

УДК 621.

Н. Г. ГАНЖА, ведущий инженер

А. В. ХИМЕНКО, аспирант

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков

## ТЕПЛОВОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*Рассматривается возможность аккумулирования тепловой энергии в традиционных системах теплоснабжения и системах, использующих возобновляемые источники энергии.*

*Розглядається можливість акумулювання теплової енергії в традиційних системах теплопостачання та системах, що використовують поновлювані джерела енергії.*

### Введение

Актуальной задачей для энергетики Украины является повышение энергетической эффективности существующих систем теплоснабжения и развитие возобновляемой энергетики. Одним из эффективных способов решения этой задачи является применение аккумуляторов тепла в системах теплоснабжения.

Обзор литературы по данной теме позволяет сделать вывод о том, что большое внимание уделено вопросу модернизации традиционных систем теплоснабжения и рассмотрению систем теплоснабжения, использующих возобновляемые источники энергии, но мало рассмотрена роль аккумуляторов тепла, повышающих эффективность использования тепловой энергии.

**Целью статьи** является рассмотрение возможности использования тепловых аккумуляторов в различных системах теплоснабжения.

### Основная часть

Большинство котлов, работающих на котельных Украины, давно выработали свой ресурс, поэтому КПД таких котлов зачастую не превышает 60–75 %. Особенно остро эта проблема ощущается в небольших городах и сельских районах, где тепловая энергия вырабатывается на мелких котельных и использование их в летний период для подогрева воды на нужды горячего водоснабжения (ГВС) крайне нерационально из-за снижения и неравномерности нагрузки, что приводит к большому перерасходу топлива. Учитывая тот факт, что в летнее время характерно наличие избытка вырабатываемой электроэнергии [1], то использование электрических ТА, накапливающих тепловую энергию в ночное время, в системах горячего водоснабжения является целесообразным. Также представляется возможным использование электрических ТА в схемах систем теплоснабжения - дублирование котла электрическим ТА для догрева теплоносителя до необходимой температуры или замена котла электрическим ТА [1].

Жидкостные ТА в виде баков-аккумуляторов являются наиболее простыми и надежными в конструктивном отношении ТА. В таких ТА происходит прямое аккумулирование, т. е. теплоноситель является одновременно и аккумулирующим материалом. Наибольшее распространение получили баки-аккумуляторы вытеснительного типа [1]. Такие баки могут служить в качестве аккумулирующей емкости избыточного тепла от источника, т. е. для стабилизации его работы (например, аккумулирование нагреваемой воды для системы ГВС в часы ее минимального потребления с последующим ее использованием в часы максимального потребления). Возможно подключение бака-аккумулятора к одному греющему контуру (электрический, газовый или твердотопливный котел), который обеспечит нагрев теплоносителя (воды) до необходимой температуры, или подключение еще догревающего контура (гелиосистема, тепловой насос), что позволит использовать котел меньшей мощности и соответственно снизить потребления органического топлива или электроэнергии.

При использовании возобновляемых источников энергии для теплоснабжения зданий, в

частности солнечной энергии, необходимо учитывать: неравномерность поступления в течение дня, изменчивость метеорологических условий, ограниченность применения, связанная с климатическими параметрами местности, несогласованность периода максимальной выработки тепла с периодом его потребления [1, 2].

Использование ТА в системах геотеплоснабжения дает возможность повысить эффективность использования солнечной энергии путем согласования режимов выработки и потребления тепловой энергии. Целесообразным также является дублирование ТА традиционными источниками энергии (например, внепиковой электроэнергией).

Ниже приведены варианты схем систем геотеплоснабжения с ТА (рис. 1) [1, 3].

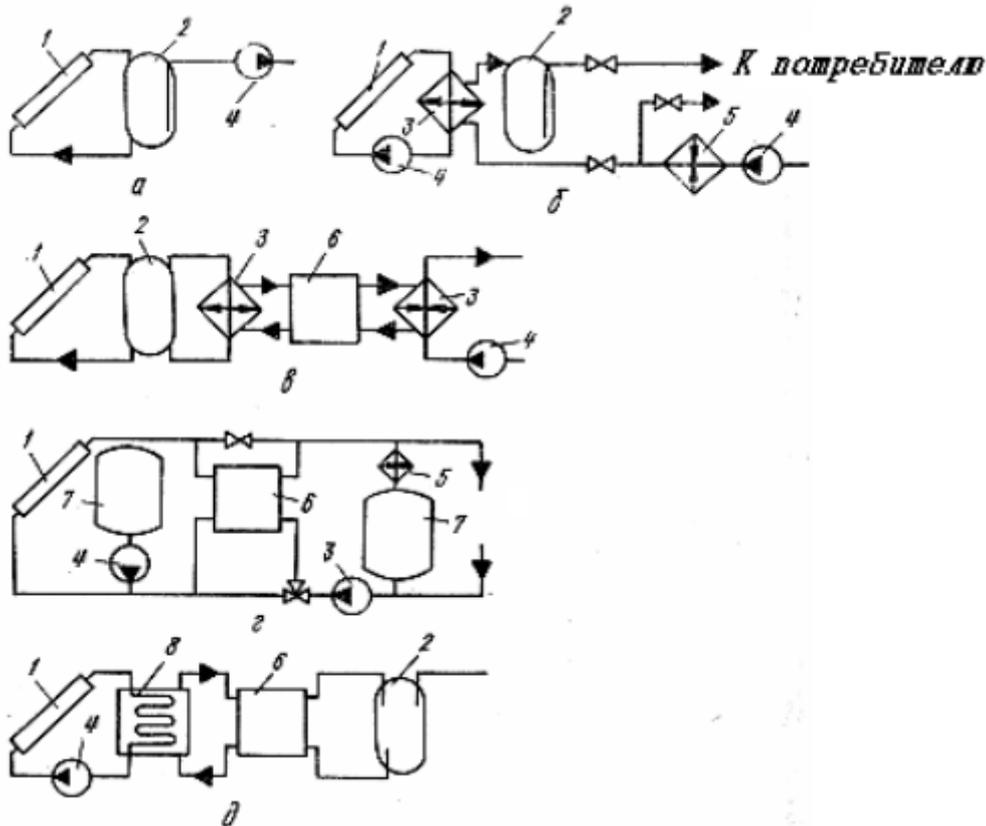


Рис. 1. Типовые схемы систем геотеплоснабжения с ТА:

- а – сезонная; б – с дублирующим источником тепла (электричество, газ); в – с тепловым насосом; г – с двумя аккумуляторами фазового перехода и использованием внепиковой электроэнергии; д – с совместной аккумуляцией тепла и холода; 1 – солнечные панели; 2 – водяной ТА; 3 – промежуточный теплообменник; 4 – циркуляционный насос; 5 – резервный подогреватель; 6 – тепловой насос; 7 – ТА фазового перехода

Возможны следующие режимы работы геосистем:

- 1) Покрытие нагрузки отопления и ГВС (режим теплоснабжения);
- 2) Покрытие нагрузки только ГВС в течение всего года;
- 3) Покрытие нагрузки только ГВС в неотапительный период.

Первые два режима предполагают использование геосистемы по двухконтурной схеме, когда в греющем контуре циркулирует теплоноситель (например, этиленгликоль), а тепло в бак-аккумулятор отводится через теплообменник. Сезонные установки могут быть одноконтурными и заполненными водой. Для расчета параметров геосистемы применяется так называемый f-метод, учитывающий климатические параметры местности: значение суммарной и рассеянной солнечной радиации за месяц на горизонтальную поверхность и среднемесячную температуру воздуха [4].

При покрытии тепловой нагрузки системы ГВС и системы отопления внутри бака-аккумулятора устанавливаются теплообменные поверхности для греющего контура системы отопления от котла, от гелиосистемы или теплового насоса и теплообменная поверхность для нагреваемого контура системы ГВС, а теплоноситель для системы отопления отводится через соответствующие патрубки. При покрытии тепловой нагрузки в течение всего года только системы ГВС применяется та же схема подключения, исключая теплообменник для нагреваемого контура ГВС (вода отводится через соответствующий патрубок) с одновременным подводом холодной воды через патрубок в нижней части бака-аккумулятора. Мощность теплообменника рассчитывается исходя из температурного режима системы ГВС или системы отопления здания. Возможен также дополнительный нагрев теплоносителя в баке-аккумуляторе электрическими нагревательными элементами (ТЭН). Мощность ТЭН рассчитывается исходя из того, что подогрев (догрев) теплоносителя осуществляется в период действия пониженных тарифных коэффициентов на электроэнергию: 0,35 тарифа с 23.00 до 6.00, 0,4 тарифа с 23.00 до 7.00 [5].

Использование комбинированных систем теплоснабжения (например, котел на органическом топливе или электрический и гелиосистема) дает возможность экономить от 40 % до 80 % органического топлива в год (в зависимости от режима работы системы) [1,4].

Средний тепловой поток на горячее водоснабжение  $Q_{CP}^{Г.В.}$ , Вт определяется по формуле [6]:

$$Q_{CP}^{Г.В.} = \frac{1,2 \cdot n \cdot (a \div b) \cdot (55 - T_x)}{24 \cdot 3,6} c, \quad (1)$$

где  $n$  – число человек;

$a$  – норма потребления горячей воды для жилых зданий (105 л/сут);

$b$  – норма потребления горячей воды для общественных зданий (25 л/сут);

$T_x$  – температура воды в зимний период (5 °С);

$c$  – удельная теплоемкость воды (4,19 кДж/кг °С);

1,2 – коэффициент неравномерности потребления горячей воды.

Средний тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение в летний период определяется по формуле:

$$Q_{CP}^{Г.В.Л.} = Q_{CP}^{Г.В.} \cdot (55 - T_{х.л.}) / (55 - T_{х.з.}) \cdot B, \quad (2)$$

где  $T_{х.л.}$  – температура водопроводной воды в летний период (15°С);

$B$  – коэффициент, учитывающий снижение среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий в летний период по отношению к отопительному, принимается равным 0,8.

Средний тепловой поток, Вт, на отопление определяется по формуле:

$$Q_{CP}^{OT} = Q_{менл.номеру} \cdot \frac{(T_г - T_{cp.om})}{(T_г - T_{p.om})}, \quad (3)$$

где  $T_г$  – температура, которую необходимо поддерживать в отапливаемом помещении, °С;

$T_{cp.om}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

$T_{p.om}$  – минимальная температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки.

Объем бака-аккумулятора определяется исходя из тепловой нагрузки на систему ГВС и (или) систему отопления [8]:

Уравнение теплового баланса для бака-аккумулятора без учета перемешивания аккумулирующего вещества (стратификации) (рис. 3) [7]:

$$(m \cdot C_p)_S \frac{dT_S}{d\tau} = Q_u - L - (UA)_S (T_S - T_a), \quad (4)$$

где  $m$  – масса нагретой воды, кг;  
 $C_p$  – теплоемкость воды, Дж/кг·°С;  
 $T_s$  – температура воды в баке-аккумуляторе, °С;  
 $\tau$  – время, с;  
 $Q_u$  – теплота, поступающая от солнечного коллектора, Вт;  
 $L$  – теплота, отводимая к потребителю, Вт;  
 $UA$  – произведение коэффициента теплопередачи на площадь поверхности бака-аккумулятора, Вт/°С;  
 $T_a$  – температура окружающей среды, °С.  
 Уравнение (5) можно преобразовать и записать относительно  $Q_u$ :

$$Q_u = (G \cdot C_p)_C (T_{C,0} - T_s) \tag{5}$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя, кг/с;  
 $T_{C,0}$  – температура теплоносителя на выходе из коллектора, °С.  
 Уравнение теплового баланса бака-аккумулятора с учетом стратификации аккумулирующего вещества и с внутренними теплообменниками на греющем и нагреваемом контурах рис. 2 [7]:

$$Q_u = (G \cdot C_p)_C (T_{C,0} - T_{C,i}) \tag{6}$$

где  $T_{C,0} - T_{C,i}$  определяется из уравнения:

$$\frac{T_{C,0} - T_{C,i}}{T_{C,0} - T_s} = 1 - e^{-(UA)_C / (G \cdot C_p)_C} \tag{7}$$

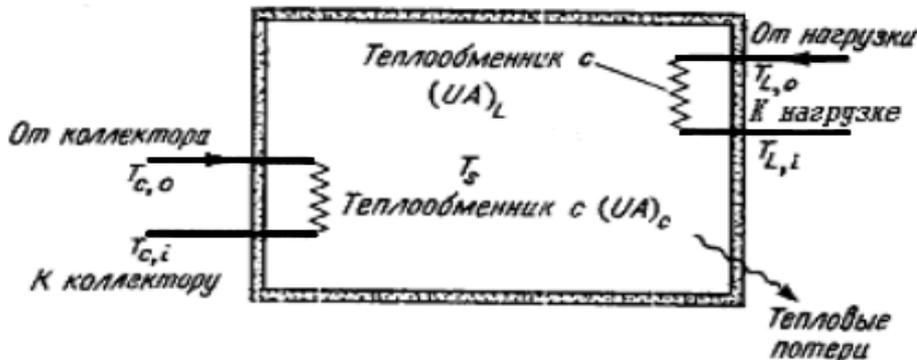


Рис. 2. Водяной бак-аккумулятор с перемешанным аккумулирующим веществом (вода), в который теплота подводится через теплообменник  $C$ , а отводится через теплообменник  $L$

Отвод теплоты потребителю через теплообменник  $L$  определяется из соотношения:

$$Q_L = (G \cdot C_p)_L (T_{L,i} - T_{L,0}) \tag{8}$$

где  $T_{L,i} - T_{L,0}$  определяется из соотношения:

$$\frac{T_{L,i} - T_{L,0}}{T_s - T_{L,0}} = 1 - e^{-(UA)_L / (G \cdot C_p)_L} \tag{9}$$

В системах гелиотеплоснабжения также возможно применение ТА со слоевой теплообменной насадкой (Рис. 3) [7]. В таких ТА используется теплоемкость слоя аккумулирующего материала (галька, шамот, кирпич), через который проходит

теплоноситель, например, воздух, отдающий тепло слою аккумулирующего материала при зарядке ТА или отбирая тепло при разрядке. Такие слоевые насадки имеют высокий коэффициент теплопередачи между воздухом и твердым телом (камнем), высокую теплоемкость, низкую стоимость аккумулирующего материала.

Как правило, такие ТА состоят из контейнера с решеткой для поддержания слоя аккумулирующего материала и направляющих лопаток в нижней и верхней части для распределения потока воздуха. Подвод тепла осуществляется обычно сверху вниз, а отводится снизу вверх.

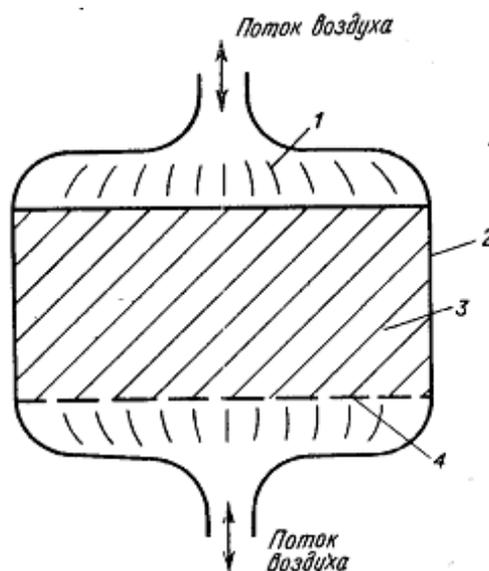


Рис. 3. Схема аккумулятора со слоевой насадкой:  
 1 – направляющие лопатки для распределения потока теплоносителя;  
 2 – контейнер; 3 – слоевая насадка; 4 – решетка

При нагревании *i*-го слоя теплообменной насадки аккумулятора тепловой баланс определяется уравнением [4]:

$$(\rho \cdot C_p \cdot F \cdot \Delta x)_b \frac{dT_{b,i}}{d\tau} = \alpha_v \cdot F \cdot \Delta x (T_{f,i} - T_{b,i}) - Q_{потери,i} \quad (10)$$

где  $\rho$  – плотность материала слоевой насадки, кг/м<sup>3</sup>;

$C_p$  – удельная теплоемкость материала насадки, Дж/кг·°С;

$\Delta x$  – толщина *i*-го слоя насадки, м;

$F$  – площадь поперечного сечения насадки, м<sup>2</sup>;

$\alpha_v$  – коэффициент теплоотдачи насадки с единицы площади:  $\alpha_v = \left(\frac{A}{V}\right) \cdot \alpha$ ;

$T_{b,i}$  – температура *i*-го слоя насадки, °С;

$T_{f,i}$  – температура теплоносителя на выходе из *i*-го слоя насадки, °С;

Если пренебречь теплоемкостью теплоносителя (обычно это воздух), то температура  $T_{f,i}$  определяется как:

$$T_{f,i} = T_{f,i-1} - \frac{\alpha_v \cdot A \cdot \Delta x}{(G \cdot C_p)_c} (T_{f,i-1} - T_{b,i}) \quad (11)$$

Учитывая тот факт, что все виды ТА работают в нестационарном тепловом режиме, то одной из важнейшей задач является повышение динамических характеристик – оптимизация процессов заряда и разряда путём рационального выбора конструктивных характеристик ТА и его рабочего тела.

### Выводы

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о целесообразности применения ТА как в традиционных системах теплоснабжения, так и в системах солнечного теплоснабжения. В конечном счете, это позволит повысить эффективность работы котла и снизить потребление органического топлива, согласовать режимы выработки и потребления тепла, а также уменьшить количество выбросов парниковых газов в окружающую среду.

### Список литературы

1. Аккумуляция тепла / Левенберг В. Д., Ткач М. Р., Гольстрем В. А. – Киев: Техника, 1991. – 112 с.
2. Амерханов Р. А., Долинский А. А., Морозюк Т. В. Аккумуляция теплоты в системах теплоснабжения сельского хозяйства // Промышленная теплотехника. – 2002. – № 1. – С. 106–108.
3. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумуляция энергии: Перевод с англ. В. Я. Сидорова, Е. В. Сидорова. Под ред. В. М. Бродянского. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
4. Бекман У.А., Клейн С., Даффи Дж. А. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 79 с.
5. Розміри діючих тарифів на електроенергію на лютий 2011 року [Электронный ресурс]: официальный сайт акционерной компании ХАРЬКОВОБЛЭНЕРГО: Режим доступа: [www.oblenergo.kharkov.ua/tarif.htm](http://www.oblenergo.kharkov.ua/tarif.htm)
6. СНиП 2.04.07-86 (2000) Тепловые сети.
7. Даффи Дж. А., Бекман У. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
8. Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Ганжа, А. В. Хименко. Оценка энергетической эффективности система электротеплоаккумуляционного отопления административных зданий // Энергосбережение • Энергетика • Энергоаудит. – 2011. – № 10. – С. 9–16.

## THERMAL STORAGE AS A WAY OF IMPROVING ENERGY EFFICIENCY SYSTEMS OF HEAT SUPPLY

N. G. GANJA, Leading Engineer, A. V. KHIMENKO, Postgraduate

*The possibility of thermal storage energy in traditional systems of heat supply and systems that use renewable energy sources.*

Поступила в редакцию 14.02 2012 г.