

УДК 621.577.004.18

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804172017102874>Олишевский Г. С. <sup>1</sup>, доцент, Олишевский И. Г. <sup>2</sup>, студент

## ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

**En** Air conditioning systems have become widespread not only in industrialized countries, but also in emerging economies. The main consumers of these systems are China, the United States, Latin America and Europe, and other continents. The volume of global demand for household and semi-industrial air-conditioners in 2015 alone amounted to approximately 101,8 million units. As a result of the use of air conditioning systems, a large amount of thermal energy, estimated in billions of MJ, is uselessly thrown into the environment.

Therefore, the idea arose to analyze the possibility of using such an unconventional method as the accumulation of the thermal energy of the air conditioning system in the warm period with its subsequent use in the heating system during the heating season.

As a heating system, a heat pump was adopted, as one of the most efficient alternative heating systems. Heat supply systems based on heat pumps are in most cases more efficient than from CHPPs and individual boilers. Heat pumps are widely used for heat supply of residential and administrative buildings in the developed countries of Europe, North America and other countries with similar climatic conditions to Ukraine.

As a battery, it was decided to use a displacement liquid water battery based on water. The use of such battery will significantly reduce the condensation temperature of the refrigerant in the air conditioner (from 80 ... 90°C to 45°C) and, accordingly, increase the refrigerating factor by more than 2 times. In turn, the use of a thermal battery will increase the initial temperature of evaporation of the refrigerant in the heat pump to 30°C, which will gradually decrease to 15 ° C and 4 ° C as the temperature of the water in the accumulator decreases. This will increase the energy conversion factor of the heat pump by 1,5 ... 2 times, depending on the heat load of the heating and the water temperature in the thermal battery.

Thus, using the developed automated methodology for the building with an external volume of 1125 m<sup>3</sup>, it was analyzed and determined that the use of a heat accumulator in air conditioning and heat pump heating systems allows saving up to 39% of conventional fuel in comparison with the scheme without a thermal battery. In addition, the rational volume of the heat accumulator was determined from the conditions of the minimum sum of conventional fuel costs for the air conditioning system in the warm period and the system of heat pump heating in the heating period for medium heat loads.

**Ua** Аналітично проаналізована і обґрунтована можливість ефективного застосування теплового акумулятора в комплексній системі кондиціонування і теплонасосного опалювання будівлі.

<sup>1</sup> Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», кафедра систем электроснабжения

<sup>2</sup> Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

**Вступление**

Системы кондиционирования воздуха получили широчайшее распространение не только в промышленно развитых странах, но и в странах с развивающейся экономикой. Основными потребителями этих систем являются Китай, США, страны Латинской Америки и Европы, других континентов. Объем мирового спроса на бытовые и полупромышленные кондиционеры (КНД) только в 2015 году составил примерно 101,8 млн. устройств. В результате использования систем кондиционирования воздуха, большое количество тепловой энергии, исчисляемое миллиардами МДж, бесполезно выбрасывается в окружающую среду.

В свою очередь, отопительные системы являются одними из самых затратных по использованию топливно-энергетических ресурсов (не менее 30% от общего потребления). Из-за этого происходит постоянный поиск различных решений по повышению энергоэффективности систем отопления [1]. Так, помимо теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и индивидуальных котлов с высоким КПД, хорошо зарекомендовала себя такая эффективная альтернативная система отопления как теплонасосная. Ранее были исследованы такие энергоэффективные мероприятия в теплонасосной системе, как применение бивалентной системы отопления, являющейся комбинацией теплового насоса и водогрейного котла, подключаемого в моменты пиковых нагрузок [2]. Но при использовании бивалентной схемы отопления необходимо применять дорогое котельное оборудование мощностью не менее 60% от общей нагрузки, что экономически невыгодно. Далее была произведена оценка такого способа повышения эффективности теплового насоса (ТН) как увеличение количества тепловых насосов, которые последовательно нагревают хладагент до нужной температуры [3]. При этом для двухступенчатой теплонасосной системы отопления экономия расхода условного топлива достигает 12% в сравнении с котлом, или одноступенчатым ТН для режима максимальной тепловой нагрузки на систему отопления и снимает потребность в применении пикового газового котла.

Поэтому актуальным является дальнейший поиск способов повышения эффективности теплонасосных систем отопления. Одним из таких способов может быть аккумулирование тепловой энергии системы кондиционирования в теплый период с последующим ее использованием в системе отопления в отопительный период.

**Постановка задачи**

Задачей проведения исследования является анализ эффективности комплексной системы кондиционирования и теплонасосного отопления с применением теплового аккумулятора, а также обоснование рационально-

го объёма теплового аккумулятора из условия минимума потребления условного топлива для систем кондиционирования и отопления.

### **Основной материал исследования**

В работе был рассмотрен кондиционер, работающий на базе основного парокомпрессорного холодильного цикла, при котором хладагент отбирает теплоту от охлаждаемого воздуха и передает ее и трансформируемую теплоту от процесса сжатия хладагента в компрессоре в тепловой аккумулятор (ТА).

В качестве отопительной системы была принята теплонасосная, как одна из наиболее эффективных систем отопления. Системы теплоснабжения на базе тепловых насосов в большинстве случаев являются более эффективными, чем от ТЭЦ и индивидуальных котельных. Тепловые насосы нашли широкое применение для теплоснабжения жилых и административных зданий в развитых странах Европы, Северной Америки и других странах со сходными с Украиной климатическими условиями[4].

При этом в качестве низкопотенциального источника теплоты было предложено использовать вытеснительный жидкостной тепловой аккумулятор на основе воды.

Аккумулятор теплоты представляет собой хорошо теплоизолированную от внешней среды емкость с водой, в подземном размещении. Такое решение может иметь хороший природозащитный эффект. Так как еще недостаточно исследовано влияние воздействия тепловых насосов на водоемы, подземные водоносные горизонты, грунт и т.п.

Применение такого аккумулятора позволит существенно уменьшить температуру конденсации хладагента в кондиционере с  $80...90^{\circ}\text{C}$  до  $45^{\circ}\text{C}$  и, соответственно, увеличить более чем в 2 раза холодильный коэффициент. Также, применение теплового аккумулятора позволит увеличить начальную температуру испарения хладагента в тепловом насосе до  $30^{\circ}\text{C}$ , которая будет ступенчато снижаться до  $15^{\circ}\text{C}$  и  $4^{\circ}\text{C}$  по мере уменьшения температуры воды в аккумуляторе. Это позволит повысить коэффициент преобразования энергии теплового насоса в 1,5...2 раза в зависимости от тепловой нагрузки отопления и температуры воды в тепловом аккумуляторе. В качестве примера было взято двухэтажное здание с внешним объемом  $1125\text{ м}^3$  (габаритные размеры  $15 \times 15 \times 5\text{ м}$ ).

С помощью разработанной автоматизированной методики были проведены исследования системы кондиционирования и теплонасосной системы отопления данного здания в едином комплексе с тепловым аккумулятором солнечным коллектором (рис. 1).

Сначала был подобран объем аккумулятора в соответствии с рациональным значением конечной температуры воды в аккумуляторе, тепловой

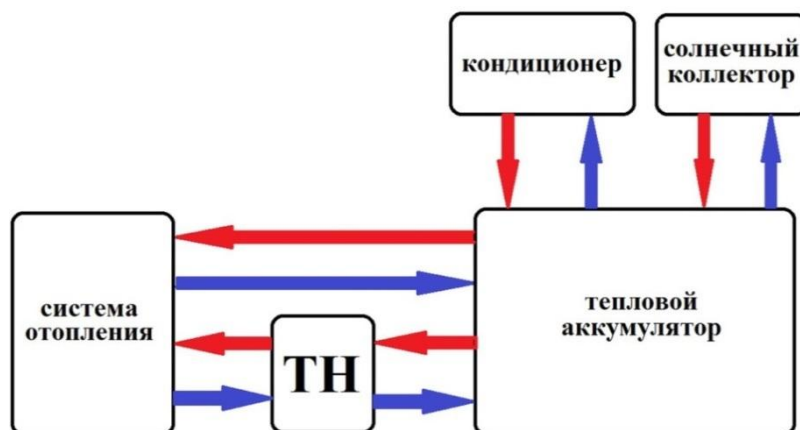


Рис. 1. Тепловая схема системы кондиционирования и теплонасосной системы отопления здания

энергии, накопленной в нем за теплый сезон от системы кондиционирования и минимально возможной температуры конденсации в конденсаторе ( $45^{\circ}\text{C}$ ). Температура испарения в испарителе при этом была принята равной  $10^{\circ}\text{C}$ . Затем было определено количество условного топлива, необходимое для работы системы кондиционирования с учетом среднемесячных температур теплого сезона (с середины мая до середины сентября) и нагрузки охлаждения здания. При этом начальная температура в аккумуляторе была принята  $25^{\circ}\text{C}$ , а подогрев воды до этой температуры от обычных  $10\dots 15^{\circ}\text{C}$  предполагается с помощью солнечного коллектора. Оценочные расчеты показывают, что это возможно сделать за полтора – два месяца перед теплым сезоном и при этом потребуется солнечный коллектор площадью около  $100\text{ м}^2$ . В дальнейшем солнечный коллектор можно использовать для компенсации тепловых потерь в аккумуляторе и на другие бытовые нужды.

Используя характеристики здания, была определена функциональная зависимость тепловой нагрузки отопления от наружной температуры.

На основании этой нагрузки был получен температурный график регулирования отопительной нагрузки (рис. 2). На графике представлены температуры воды в прямом и обратном трубопроводе для радиаторной системы отопления.

В соответствии с данными температурами были определены режимы работы системы отопления для различных месяцев отопительного сезона. Причем половину октября здание будет отапливаться без подогрева воды – прямо из аккумулятора, а далее будет работать тепловой насос, последовательно меняя температуру испарения хладагента:  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$  и  $4^{\circ}\text{C}$ .

Так, для рационального объема аккумулятора  $1000\text{ м}^3$  режимы работы и температуры в системе отопления показаны в табл. 1. Затем на основе полученных режимов был определен расход условного топлива за отопительный сезон, необходимый для работы компрессора теплового насоса.

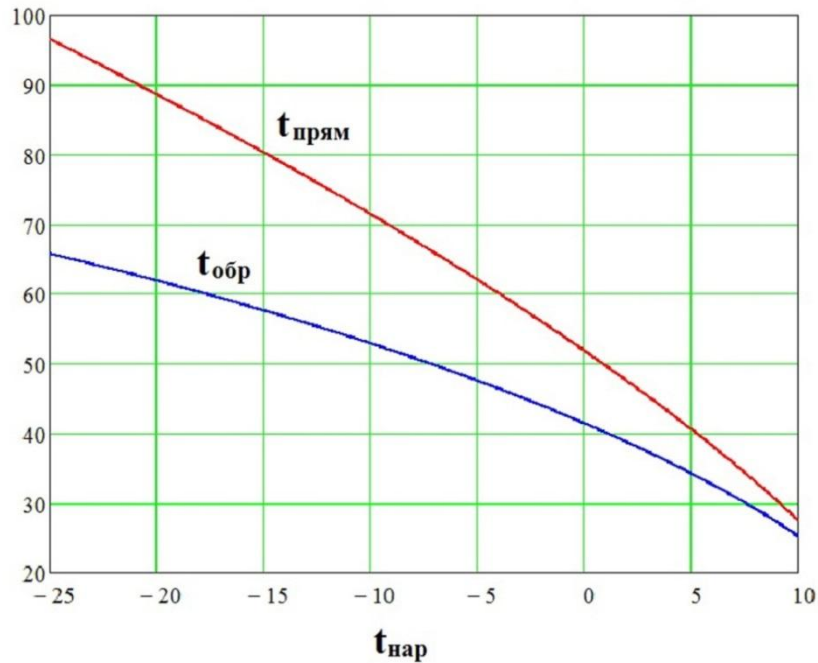


Рис. 2. Температурний графік регулювання опівительной на-  
грузки

Кроме того, для сравнения были найдены расходы условного топлива для системы кондиционирования (при температуре конденсации  $85^{\circ}\text{C}$ ) и теплонасосной системы отопления здания без применения аккумулятора – это соответственно 2223,52 и 3128,43 кг у.т., а также для системы отопления с котельным агрегатом (КА) – 5007,73 кг у.т.

**Таблица 1.**

Режимы работы и температуры системы отопления за опівительный сезон

Месяц	Температура, $^{\circ}\text{C}$				
	Прямой трубопр.	Обратный трубопр.	Воды в аккумуляторе	Испарения хлад-агента	Средняя воздуха
Октябрь (15 дн)	38,15	32,63	39,46	–	6
Ноябрь (20 дн)	47,49	38,70	38,08	30	2
Ноябрь (10 дн)			35,36	15	
Декабрь	56,02	43,97	34,06	15	–2
Январь	67,76	50,82	28,74	15	–8
Февраль	62,03	47,53	21,61	4	–5
Март	45,24	37,27	16,32	4	3
Апрель	–	–	12,84	–	–

Характеристики кондиционера и теплового насоса определялись на основе базовых холодильных циклов, в общем виде отображенных на рис. 3.

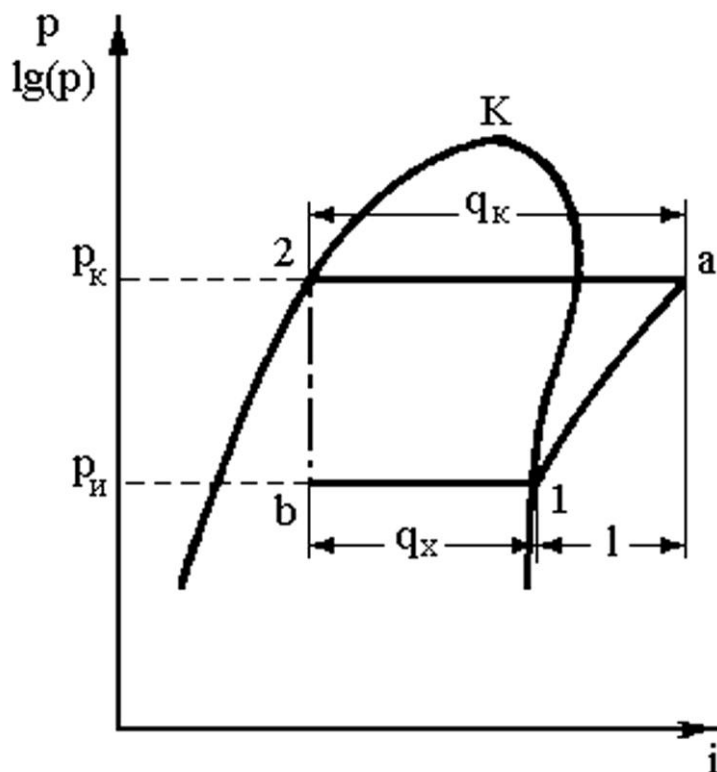


Рис. 3. Общий вид холодильных циклов для кондиционера и теплового насоса

В качестве хладагента был использован широко распространенный хладагент – фреон 11. При этом на основании  $p, i$  – диаграммы данного фреона были описаны в виде функций от температуры конденсации  $t_k$  все изображенные процессы как для кондиционера, так и для различных режимов теплового насоса.

Также был определен рациональный объем теплового аккумулятора из условий минимума суммы затрат условного топлива на систему кондиционирования в теплый период и систему теплонасосного отопления в отопительный период для средних тепловых нагрузок. Результаты данного исследования приведены в табл. 2 и на рис. 4.

**Таблица 2.**

Результаты поиска рационального объема аккумулятора

Объем аккумулятора, м <sup>3</sup>	Температура конденс. в кондицион.	Температура в аккумулят.	Расход у.т. на кондиц., кг	Расход у.т. на ТН, кг	Суммарн. расход у.т., кг
800	48	43,28	876,78	2431,76	3308,55
1000	45	39,46	793,86	2467,4	3261,27
1200	42	36,92	713,78	2596,37	3310,15

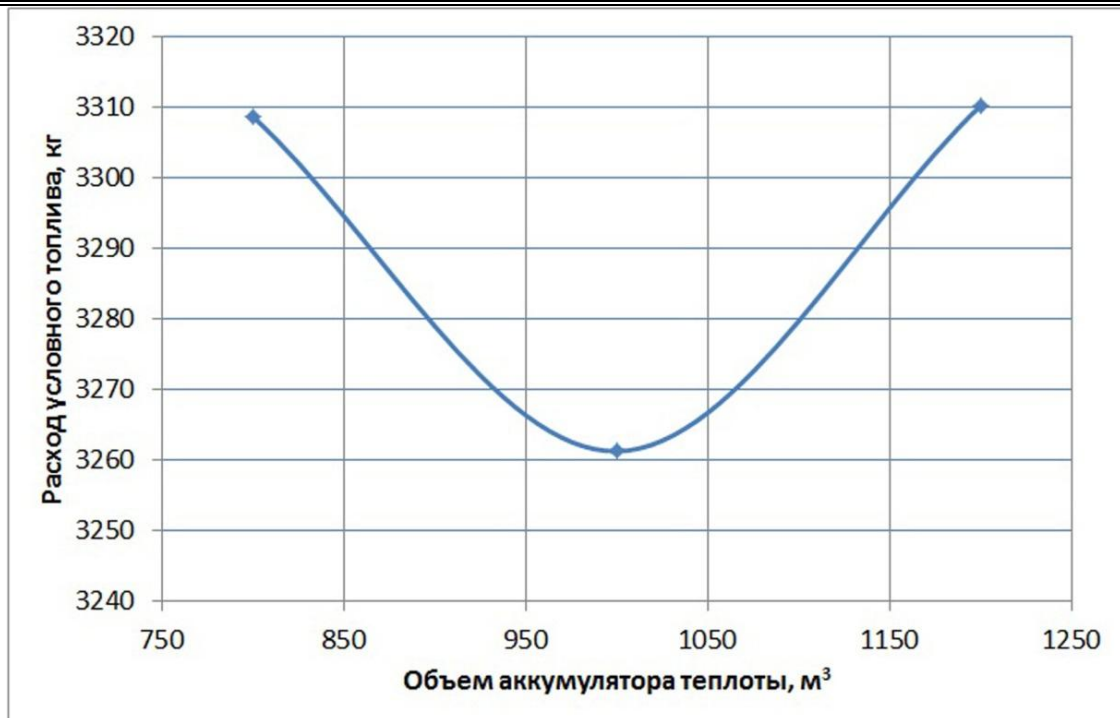


Рис. 4. Расход условного топлива для схемы кондиционирования и отопления в зависимости от объема аккумулятора

Результаты сравнительных исследований затрат условного топлива для различных схем представлены на рис. 5.

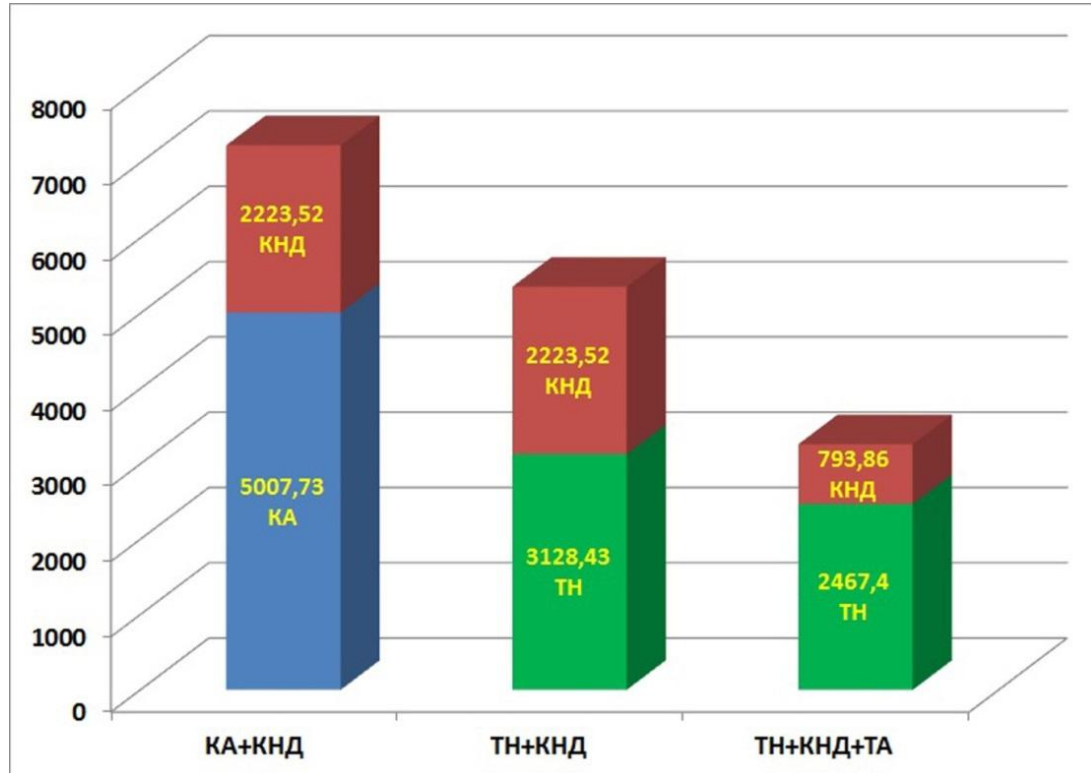


Рис. 5. Расход условного топлива для различных схем кондиционирования и отопления, кг

**Выводы**

1. Используя разработанную автоматизированную методику, было проанализировано и определено, что применение теплового аккумулятора в комплексной системе кондиционирования и теплонасосного отопления позволяет сэкономить до 39% условного топлива по сравнению со схемой без теплового аккумулятора и до 79% по сравнению со схемой с котлом и кондиционером без теплового аккумулятора.
2. Определен рациональный объем теплового аккумулятора ( $1000 \text{ м}^3$ ) для комплексной системы кондиционирования и теплонасосного отопления рассматриваемого здания из условий минимума суммы затрат условного топлива на систему кондиционирования в теплый период и систему теплонасосного отопления в отопительный период для средних тепловых нагрузок.
3. Используя разработанную автоматизированную методику, было проанализировано и определено, что применение теплового аккумулятора в комплексной системе кондиционирования и теплонасосного отопления позволяет сэкономить до 39% условного топлива по сравнению со схемой без теплового аккумулятора и до 79% по сравнению со схемой с котлом и кондиционером без теплового аккумулятора.
4. Определен рациональный объем теплового аккумулятора ( $1000 \text{ м}^3$ ) для комплексной системы кондиционирования и теплонасосного отопления рассматриваемого здания из условий минимума суммы затрат условного топлива на систему кондиционирования в теплый период и систему теплонасосного отопления в отопительный период для средних тепловых нагрузок.
5. Результаты исследований показали, что объем теплового аккумулятора на воде соизмерим с объемом самого здания. Это требует больших капитальных затрат на аккумулятор, приводит к сложностям в эксплуатации и вносит определенные ограничения на размеры аккумулятора и, соответственно, здания. Поэтому для преодоления этих ограничений необходимо подобрать жидкость для аккумулятора с повышенными теплоемкими характеристиками при соблюдении норм экологической безопасности.

Проанализирована и обоснована возможность эффективного применения теплового аккумулятора в комплексной системе кондиционирования и теплонасосного отопления здания. Разработана автоматизированная методика оценки эффективности применения теплового аккумулятора и определения его рационального объема для зданий различных размеров. Получены рекомендации по факторам, ограничивающим применение тепло-



вого аккумулятора в рассмотренной комплексной системе кондиционирования и теплонасосного отопления.

### Список использованной литературы

1. *Разумний Ю. Т.* Енергозбереження [Текст]: навч. посіб. / Ю. Т. Разумний, В. Т. Заїка, Ю. В. Степаненко – Д.: Нац. гірн. ун-т, 2005.– 166 с.
2. *Слепко В. В.* Обоснование рациональных параметров теплового насоса в системе теплоснабжения здания [Текст] / В. В. Слепко, Г. С. Олишевский, В. Е. Олишевская // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Людина і космос» (7 – 9 квіт. 2010 р.). – Д., 2010. – С. 359.
3. *Олишевский И. Г.* Обоснование рациональной схемы теплонасосной системы отопления [Текст] / И. Г. Олишевский // Механіка гіроскопічних систем / НТУУ «Київський політехнічний інститут». – Київ. – 2015. – № 30. – С. 26 – 35. DOI: <https://doi.org/10.20535/0203-377130201573171>.
4. *Корчемний М.* Енергозбереження в агропромисловому комплексі [Текст] / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Видво: Підручники і посібники, 2001. – 976 с.