен без затраты внешней энергии. В тепловых насосах для этого используется электричество и параметр, характеризующий эффективность теплового насоса (коэффициент преобразования теплоты) определяется отношением количества полученной потребителем теплоты к количеству электрической энергии, потребляемой компрессором. Обычно для отопления жилых домов используется тепло земли, рис.1 и 2.



Рис. 1 Геотермальный тепловой насос с вертикальным теплообменником



Рис. 2 Геотермальный тепловой насос с горизонтальным теплообменником

Учитывая, что эта теплота низкопотенциальна, для получения потребного ее количества необходимы достаточные площадь съема теплоты, масса рабочего тела и его удельная теплопроизводительность, а также достаточная мощность компрессора. Следует отметить жесткие требования к герметичности теплового насоса, исключающей протечку рабочего тела.

Основные преимущества тепловых насосов: возможность преобразования энергии электричества в тепловую энергию с достаточно высоким коэффициентом преобразования и отказ от традиционных источников энергии. Однако энергоэффективность тепловых насосов зависит от многих факторов.

В первую очередь от температуры, при которой происходят изменения агрегатных состояний рабочего тела (испарения и конденсации), а также от величины скрытой теплоты парообразования и, следовательно, от физических свойств рабочего тела. Обычно в контур теплового насоса заливают пропилен гликоль. Это достаточно дорогое вещество, но если в целях экономии применяют более дешевое рабочее тело, например, антифриз (как это встречается на практике), это может отравить почву на участке.

Далее большое значение по понятной причине имеет глубина расположения коллектора теплоты. Значение температуры земли зависит от заглубления, кроме того, при недостаточной глубине могут возникнуть осложнения при эксплуатации. Так, в литературе сообщается о случаях смерзания скважин и тогда эффективность теплового насоса существенно падает (в разы).

Большое значение имеет качество оборудования. Так, уменьшение цены на тепловые насосы для отопления путём применения дешёвых зондов ведет к выходу их из строя, и в этом случае необходимо бурить новые скважины под новые зонды.

Тепловой насос своими руками делать не рекомендуется, поскольку система отопления в данном случае сложная. При монтаже системы даже фирма, имеющая опыт в производстве и монтаже отопления геотермальными насосами, может сделать работу некачественно, а это приводит к падению эффективности или даже к полностью неработающей системе. Таким образом, при выборе системы отопления тепловым насосом необходимо выбирать фирмы, имеющие соответствующую репутацию.

Что касается ветроустановки, то ее мощность обусловлена величиной доли кинетической энергии ветрового потока, извлекаемой из него ветроколесом ВУ, и определяется по формуле [3, 4]

$$P = C_p \frac{\rho_0}{2} U_\infty^3 S, \quad (2)$$

где  $C_p$  – коэффициент использования энер-

гии ветра;  $\rho_v$  – плотность воздуха;  $U_\infty$  – скорость ветра;  $S$  – площадь осевого сечения фигуры, ометаемой лопастями ВУ.

Коэффициент использования энергии ветра  $C_p$  является одним из основных критериев энергетической эффективности ВУ. В настоящее время для малых ветроустановок по данным [5] величина  $C_p$  не превышает 0,3.

Скорость ветра изменяется во времени, поэтому мощность ветроустановки рассчитывается по так называемой номинальной скорости. В настоящее время существуют различные способы определения номинальной скорости. От величины номинальной скорости будут зависеть размеры ветроколеса и, следовательно, стоимость ветроустановки. Таким образом, при определении номинальной скорости необходимо решать задачу оптимизации согласования величины выработки энергии и стоимости ветроустановки. Для этого необходимы данные по ветровой обстановке в месте размещения ветроустановки. Точность выбора номинальной скорости может существенно понизить стоимость ветроустановки. С другой стороны, реальная установочная мощность ветроустановки может быть меньше 10 кВт, так как необходимое суммарное количество вырабатываемой энергии за отопительный сезон зависит от диапазона изменения скорости ветра и ее повторяемости. При наличии аккумулирующих устройств суммарное количество вырабатываемой энергии может быть равномерно распределено во времени. Таким образом, точная оценка динамики скорости ветра во времени и расчет мощности ветроустановки на базе такой оценки может существенно уменьшить затраты на нее.

Как уже было указано выше, при использовании ветроустановки для получения тепловой энергии в систему должны входить не только трубопроводная система для теплоносителя с радиаторами нагрева, но и тепловой аккумулятор. В случае электронгрева теплоносителя для теплового аккумулятора в системе необходимы электрогенератор и электронагреватели. Скорость ветра нестабильна, поэтому характеристики электрогенератора должны быть мягкими с широким диапазоном значений. Особое внимание следует обратить на согласование числа оборотов вала электрогенератора с числом оборотов вала ветроустановки с возможностью установки редуктора (мультипликатора). Подобная схема получения теплоты для отопления дома представлена на рис. 3.

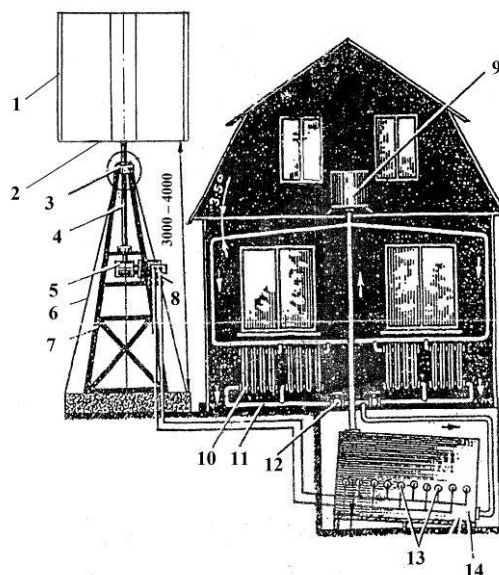


Рис. 3. Примерная схема отопления коттеджа:  
1 – ротор ветроустановки; 2 – лопасть ветроколеса;  
3 – узел подшипника; 4 – вал ротора; 5 – редуктор (мультипликатор); 6 – растяжки; 7 – башня;  
8 – генератор; 9 – расширительный бак;  
10 – отопительные батареи; 11 – обратная водопроводная магистраль; 12 – краны-регуляторы;  
13 – нагреватели; 14 – емкость теплового бака-аккумулятора.

Существует и другой вариант нагревания теплоносителя – использование эффекта перехода сопротивления жидкости перемешиванию в тепловую энергию. Удачное устройство аккумулятора-нагревателя для нагревания теплоносителя с помощью его перемешивания специальным ротором, подсоединенным к вращающемуся валу, было предложено в [6]. Конструкция аккумулятора-нагревателя показана на рис. 4.

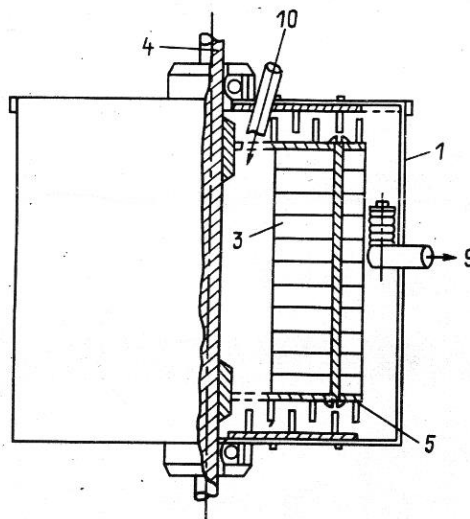


Рис. 4. Тепловой аккумулятор-нагреватель

Ротор 3 с приводом 4 вращается в заполненном водой корпусе 1, при этом энергия торможения преобразуется в тепловую энергию и нагревает воду. Для усиления эффекта завихрения предусмотрены шайбы 5. Отвод и подвод

воды происходит через патрубки 9 и 10.

Однако в этом случае, структура мощности ветроустановки должна соответствовать условиям преодоления сопротивления теплоносителя вращению ротора. Другими словами, в структуре мощности ветроустановки должна превалировать величина вращающего момента на валу. Кроме того, ветроустановка должна располагаться близко к объекту отопления, что предъявляет требования по обеспечению ее маломощности. Данные условия предполагают применение определенного типа ветроустановки: тихоходной или средней быстроходности, предпочтительно вертикально-осевой. В частности, к ним относятся ротор Савониуса [3-5] и ротор с лопастями типа КН [7].

Безусловно, при выборе вида альтернативного источника энергии необходимо учитывать стоимость устройств, преобразующих энергию источника в потребляемую. Для теплового насоса в его стоимость может входить стоимость составляющих, приведенных ниже [2]:

- тепловой насос;
- скважины, бурение скважин;
- спуск зондов;
- комплектация скважин;
- геотермальные зонды;
- пропилен-гликоль или другое рабочее тело;
- бойлер;
- трубопроводная систему для теплоносителя с радиаторами нагревания;
- монтаж системы: гребенка зондов, гидравлическая обвязка, автоматика.

Отсюда стоимость геотермального отопления и системы в целом зависит от многих факторов. Это и производитель (репутация фирмы), и мощность, и глубина бурения, теплоотдача грунта и стоимость оборудования, его монтаж и так далее. Таким образом, стоимость такого вида отопления будет определяться в каждом конкретном случае и вряд ли она будет низкой. Как видно из информации, бурное развитие применения тепловых насосов наблюдается, в основ-

ном, в развитых богатых государствах.

Что касается применения малых ветроустановок, то их монтаж не представляет особой сложности, они не потребляют электроэнергию, а могут вырабатывать ее сами в период, когда отопление не нужно, или в параллельном режиме. В цену ветроустановки, кроме ее себестоимости, может входить стоимость дополнительного оборудования, строительства фундамента, проектных и монтажных работ. Данные затраты составляют примерно 75%-90% от полных затрат. Остальное – транспортировка, обслуживание и т.д. Однако и тип ветроустановки, и ее мощность, и ее стоимость должны определяться в каждом конкретном случае, как и в случае с тепловым насосом.

Выводы.

1. Решением проблемы энерго- и ресурсосбережения является использование альтернативных и возобновляемых источников энергии, а также максимальное использование произведенной сбрасываемой тепловой энергии.
2. В качестве естественных возобновляемых источников может рассматриваться низкопотенциальная тепловая энергия земли и подземных вод (грунтовых, артезианских), а также наружного воздуха. Наиболее удачным путем реализации этого громадного потенциала является применение тепловых насосов.
3. Ветроустановки также могут использоваться не только в качестве электрогенерирующих устройств, но и для прямой генерации теплоты, используемой затем для отопления, получения горячей воды и так далее.
4. Мощность тепловых устройств для отопления (ветроустановки, теплового насоса и т.д.), очевидно, будет обусловлена требуемым количеством тепла.
5. Выбор тепловых устройств для отопления (ветроустановки или теплового насоса) зависит от многих факторов и, в первую очередь, от их эффективности и стоимости

#### **Список использованной литературы:**

1. Онпико О.В., Вітроенергетика та енергетична стратегія / Б. Коробко, В. Миханюк. – К: Фенікс, 2008 – 163с.
2. Интернет газета «Холодильщик», первое в России сетевое издание по холодильной и близкой ей тематике / Тепловой насос как основа системы отопления [Электронный ресурс] // ООО "БИ-НОМ" (МОСКВА). – 2016. - № 3(135). – Режим доступа к журналу: [holodilshchik.ru](http://holodilshchik.ru).
3. Ветроэнергетика / Под. ред. Д. де Рензо: Пер. с англ. // Под ред. Шефтера –М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
4. Твайделл Дж, Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. –М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
5. Дзэндзерский В.А., Ветроустановки малой мощности / С. Тарасов, И. Костюков. – К: «Наукова думка», 2011. – 591с.
6. Гидравлический тормоз для производства тепла. Wasserwirbelbremse zur Waermeerzeugung Заявка 4202395ФРГ, МКИ<sup>5</sup> F 24 J 3/00 F 03 D 11/00 / Walter Robert. -- № 4202395.5; Заявл.29.01.92; Оpubл.5.8.93
7. Рожкова Л.Г. Новые формы профилей лопастей вертикально – осевых ветроустановок сред-

ней быстроходности: Диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. наук: 05.14.07.- Сумы, 2005. – 196с.

**Рожкова Л.Г., Савченко-Перерва М.Ю. Порівняльний аналіз застосування теплових насосів і вітроустановок у системах опалення.**

*У статті виконано порівняльний аналіз, з точки зору економічної доцільності, основних аспектів вибору систем опалення за допомогою поновлюваних джерел енергії: низькопотенційного тепла землі, води, повітря і так далі, а також енергії вітрового потоку. Перше реалізується застосуванням теплових насосів, друге - вітроустановок. Виконаний приблизний розрахунок величини тепловтрат об'єкта, що споживає тепло. Відзначені переваги і недоліки того чи іншого способу. Показані складові ціноутворення теплових насосів і вітроустановок.*

**Ключові слова:** теплові насоси, опалення, вітроустановки, тепловтрати, поновлювані джерела енергії, ціноутворення.

**Rozhkova L. G., Ph. D., Savchenko-Pererva M. Y. Comparative analysis of applications heat pumps and wind turbines in the heating system.**

*One of the main directions in the development and introduction of energy-saving technologies in the world is the use of renewable and nonconventional source of energy.*

*In this article the comparative analysis from the point of view of economic expediency, the main aspects of the choice of heating systems using renewable energy sources: low-grade heat of the earth, water, air and so on, as well as the energy of the wind flow. The first is implemented by the use of heat pumps. Currently, geothermal heat pump (Geothermal Heat Pump or GHP system) is the most efficient energy-saving heating and air conditioning systems. In turn, the wind turbine can be used not only as power generating devices, but also for the direct generation of heat used then for heating, hot water and so on. The power of thermal heating devices (wind turbines, heat pump, etc.), obviously due to the required amount of heat. The article presents an example of calculating the power of heat generator for heating a house, are considered part of the equipment in cases of application of the heat pump or wind turbines. Noted strict requirements to tightness of a heat pump, which prevents the leakage of the working fluid.*

*Listed the following advantages of heat pumps: the rejection of traditional energy sources and the possibility of obtaining thermal energy with a sufficiently high coefficient of transformation of heat. It is noted that the energy efficiency of heat pumps depends on many factors that determine the cost of a particular product.*

*The article describes the types of device thermal batteries when you use wind turbines to produce thermal energy. Given a good device of the battery-heater for heating fluid with its special mixing rotor connected to the rotating shaft. However, in this case, the structure of power of wind turbines must meet the conditions of overcoming the resistance of the coolant to the rotation of the rotor. Indicate the types of wind turbines that meet these requirements. The advantages and disadvantages of both the method. Finally, the parameters of the pricing of heat pumps and wind turbines.*

**Key words:** heat pumps, water heating, wind turbines, heat loss, renewable energy, pricing.

Стаття надійшла в редакцію: 21.05.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Саарела Йоко