

Розроблено схему комбінованого теплопостачання з використанням сезонного акумулювання тепла від геліосистеми. Представлені основні теплоакуючі матеріали використовують фазовий перехід для накопичення теплової енергії. Визначено кліматичні діапазони ефективного використання різних джерел тепла. Проведено моделювання роботи комбінованої системи теплопостачання. Визначено частки заміщення тепла в системі комбінованого теплопостачання від різних джерел теплової енергії

Ключові слова: сезонне акумулювання, геліосистема, тепловий насос, комбіновані системи теплопостачання, фазовий перехід

Разработана схема комбинированного теплоснабжения с использованием сезонного аккумулирования тепла от гелиосистемы. Представлены основные теплоаккумулирующие материалы, использующие фазовый переход для накопления тепловой энергии. Определены климатические диапазоны эффективного использования различных источников тепла. Проведено моделирование работы комбинированной системы теплоснабжения. Определены доли замещения тепла в системе комбинированного теплоснабжения от различных источников тепловой энергии

Ключевые слова: сезонное аккумулирование, гелиосистема, тепловой насос, комбинированные системы теплоснабжения, фазовый переход

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЗОННОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛА ОТ ГЕЛИОСИСТЕМ

А. С. Мазуренко

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: antmaz46@gmail.com

А. А. Климчук

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: aklimchuk74@rambler.ru

С. Ю. Юрковский

Аспирант**

E-mail: stas3000@bk.ru

Р. В. Омеко

Аспирант**

E-mail: roman.omeko@gmail.com

*Кафедра тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий**

**Одесский национальный

политехнический университет

пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

1. Введение

Одной из приоритетных задач правительства Украины в настоящее время является энергонезависимость страны. В этой связи уже были приняты ряд постановлений кабинета министров [1] направленных на снижение экспорта энергоносителей и стимулирование развития собственной энергетики, в первую очередь возобновляемой.

Весьма существенным потребителем в этой сфере выступает жилищно-коммунальный сектор [2]. Доля потребления ископаемых топлив составляет более 30 %. Для снижения потребления энергоресурсов разработаны комплексные решения, которые включают термомодернизацию здания, гидравлическую балансировку системы отопления, модернизацию источника теплоснабжения.

Отдельный интерес в коммунальном секторе представляют учебные заведения. Их отличительной чер-

той является режим работы, а также как правило, небольшая этажность. Эти две особенности делают привлекательными использование гелиоколлекторов в их системе теплоснабжения. Небольшая этажность здания позволяет рассчитывать на относительно высокую долю замещения тепла солнечными коллекторами. Двухпериодный режим работы учебных заведений позволяет снизить общее потребление тепла. Однако наличие летних каникул (в период наибольшей солнечной активности и резкого снижения теплопотребления) заставляет решать вопрос сезонного аккумулирования тепла от гелиоколлекторов для увеличения доли замещения традиционных энергоресурсов. В таких случаях применяются комбинированные системы теплоснабжения, с использованием, как возобновляемого, так и основного источника тепла.

В качестве основного источника теплоты, как правило, используется газовый котел. Однако в связи со стимулированием бытовых потребителей к переходу

на электроотопление [3] имеет смысл рассмотреть в качестве источника тепла либо электрический котел (бюджетный вариант) либо тепловой насос (энергосберегающий вариант).

Каждый из перечисленных источников тепла имеет свой диапазон эффективной работы. В этой связи для экономной работы системы теплоснабжения имеет смысл рассмотреть режимы работы комбинированной системы теплоснабжения с различными источниками тепла.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В настоящее время проведено много исследований по проблеме сезонной аккумуляции тепла от гелиосистем [4].

Авторами исследований предлагались различные решения по сохранению тепла от солнечной энергии летом и передачи его на нужды теплоснабжения в отопительный период [5].

Как правило, при сезонном аккумулировании тепла от солнца рассматривается вариант полного покрытия потребности в тепле в отопительный сезон [6]. Резервный источник тепла предлагается использовать только в крайних случаях: аварии, либо недостатка в солнечной энергии в краткий период.

Такое решение имеет ряд строительных ограничений связанных с проблемой места под расположение солнечных коллекторов на кровле здания и на прилегающих территориях. Для условий Украины при максимальном использовании площади кровли под установку гелиосистем с сезонным аккумулированием на полное покрытие нагрузки систем теплоснабжения в течении года могут рассчитывать одно-этажные и двух-этажные здания. Для зданий с большим количеством этажей (от 3-х до 5) необходима серьезная термомодернизация.

Следующим аспектом в системах теплоснабжения с использованием гелиосистем и солнечных коллекторов является выбор тепло-аккумулирующего материала.

Наиболее распространенным из теплоаккумулирующих материалов в системах солнечного теплоснабжения является вода [7, 8]. К достоинствам воды можно отнести:

- дешевизна;
- высокая теплоемкость;
- возможность использовать в качестве теплоносителя;
- экологическая безопасность.

Данные качества позволяют использовать ее как аккумулирующую среду для суточной неравномерности накопления и потребления тепла практически без конкуренции. При этом «работает» разность температур.

Вместе с тем в процессе сезонного аккумулирования максимальная эффективность использования тепла от солнца определяется температурой нижнего предела аккумуляции. Так в конце сезона зарядки аккумулятора для накопления тепла от низкотемпературного теплоносителя, например 55 °С, температура в аккумуляторе тепла не должна превышать 50 °С. В противном случае существенное количество тепла может быть потеряно для системы теплоснабжения.

Данное обстоятельство сужает температурный диапазон аккумулирования и тем самым значительно увеличивает рабочий объем аккумулятора.

Также стоит указать на конструктивную сложность изготовления резервуаров-аккумуляторов больших объемов.

В ряде пилотных проектов в качестве аккумулирующего материала используется грунт [9, 10].

В таких системах в течение летнего периода (период зарядки) тепло от солнечных коллекторов через разделительные теплообменники направляется в грунт на глубину значительно ниже глубины промерзания, где накапливается. Далее в отопительный период с помощью специальных теплообменников (в начальный период разрядки и при температурах, как правило, не ниже 0 °С), а также с помощью тепловых насосов (в конечный период разрядки и при температурах ниже 0 °С) извлекается и направляется на нужды теплоснабжения.

Такие решения с одной стороны упрощают систему теплоснабжения (нет потребности в больших резервуарах), но с другой стороны ведут к большим потерям тепла, а также требуют установки тепловых насосов, рассчитанных на максимальную тепловую мощность объекта [11, 12].

Отдельное направление исследования, посвященное с аккумулированием тепла, связано с химическими реакциями [13], которые сопровождаются выделением и поглощением тепла. Энергетическая плотность таких аккумуляторов как правило велика, однако капитальные и эксплуатационные затраты слишком велики, что существенно снижает к ним интерес в области сезонного аккумулирования.

Следующим элементом в системе комбинированной системы теплоснабжения является резервный источник тепла. В настоящее время наиболее популярны следующие пары источников тепла:

- гелиосистема – газовый котел;
- тепловой насос – газовый котел;
- гелиосистема – тепловой насос.

В первой паре газовый котел играет роль «доводчика» покрывая недостаток энергии. Во второй паре газовый котел является резервным источником тепла. В третьей паре тепловой насос служит «доводчиком».

Однако, учитывая температурные зоны эффективности работы теплового насоса и существенную разницу в стоимости основного оборудования, имеет смысл рассмотреть следующую комбинацию источников тепла:

- гелиосистема с сезонным аккумулятором – основной источник тепла;
- тепловой насос – «доводчик» тепла;
- газовый котел – резервный источник тепла.

Возникает вопрос эффективных режимов работы указанных источников тепла в комбинированной системе теплоснабжения с использованием сезонного аккумулирования [14].

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка схемы комбинированного теплоснабжения для учебных заведений с использованием сезонного аккумулирования сол-

нечной энергии и определения эффективных режимов работы источников тепла.

В качестве основных источников тепла в системе комбинированного теплоснабжения выбраны:

- гелиосистема;
- тепловой насос;
- газовый котел.

Каждый из источников имеет свои особенности эксплуатации и климатические зоны эффективного применения.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Произвести моделирование работы гелиосистемы для условий сезонного аккумулирования.
2. Разработать систему комбинированного теплоснабжения с эффективным использованием аккумулированного тепла.
3. Провести анализ работы разработанной схемы при различных климатических условиях.

4. Материалы и методы исследования

Исследования проводили на основе доступных литературных источников, существующих методик, технических характеристик систем теплоснабжения, а также с помощью специализированных расчетных программ работы гелиосистем.

4. 1. Краткий анализ используемых источников тепла

Гелиосистема наиболее продуктивна в летний период, однако в это время имеется существенный избыток тепла. Для эффективного использования солнечной энергии необходимо применять сезонное аккумулирование. Как уже упоминалось в качестве аккумулирующего материала используют различные материалы, начиная от грунта и заканчивая парафинами. Также применяя воду. Однако применение грунта требует установки дополнительного теплового насоса. Использование воды предполагает работу в широком диапазоне температур (от 50 до 90 °С), что в свою очередь влияет на теплотери и увеличивающийся со временем нижний предел температуры теплоносителя гелиосистемы.

В этой связи определенный интерес вызывают вещества, температура плавления которых находится в пределах 50–60 °С [11]. Применение таких веществ существенно сокращает объем аккумулятора, а также позволяет производить зарядку и разрядку аккумулятора при неизменной температуре.

4. 2. Аккумуляторы тепла на основе фазовых переходов

Аккумуляторы, которые используют тепловые эффекты обратных реакций фазовых переходов, характеризуются более высокой плотностью энергии тела при небольшом объеме теплоаккумулирующего материала и имеют практически постоянную температуру разрядки.

Тепловые аккумуляторы с фазовым переходом делятся на низкотемпературные (до 120 °С), среднетемпературные (120–400 °С) и высокотемпературные (400–1000 °С). Основные параметры тепловых аккумуляторов приведены в табл. 1.

При использовании теплоты фазового перехода некоторых веществ для аккумулирования теплоты обеспечивается высокая плотность энергии, небольшие перепады температур и стабильная температура на выходе из теплового аккумулятора. Невзирая на это обстоятельство, большинство теплоаккумулирующих материалов в расплавленном состоянии являются коррозионно-активными веществами, в большинстве своей имеют низкий коэффициент теплопроводности, изменяют объем при плавлении и относительно дорогие.

В настоящее время известен довольно широкий спектр веществ, что обеспечивают температуру аккумуляции от 0 до 1400 °С. Однако необходимо отметить – широкое использование тепловых аккумуляторов с фазовым переходом сдерживается в первую очередь соображениями экономичности создаваемых установок.

Таблица 1

Свойства теплоаккумулирующих материалов на основе фазового перехода

| Вещество | Плотность, кг/м ³ | Температура плавления, °С | Теплота плавления кДж/кг | Объемная теплоемкость МДж/(м ³ ·К) |
|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|---|
| Миристиновая кислота | 962,2 | 58 | 203,6 | 195,9 |
| Парафин высокоплавкий С ₃₂ | 781,4 | 73 | 212,0 | 165,7 |
| Парафин, С ₂₄ | 778,6 | 51,1 | 141,2 | 110,0 |
| Дифинил | 1180 | 70,5 | 121,5 | 141,4 |
| Вода | 980 | 0 | 335,0 | 307 |
| Глауберова соль | 1554 | 32 | 251,4 | 390,8 |

В качестве теплоаккумулирующего материала с фазовым переходом могут быть использованы: кристаллоид гидраты, природный воск, парафины, насыщенные жиры органических кислот. При сравнении аккумуляторов основанных на фазовом переходе важными показателями является теплота фазового перехода, что обеспечивает плотность энергии, которая запасается и температура фазового перехода, от которой зависит сфера применения данного материала.

Для аккумулирующей среды с использованием теплоты фазового перехода важны следующие свойства:

- низкая стоимость;
- высокая теплота фазового перехода;
- приемлемая температура плавления;
- высокая теплопроводность в твердой и жидкой фазах;
- высокая теплоемкость в твердой и жидкой фазах;
- низкое термическое расширение;
- слабая химическая активность;
- безопасность.

Применение конкретного типа аккумулятора зависит от условий использования. Основными критериями для выбора аккумулятора являются:

- аккумулирующая способность;
- диапазон рабочих температур;
- доступность и безопасность эксплуатации.

4. 3. Температурные диапазоны эффективного применения источников тепла

Использование в схеме теплового насоса эффективно в определенном диапазоне температур наружного воздуха [14], когда коэффициент трансформации не ниже 3. Как правило, для одноступенчатых тепловых насосов $COP \geq 3$ при температуре наружного воздуха $\geq 0 \div -5$ °С. При низких температурах наружного воздуха себестоимость производимого тепла тепловым насосом будет выше, нежели газовым котлом [15].

Газовый котел в схеме является резервным источником тепла, а также покрывает нагрузку теплоснабжения при температурах наружного воздуха ниже -5 °С.

Необходимо также обратить внимание на температурный режим системы отопления. Как правило, системы отопления при расчетной температуре наружного воздуха рассчитаны на подающую магистраль $+80$ °С, в обратной магистрали $+60$ °С. При использовании аккумуляторов на основе парафинов температура в подающей магистрали не будет превышать 55 °С. Одноступенчатый тепловой насос при температуре наружного воздуха 0 °С в подающей магистрали при $COP \geq 3$ может поддерживать температуру теплоносителя не выше 45 °С. Эти обстоятельства накладывают дополнительные ограничения на область эффективного применения для данных источников.

Учитывая представленные обстоятельства можно сформулировать диапазон применения различных источников тепла:

- гелиосистема в комбинации с сезонным баком-аккумулятором эффективно работает в области температур наружного воздуха от 0 °С и выше;
- тепловой насос эффективно работает в области температур наружного воздуха от 0 °С и выше (при использовании ночного тарифа на электроэнергию возможна работа до -5 °С);
- газовый котел целесообразно использовать при значениях температур наружного воздуха от 0 °С и ниже.

5. Результаты исследований комбинированной системы теплоснабжения для 4-х этажного учебного корпуса

Для учебного корпуса университета высотой 4 этажа и двухэтажной пристройкой была разработана и исследована схема комбинированного теплоснабжения (рис. 1).

Потребная тепловая мощность системы отопления составляет 75 кВт, площадь кровли позволяет расположить на ней 66 плоских солнечных коллекторов с площадью абсорбера $2,33$ м².

К рассмотрению предлагается схема с использованием гелиосистемы, теплового насоса типа «воздух-вода», газового котла, сезонного бака-аккумулятора [16]. Для расчета применялась конструкция полого бака-аккумулятора заполненного шариками из парафи-

на в тонкой оболочке. Пространство между шариками заполнено водой, которая играет роль промежуточно-го теплоносителя.

Работа бака-аккумулятора основана на поглощении теплоты от гелиосистемы шариками парафина при расплавлении. Также учитывалась способность аккумулировать тепло за счет частичного перегрева и переохлаждения парафина. Как показали исследования доля аккумуляции тепла за счет изменения температур парафина (переохлаждение и перегрев) не превышает 10 % от общего количества аккумулированного тепла.

Учитывая разные температурные режимы, давления и виды теплоносителей последовательно по вторичному контуру установлены разделительные теплообменники.

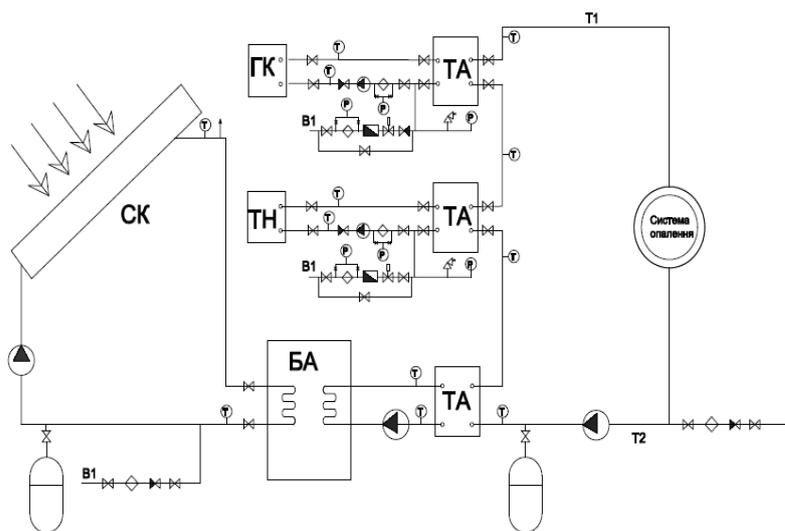


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированной системы теплоснабжения для учебного корпуса: СК – солнечный коллектор, БА – бак-аккумулятор, ТН – тепловой насос, ТА – пластинчатый теплообменный аппарат, ГК – газовый котел, Т1 – подающая магистраль системы отопления, Т2 – обратная магистраль системы отопления, В1 – система подпитки

В зависимости от температурного режима системы отопления включаются источники тепла с наиболее эффективными показателями.

Схема позволяет использовать параллельно несколько источников тепла, поэтапно поднимая температуру теплоносителя до необходимого значения.

Моделирование процесса получения тепла от гелиосистемы осуществлялось с помощью специализированной программы (рис. 2). Данная программа также позволяет смоделировать температурные режимы первичного контура гелиосистемы, что в свою очередь помогает оценить эффективность процесса сезонного аккумулирования.

Количество тепла, которое можно получить за летний сезон для аккумулирования, используя солнечные коллекторы:

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_{\text{май}} + Q_{\text{июнь}} + Q_{\text{июль}} + Q_{\text{август}} + Q_{\text{сентябрь}} = \\
 &= 17175 + 18927 + 20101 + 17218 + 11163 = \\
 &= 84584 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 304,5 \text{ ГДж}.
 \end{aligned}$$

Объем теплоаккумулирующего материала с фазовым переходом (парафина) составит:

$$V = Q_{\text{фп}} / (r \cdot \rho) = 304,5 \cdot 10^6 / (141 \cdot 780) = 2768,7 \text{ м}^3,$$

где $Q_{\text{фп}}$ – количество теплоты, получаемое за счет фазового преобразования, ГДж; r – теплота плавления парафина, кДж/кг; ρ – плотность парафина, кг/м³.

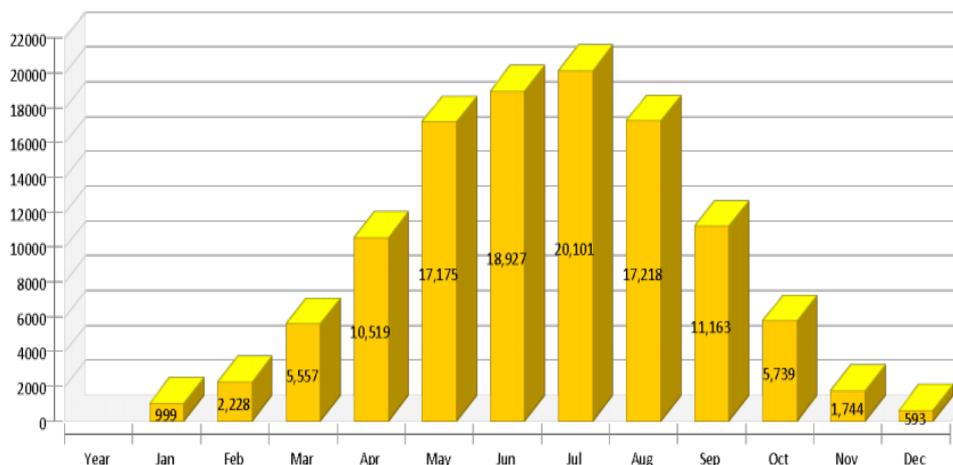


Рис. 2. Результаты моделирования процесса получения тепла от солнца в течение года

По результатам исследования были получены доли замещения потребляемой тепловой энергии различными источниками тепла (рис. 3).



Рис. 3. Доля замещения тепла источниками тепла в комбинированной тепловой схеме для учебного корпуса

При этом температурный диапазон работ для всех типов применяемых в схеме источников тепла был принят следующий:

- разрядка бака-аккумулятора – температура наружного воздуха выше 0 °С;
- работа теплового насоса – температура наружного воздуха выше 0 °С;
- работа газового котла – температура наружного воздуха ниже 0 °С.

Как видно из диаграммы, основную нагрузку системы теплоснабжения способны покрыть возобновляемые источники энергии. Газовый котел покрывает всего лишь 13 %. Встает вопрос целесообразности использования его в системе. Учитывая незначительную (по сравнению с другими источниками тепла) стоимость оборудования, а также выполнение функций резервного источника применение его в схеме обосновано.

Также обращает на себя внимание оставшееся количество низкопотенциального тепла в сезонном аккумуляторе. Для его использования необходима установка дополнительного теплового насоса типа «вода–вода», либо модернизация используемого теплового насоса типа «воздух–вода». Данное обстоятельство указывает на необходимость отдельного исследования в области комбинированных систем теплоснабжения.

6. Выводы

В результате проведенной работы была разработана схема комбинированного теплоснабжения с использованием сезонного аккумулирования, а также определены температурные зоны эффективной работы каждого из источников тепла.

Проведенное моделирование работы гелиосистемы позволяет отметить большую долю замещения тепла в общем тепловом балансе здания (49 %). Такой вывод говорит о целесообразности использования данного источника тепла в режиме сезонного аккумулирования.

Разработанная схема комбинированного теплоснабжения состоит из трех источников тепла разделенных промежуточными теплообменными аппаратами. Данная комбинация позволяет использовать каждый из источников (либо несколько из них одновременно) в зоне эффективной работы по отношению к температуре наружного воздуха:

- гелиосистема при температуре наружного воздуха не ниже 0 °С;
- тепловой насос типа «воздух–вода» при температуре наружного воздуха не ниже –5 °С;
- газовый котел при температуре наружного воздуха ниже –5 °С.

Литература

1. Закон України про енергозбереження: №74/94 від 1.07.1994 р. [Текст] / Закони України. Т. 7. – Київ, 1997. – С. 281–291.
2. Щегольков, А. В. Проблемы потребления и экономии тепловой энергии в жилом фонде [Текст] / А. В. Щегольков, М. А. Мишин // Ползуновский вестник. – 2011. – № 1. – С. 257–265.
3. Постанова кабінету міністрів «Про стимулювання споживачів природного газу і теплової енергії до переходу на електричне опалення та гаряче водопостачання» [Текст] / Постанова кабінету міністрів від 9.07.2014.
4. Левенберг, В. Д. Гольстрем Аккумуляирование тепла [Текст] / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач, В. А. – Киев: Тэхника, 1991. – 84 с.

5. Денисова, А. Е. Аккумуляция энергии в геосистемах теплоснабжения [Текст] / А. Е. Денисова // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 2. – С. 9–14.
6. Климчук, О. А. Використання теплоти фазового перетворення для сезонного акумулювання у геосистемах [Текст] / О. А. Климчук, Р. В. Омеко, О. А. Роговенко // Сборник научных трудов «Строительство и техногенная безопасность». – 2014. – Вып. 49. – С. 164–168.
7. Бабаев, Б. Д. Сравнительные характеристики различных типов аккумуляторов тепла, перспективне направления разработок новых методов и устройств для аккумуляции тепловой энергии [Текст] : док. введущ. спец. / Б. Д. Бабаев // Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов. – Махачкала, 2013. – С. 125–137.
8. Сотникова, О. А. Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения [Текст] / О. А. Сотникова, В. С. Турбин, В. А. Григорьев // Журнал «АВОК». – 2003. – № 5. – С. 40–44.
9. Бродянский, В. М. Доступная энергия земли и устойчивое развитие систем жизнеобеспечения. Часть 1. Эффективность искусственных систем [Текст] / В. М. Бродянский // Технические газы. – 2011. – № 2. – С. 48–65.
10. Luescher, M. Temperature distribution in karst systems: the role of air and water fluxes [Text] / M. Luescher, P-Y. Jeannin // Terra Nova. – 2004. – Vol. 16, Issue 6. – P. 344–350. doi: 10.1111/j.1365-3121.2004.00572.x.
11. Климчук, О. А. Альтернативні системи теплопостачання житлових будівель із використанням теплових насосів та акумуляторів тепла [Текст] : матер. V Міжн. наук.-прак. конф. / О. А. Климчук, С. С. Титар, В. І. Шевчук, О. Д. Димитров // Управління проектами: інновації, не лінійність, синергетика. Т. 2. – Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2014. – С. 102–105.
12. Богданов, А. Тепловой насос и теплофикация [Текст] / А. Богданов // Энергетика и ресурсосбережение. – 2002. – № 3. – С. 6–59.
13. Григорьев, В. А. Исследование режимов работы химических аккумуляторов теплоты [Текст]: матер. 55-56 научн.-техн. конф. / В. А. Григорьев // Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2001. – С. 146–147.
14. Денисова, А. Е. Особенности работы теплового насоса в комплексной альтернативной системе теплоснабжения [Текст] / А. Е. Денисова // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 1. – С. 6–8.
15. Алимгазин, А. Ш. Пути повышения энергетической эффективности теплонасосных технологий в РК [Текст] / А. Ш. Алимгазин, Ю. М. Петин, А. П. Кислов // Вестник ПГУ им. С. Торайгырова, серия «Энергетика». – 2010. – № 2. – С. 25–39.
16. Климчук, О. А. Установка комбінованої системи альтернативного теплопостачання навчального корпусу ОНПУ. Т. 2. [Текст]: матер. IV міжн. конф. / О. А. Климчук, Нго Мінь Хісу, А. С. Мазуренко, А. Є. Денисова // Конференція магістрів, аспірантів та науковців, 2013. – С. 92–94.