

УДК 621.57

Д. В. Степанов, к. т. н., доц.; Н. Д. Степанова, к. т. н., доц.; О. А. Гайдейчук

АКУМУЛЮВАННЯ ТЕПЛОТИ У СХЕМІ ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОХОЛОДОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ

Проаналізовано варіанти роботи системи теплохолодопостачання житлової будівлі з тепловими насосами та акумуляторами теплоти. Проведено дослідження впливу потужності теплового насосу на об'єм бака-акумулятора та добові витрати на електроенергію з урахуванням дво- та тризонних систем обліку споживання електроенергії. Отримано залежність об'єму бака-акумулятора теплоти для системи гарячого водопостачання від співвідношення потужностей гарячого водопостачання та холодопостачання. Виявлено межі доцільності впровадження когенераційних систем теплохолодопостачання будівель.

Ключові слова: акумулятор теплоти, система теплохолодопостачання, тепловий насос, зонний облік електроенергії.

Вступ, постановка завдання

Зменшення споживання імпортованого природного газу та підвищення енергоефективності об'єктів житлово-комунального господарства України є одними з основних завдань на сьогодні. У системах централізованого тепlopостачання природний газ доцільно заміщувати вугіллям та його сумішами з біомасою. Але в умовах децентралізації тепlopостачання найпрогресивнішими, на нашу думку, є системи з використанням теплонасосних технологій.

Таке обладнання дозволяє використовувати нетрадиційні джерела енергії, а саме: теплоту ґрунту, повітря, витяжного повітря, ґрунтових, річкових і стічних вод тощо [1]. При цьому забезпечується достатньо високий коефіцієнт використання палива, мінімальний вплив системи на навколишнє середовище, високий рівень безпеки, автоматизації та культури виробництва. Недоліками теплонасосних систем є значні капіталовкладення та значне споживання електричної енергії. Але теплові насоси можуть також виробляти холод у теплий період року для охолодження повітря в приміщеннях, тому така когенераційна система дозволяє зменшити собівартість виробленої теплоти та холоду.

За об'єкт дослідження обрано житлову будівлю з розрахунковою потужністю системи опалення 202,7 кВт, системи гарячого водопостачання 157,1 кВт, системи охолодження приміщень 94,7 кВт [2].

Для зменшення капіталовкладень у систему теплохолодопостачання та витрат електроенергії в теплий період року для виробництва холоду використано технічне рішення [3], що полягає в підключенні системи холодопостачання до випарників теплонасосних установок, що дозволяє одночасно виробляти теплову енергію на конденсаторах теплових насосів для системи гарячого водопостачання й холод на випарниках теплових насосів для системи холодопостачання (рис. 1). Таке рішення також дозволяє використовувати режим пасивного охолодження будівлі.

Одною з основних особливостей житлових будівель є значна нерівномірність споживання теплоти для системи гарячого водопостачання та холоду для кондиціонування приміщень.

Добове коливання теплового навантаження систем гарячого водопостачання (ГВП) та одночасне виробництво теплоти й холоду в теплий період року потребує використання систем акумулявання енергії, тому **метою цієї роботи** є оцінка ефективності акумулявання теплоти в системі теплохолодопостачання житлової будівлі.

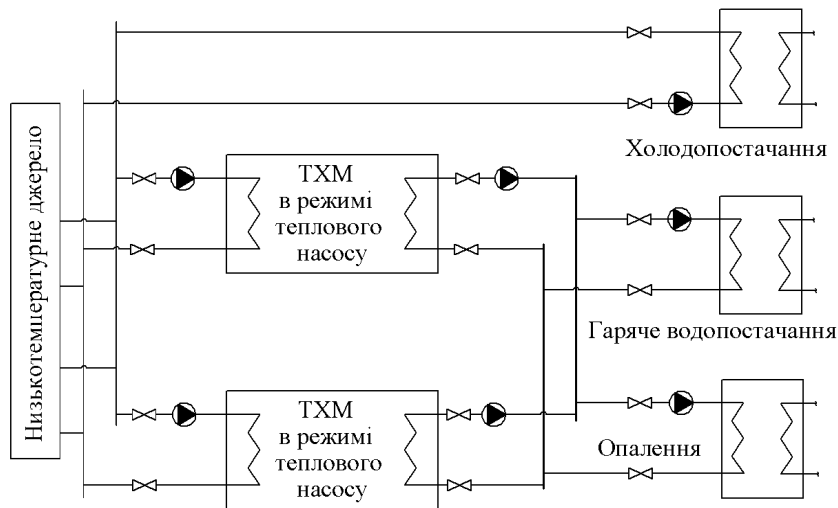


Рис. 1. Схема енергоефективної системи теплохолодопостачання будівлі

Основні дослідження

Для вирівнювання добових коливань навантаження на ГВП зазвичай використовують акумулятори гарячої води. Такий спосіб дозволяє спростити регулювання теплонасосної установки та зменшити її пікові навантаження. З урахуванням розрахункової потужності системи ГВП та характерного розподілу потужності протягом доби [3] визначено, що середньодобова потужність системи складає 100,1 кВт, якщо теплонасосна установка працює цілодобово з такою потужністю, необхідний об'єм бака-акумулятора складає 6,51 м³.

Теплонасосна установка є потужним споживачем електроенергії, а останнім часом усе більше уваги приділяють упровадженню систем двозонного обліку спожитої електроенергії. Для зменшення витрат на електроенергію в такому випадку доцільно в період нічного мінімального споживання електроенергії (з 23 год. до 7 год.) [4] збільшувати потужність теплового насоса. На рис. 2 показано, як впливає потужність теплового насоса в нічний період на об'єм бака-акумулятора теплоти та витрати на електроенергію (повний тариф на електроенергію прийнятий 1,4 грн/(кВт·год)). При цьому враховані два варіанти тарифу на електроенергію в нічний час – 0,7 та 0,5 від повного тарифу. Для тризонного обліку споживання електроенергії в нічний час коефіцієнт 0,4, у напівпіковий період – 1,0, у піковий – 1,5.

Для отримання результатів, наведених на рис. 2, проведено числові дослідження при збільшенні теплової потужності теплового насоса для ГВП у нічний період з 100,1 до 170 кВт, при цьому необхідна потужність у денний період (для двозонного обліку), відповідно, зменшилася зі 100 до 65,5 кВт. Для таких умов об'єм бака-акумулятора теплоти зростає у 2,43 рази,

Для системи із тризонним обліком електроенергії потужність теплового насоса підбирали в піковий та напівпіковий період за умов забезпечення мінімальних витрат на електроенергію. Перегин графіка витрат на електроенергію на рис. 2 для системи з тризонним обліком можна пояснити тим, що за потужності теплового насоса в нічний період більшої за 126 кВт найдорожчою "піковою" електроенергією можна не користуватися.

Згідно з даними на рис. 2, встановлення дво- та тризонних систем обліку електроенергії дозволяє зменшити витрати на неї: для двозонних систем із нічним тарифним коефіцієнтом 0,7 – на 10%; для двозонних систем із нічним тарифним коефіцієнтом 0,5 – на 16,7%; для тризонних систем із нічним тарифним коефіцієнтом 0,4 – на 9,6%.

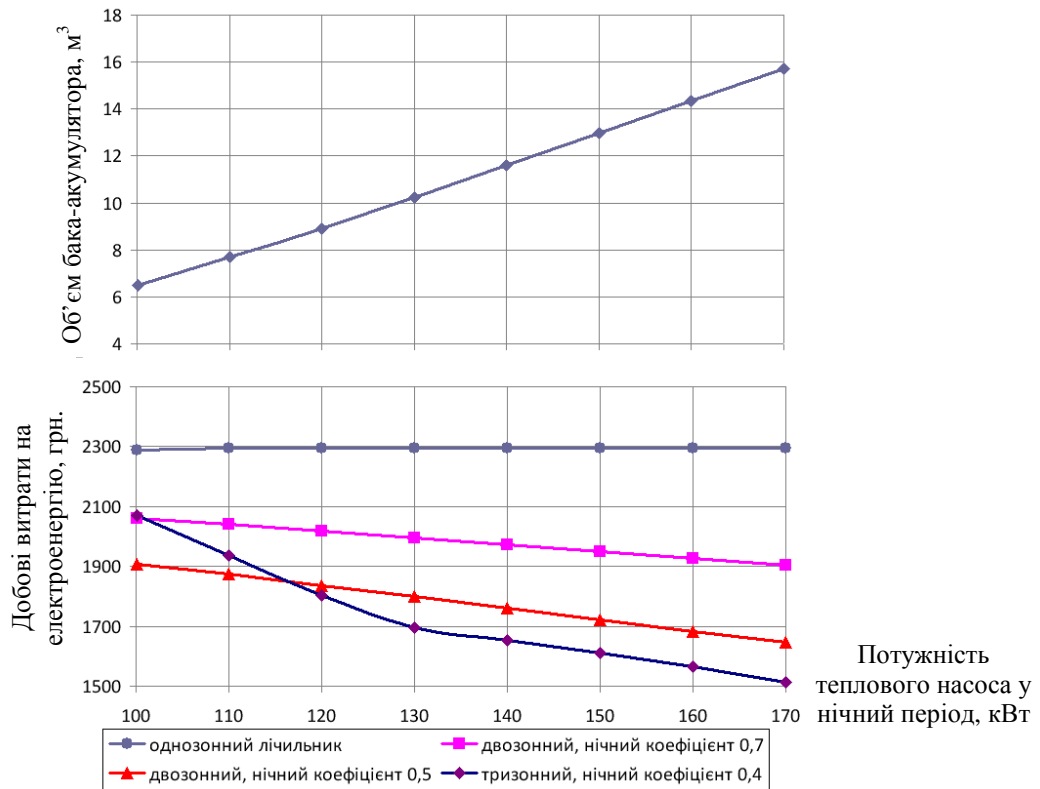


Рис. 2. Уплив потужності теплового насоса для ГВП у нічний період на об'єм бака-акумулятора та на добові витрати на електроенергію

Сумарна економія витрат на електроенергію за встановлення її зонного обліку та баків-акумуляторів теплоти системи гарячого водопостачання складає: для двозонного тарифу з нічним коефіцієнтом 0,7 – 16,9%; для двозонного тарифу з нічним коефіцієнтом 0,5 – 28,2%; для тризонного тарифу з нічним коефіцієнтом 0,4 – 33,9%.

Слід зауважити, що за умов використання додаткових пікових джерел теплоти, наприклад, електронагрівників [5], отримані економічні ефекти можуть бути дещо підвищені. Отже, акумулювання теплоти для систем ГВП може забезпечувати суттєву економію витрат на електроенергію, але потребує більших первинних витрат через збільшення встановленої потужності обладнання та масогабаритних показників усієї системи.

Для запропонованої в [3] схеми поєднання виробництва теплоти і холоду в теплий період року основною особливістю є необхідність узгодження потужностей системи ГВП, під'єднаної до конденсатора, та системи холодопостачання, під'єднаної до випарника теплонасосної установки.

Обидві системи мають нерівномірний добовий графік потужності, тому для узгодженої роботи систем запропоновано використовувати баки-акумулятори. Виявлено, що більш доцільно використовувати акумулятори гарячої води, тому що вони мають набагато менший об'єм ($3,6 \text{ м}^3$), ніж водяні акумулятори холоду (24 м^3). На практиці використовують також інші варіанти акумулювання холоду [6], які характеризуються меншими масогабаритними показниками, але значні капіталовкладення в такі системи значною мірою нівелюють ефективність їх застосування.

На рис. 3 показано як впливає співвідношення потужностей ГВП та холодопостачання на об'єм акумулятора гарячої води.

Із наведеного на рис. 3 графіка можна визначити межі найефективнішого використання запропонованої схеми системи теплохолодопостачання будівлі. Як видно, за умов співвідношення розрахункових потужностей ГВП та холодопостачання більше за 2,4 така

когенераційна система працює найбільш ефективно й акумулятор теплоти не потрібний, оскільки потужності на випарнику теплового насоса, що працює на систему ГВП, буде достатньо, аби забезпечити потреби в холоді. За співвідношення потужностей ГВП та холодопостачання нижче за 1,5...1,6 використання запропонованої схеми потребує встановлення баків-акумуляторів гарячої води значного об'єму.

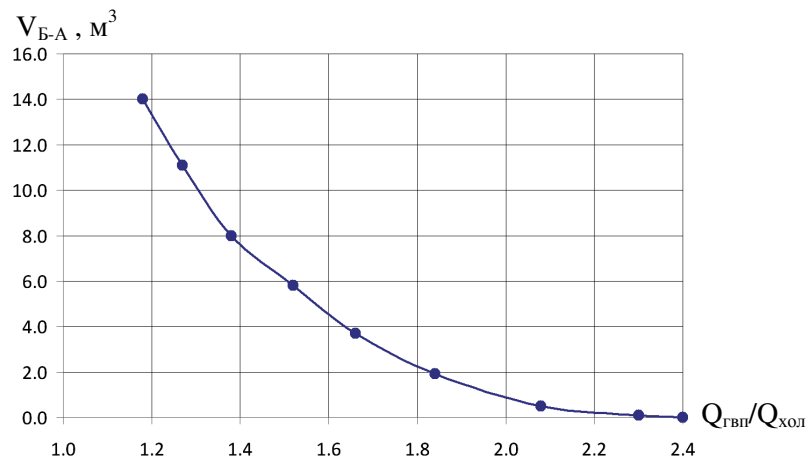


Рис. 3. Залежність необхідного об'єму бака-акумулятора гарячої води від співвідношення потужностей ГВП та холодопостачання

Отже, упровадження запропонованої енергоефективної схеми системи теплохолодопостачання буде найефективнішим для житлових будівель, лазень, санаторних і басейнових комплексів та інших об'єктів із значним споживанням гарячої води й невеликими потужностями систем холодопостачання.

Висновки

1. Перспективним напрямком скорочення споживання викопного палива в системах децентралізованого теплопостачання, на нашу думку, є використання теплонасосного обладнання, що дозволяє ефективно використовувати альтернативні джерела енергії. Значні капіталовкладення та споживання електроенергії можна компенсувати одночасним виробництвом на тому ж обладнанні теплоти та холоду. Оскільки споживання теплоти та холоду в житлових будівлях протягом доби має значну нерівномірність, такі системи потребують встановлення системи акумуляування енергії. Доведено, що більш доречно з метою заощадження в житлових будівлях встановлювати акумулятори теплоти, а не акумулятори холоду.

2. Виявлено, що сумарна економія витрат на електроенергію за умови встановлення систем зонного обліку електроенергії та систем акумуляування теплоти складає 16,9...33,9% залежно від тарифних коефіцієнтів. При чому заощадження коштів від упровадження самих зонних систем обліку складає 9,6...16,7%.

3. Виявлено закономірність впливу співвідношення потужностей гарячого водопостачання та холодопостачання на об'єм бака-акумулятора й межі доцільності використання когенераційних систем теплохолодопостачання. Вказано, що найкращі показники ефективності така система матиме для об'єктів із значним споживанням гарячої води й відносно невеликими потужностями систем холодопостачання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Амерханов Р. А. Тепловые насосы / Р. А. Амерханов. – М. : Энергоатомиздат, 2005. – 160 с.
2. Степанов Д. В. Вибір ефективного джерела теплохолодопостачання житлової будівлі / Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова, О. А. Гайдейчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 1. – С. 149 – 152.

3. Степанов Д. В. Ефективна система теплохолодопостачання житлової будівлі / Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова, О. А. Гайдейчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2014. – № 2. – С. 151 – 154.
4. Постанова НКРЕКП про внесення змін до Порядку застосування тарифів на електроенергію. Зареєстрована 02.02.2015. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0236-15>.
5. Степанов Д. В. Суміщення теплохолодильних машин та електронагрівника в схемі джерела теплохолодопостачання. / Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова, А. А. Керн // Енергетика та електрифікація. – 2011. – № 6. – С. 49 – 53.
6. Пуховий І. І. Акумулятори холоду з використанням фазового переходу. / І. І. Пуховий, М. О. Кривошеєв // Вісник ВПІ. – 2013. – № 1. – С. 74 – 79.

Степанов Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики, тел. 598339, StepanovDV@mail.ru.

Степанова Наталія Дмитрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики, тел. 598339, StepanovaND@mail.ru.

Гайдейчук Олександр Анатолійович – студент кафедри теплоенергетики.
Вінницький національний технічний університет.

**D. V. Stepanov, Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof.; N. D. Stepanova, Cand. Sc. (Eng.),
Ass. Prof.; O. A. Gaydeychuk**

HEAT ACCUMULATION IN THE NETWORK OF EFFICIENT HEAT-AND-COLD SUPPLY SYSTEM OF A RESIDENTIAL BUILDING

The paper analyzes variants of operation of the heat-and-cold supply system for a residential building, which includes heat pumps and heat accumulators. Study of the influence of heat pump power on the storage tank volume and daily expenses for electric energy have been performed taking into account two- and three-zone electricity accounting system. Dependence of the heat storage tank volume for hot water supply system on hot water and cold supply power ratio has been obtained. Feasibility boundaries of implementing the cogeneration heat-and-cold supply systems in buildings are determined.

Keywords: *heat accumulator, heat-and-cold supply system, heat pump, zonal accounting of electric energy consumption.*

Introduction, problem statement

One of the most important current tasks is to reduce the imported natural gas consumption and to increase energy efficiency of the objects of housing and communal services in Ukraine. In the centralized heat supply systems natural gas is expedient to be replaced by coal and its mixtures with biomass. To our mind, however, in the conditions of decentralized heat supply systems with the application of heat pump technologies would be the most prospective ones.

Such equipment enables application of such alternative energy sources as the heat of soil, air, exhaust air, groundwater, river water, wastewaters, etc. [1]. This provides sufficiently high fuel utilization coefficient, minimal environmental impact of the system, high level of safety, automation and production standards. Disadvantages of heat pump systems include high capital investments and significant energy consumption. At the same time, heat pumps can also produce cold during the hot season for cooling the indoor air. Therefore, such cogeneration system makes it possible to reduce the cost of heat and cold production.

Residential building with the heating system rated power of 202,7 kW, of hot water supply system - 157,1 kW and of cooling system - 4,7 kW [2] has been chosen as research object.

In order to reduce capital investments into the heat-and-cold supply system and electric energy consumption in the warm season, the following engineering solution was used for cold generation [3]: cold supply system is connected to the evaporators of heat pump units, which enables simultaneous heat energy generation at the condensers of heat pumps for hot water supply system and cold generation at the evaporators of heat pumps for cold supply system (Fig. 1). Such solution also enables application of passive cooling of the building.

One of the main characteristic features of residential buildings is significant non-uniformity in the consumption of heat for the system of supplying hot water and cold for indoor air conditioning. Daily variations in heat load of the hot water supply systems (HWS) and simultaneous heat and cold generation in the warm season requires application of energy accumulation systems. Therefore, this work **aims** at estimation of the efficiency of heat accumulation in the heat-and-cold supply system of the residential building.

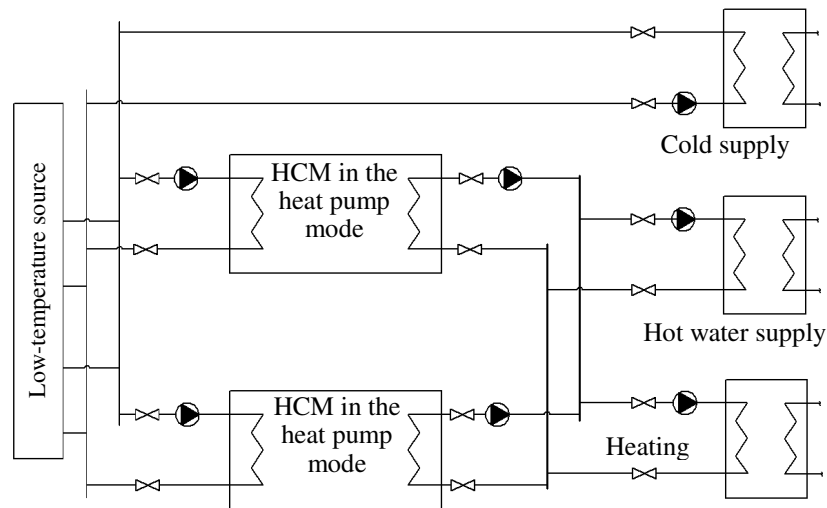


Fig. 1. Network of the energy-efficient heat-and-cold supply system of the building

Main research

In order to balance the daily load on HWS, hot water accumulators are usually used. Such method makes it possible to simplify regulation of the heat pump unit and to reduce its peak loads. Taking into account rated power of HWS system and characteristic daily power distribution [3], it was determined that average daily power of the system is 100.1 kW. If heat pump unit operates around the clock with such power, the necessary volume of the storage tank will be 6.51 m³.

Heat power unit is a powerful consumer of electric energy while currently ever more attention is paid to two-zone accounting of electric energy consumption. In order to reduce expenses for electric energy, it is expedient in such case to increase the heat pump power during the night period of minimal electric energy consumption (from 11PM to 7 AM). Fig. 2 shows how the heat pump power at night influences the volume of heat accumulator tank and expenses for electric energy (full tariff for electricity is assumed to be 1.4 UAH / kWh. In this case two variants of the electricity tariffs at night are taken into account – 0.7 and 0.5 of the full tariff. For three-zone electricity consumption accounting this coefficient is 0.4, at the half-peak period – 1.0 and during the peak period – 1.5.

In order to obtain results, presented in Fig. 2, numerical studies were conducted for HWS heat pump power, which increases at night from 100.1 to 170 kW with respective reduction of the required power at daytime (for two-zone accounting) from 100 to 65.5 kW. For such conditions the volume of heat storage tank increases by 2.43 times.

For a system with three-zone electricity accounting the heat pump power was selected for peak and half-peak period, provided that minimal expenses for electricity would be ensured. Inflection of the graph of expenses for electric energy (Fig. 2) for the three-zone accounting system is explained by the fact that expensive “peak” electricity may not be used during the night period, when heat pump power exceeds 126 kW.

According to data in Fig. 2, installation of two- and three-zone electricity accounting systems makes it possible to reduce expenses for it: for two-zone systems with night tariff coefficient 0.7 – by 10 %; for two-zone systems with night tariff coefficient 0.5 – by 16.7% ; for three-zone systems with night tariff coefficient 0.4 – by 9.6%.

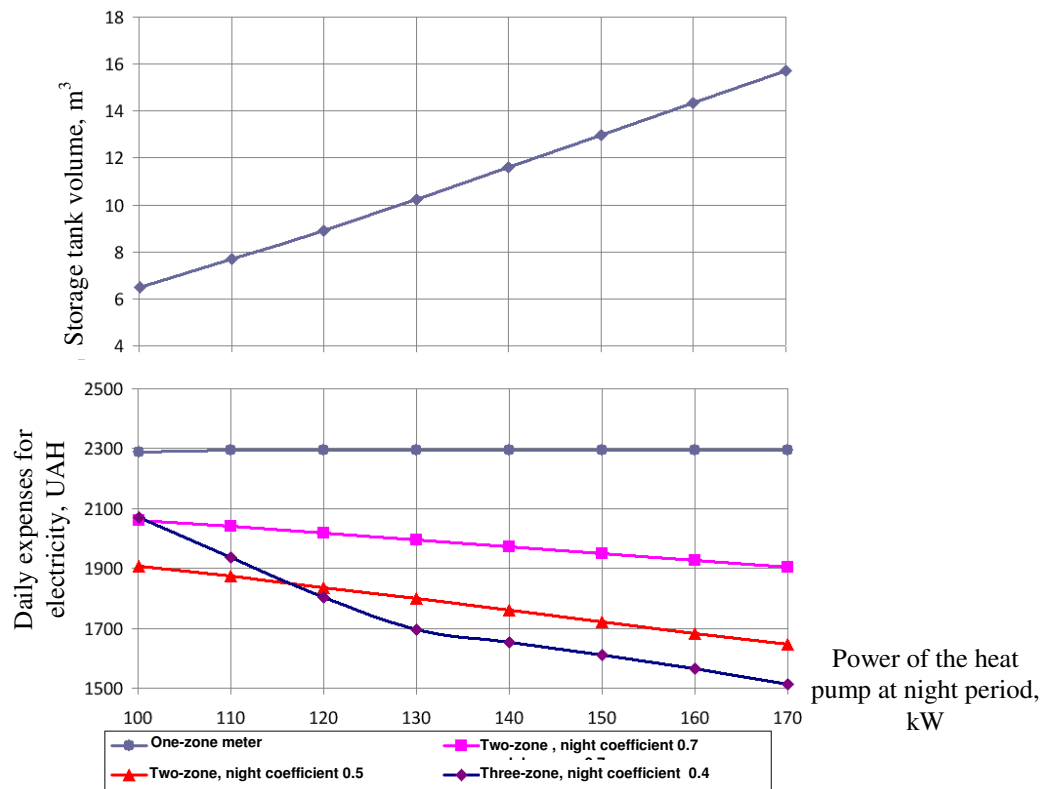


Fig. 3. Influence of the power of heat pump for HWS during night period on the storage tank volume and on daily expenses for electricity

Total economy of expenses for electricity with its zone accounting and installation of heat storage tanks of the hot water supply system is as follows: for two-zone tariff with night coefficient 0.7 – 16.9%; for two-zone tariff with night coefficient 0.5 – 28.2%; for three-zone tariff with night coefficient 0.4 – 33.9%.

It should be noted, that with the application of additional peak heat sources such as electric heaters [5], the obtained economic effects could be somewhat increased. Thus, heat accumulation for HWS systems can provide significant economy of expenses for electricity but requires considerable initial expenses due to the increased installed power of the equipment and mass-size parameters of the entire system.

For the cogeneration heat and cold scheme, proposed in [3], in the warm season there is a necessity to coordinate powers of HWS system, connected to the condenser, and of the cold supply system, connected to the evaporator of the heat pump unit.

Both systems have a non-uniform daily power schedule and, therefore, for coordinated operation of the systems it was proposed to use storage tanks. It has been discovered that it is more expedient to use hot water accumulators since they have a much smaller volume (3.6 m³), than water accumulators of cold (24 m³). In practice other variants of cold accumulation are used [6], which are characterized by smaller mass-size parameters. However, high capital investments in such systems reduce, to a great extent, the efficiency of their application.

Fig. 3 shows how HWS and cold supply power ratio influences the hot water accumulator volume.

From the curve, presented in Fig. 3, boundaries of the most efficient usage of the proposed scheme of the heat-and-cold supply system for a building could be determined. It is evident, that in the case of HWS and cold supply rated power ratio exceeding 2.4, such cogeneration system operates most efficiently and heat accumulator is not required as power at the heat pump evaporator, which works for HWS system, will be sufficient to provide the necessary amount of cold. If power ratio of HWS and cold supply is below 1.5 – 1.6, application of the proposed scheme will require installation of large-volume storage tanks.

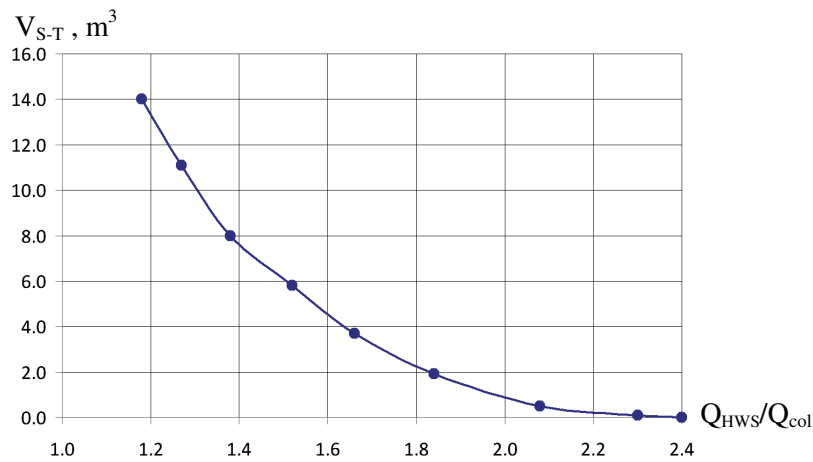


Fig. 3. Dependence of the necessary volume of the hot water storage tank on HWS and cold supply power ratio

Thus, implementation of the proposed energy efficient scheme of the heat and cold supply system will be most effective for residential buildings, washhouses, sanatoria and swimming pools as well as for other objects with significant hot water consumption and low power of cold supply system.

Conclusions

1. A prospective trend of reducing fossil fuel consumption in decentralized heat supply systems is, to our mind, application of heat pump equipment, which enables efficient use of alternative energy sources. High capital investments and electric energy consumption can be compensated by simultaneous heat and cold generation using the same equipment. As heat and cold consumption in residential buildings is characterized by significant non-uniformity during 24 hours, such systems require installation of energy accumulation equipment. It has been proved that in residential buildings installation of heat accumulators is more reasonable in terms of cost-effectiveness than installation of cold accumulators.

2. It was found that installation of zone electricity accounting systems and heat accumulation systems provides 16.9...33.9% savings of expenses for electricity depending on the tariff coefficients. It should be noted that savings due to implementation of zone accounting systems themselves amount to 9.6...16.7%.

3. Regularity of the influence of hot water supply and cold supply power ratio on the storage tank volume has been determined as well as feasibility boundaries in the application of cogeneration heat-and-cold supply systems. It is noted that the best efficiency indices of such system will be observed for the objects with considerable hot water consumption and relatively small powers of cold supply systems.

REFERENCES

1. Амерханов Р. А. Тепловые насосы / Р. А. Амерханов. – М. : Энергоатомиздат, 2005. – 160 с.
2. Степанов Д. В. Вибір ефективного джерела теплохолодопостачання житлової будівлі / Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова, О. А. Гайдейчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 1. – Наукові праці ВНТУ, 2015, № 2

С. 149 – 152.

3. Степанов Д. В. Эффективная система теплохолодоснабжения жилой здания / Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова, О. А. Гайдейчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2014. – № 2. – С. 151 – 154.

4. Постанова НКРЕКП про внесення змін до Порядку застосування тарифів на електроенергію. Зареєстрована 02.02.2015. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0236-15>.

5. Степанов Д. В. Суміщення теплохолодильних машин та електронагрівника в схемі джерела теплохолодоснабження. / Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова, А. А. Керн // Енергетика та електрифікація. – 2011. – № 6. – С. 49 – 53.

6. Пуховий І. І. Акумулятори холоду з використанням фазового переходу. / І. І. Пуховий, М. О. Кривошеєв // Вісник ВПІ. – 2013. – № 1. – С. 74 – 79.

Stepanov Dmytro – Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof. of the Thermal Power Engineering Department, StepanovDV@mail.ru.

Stepanova Nataliya – Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof. of the Thermal Power Engineering Department, StepanovaND@mail.ru.

Gaydeychuk Oleksandr – Student of the Thermal Power Engineering Department
Vinnytsia National Technical University.