

В. А. ВОЛОЩУК

ПОГЛИБЛЕНИЙ ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛООВОГО НАСОСА ЯК ЕЛЕМЕНТА СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ З УРАХУВАННЯМ СЕЗОННИХ КОЛИВАНЬ РЕЖИМІВ РОБОТИ

АНОТАЦІЯ В роботі наведені результати поглибленого ексергетичного аналізу теплового насоса на стічних водах, призначеного для теплозабезпечення будівлі з урахуванням сезонних коливань потреб енергії та температури низькопотенційного джерела. Показано, що у прийнятних умовах дійсне зниження деструкції ексергії у тепловому насосі можливе за рахунок зменшення необоротностей при передачі теплоти у випарнику та конденсаторі – тобто при допомозі зниження температурного напору у цих теплообмінниках.

Ключові слова: поглиблений ексергетичний аналіз, тепловий насос, теплозабезпечення будинку.

V. VOLOSHCHUK

ADVANCED EXERGETIC ANALYSIS OF A HEAT PUMP PROVIDING SPACE HEATING TAKING INTO ACCOUNT SEASONAL VARIATIONS OF OPERATION MODES

ABSTRACT In contrast to conventional exergy-based methods, advanced exergetic analyses can evaluate exergy destructions due to interactions among components of the energy-conversion system and the real potential for improving system components. Application of a detailed advanced exergetic analysis on a wastewater source heat pump providing space heating in variable operation modes is proposed in the work. In order to determine thermodynamic parameters of the refrigeration vapor compression cycle a special simulation model was used. The so-called thermodynamic-cycle-based approach was applied to split the exergy destruction within each component of a heat pump into unavoidable, avoidable, endogenous and exogenous parts. It is shown that in the investigated system only about 50 % of the total seasonal destructions in components of the heat pump can be avoided. About 40 % of this avoidable thermodynamic inefficiency is caused by interactions among components. According to the results received, in order to improve the thermodynamic performance of the analyzed heat pump the evaporator should be improved first and the condenser second. The compressor has very low potential for the heat pump improvement and the throttling valve has no potential for this purpose. Based on the applied advanced exergetic analysis it is possible to receive more precise and useful information for better understanding and improving the design and operation of the analysed heat pump.

Key words: advanced exergetic analysis, heat pump, space heating.

Вступ

Ексергетичний підхід є новим витком в теорії створення систем теплозабезпечення будівель. Можливості суто енергетичного підходу до удосконалення таких систем майже вичерпані. На відміну від енергетичного аналізу ексергетичний метод оцінки дозволяє визначити місцезнаходження, значення та джерела термодинамічних втрат в системі.

Поглиблений ексергетичний аналіз розроблений представниками німецької школи прикладної термодинаміки [1–3]. Даний аналіз важливий з точки зору розширення можливостей ексергетичного підходу для прикладного використання.

Огляд літературних джерел показав, що методологія поглибленого ексергетичного аналізу реалізована, в основному, на прикладі холодильних машин або теплових насосів промислового призначення, де розглядається тільки один режим роботи – номінальний [1–5]. У випадку роботи теплового насоса у складі системи теплозабезпечення будинку має місце мінливість його режимів роботи, що визначається впливом погоднокліматичного чинника, як всередині опалювального сезону, так і у багаторічному перерізі.

Мета роботи

Отже, метою роботи є реалізація поглибленого ексергетичного аналізу теплового насоса як базового джерела системи теплозабезпечення будинку з урахуванням сезонних коливань режимів роботи.

Викладення основного матеріалу

В кожному елементі енергоперетворювальної системи тільки частина термодинамічних втрат може бути усунена. Через технологічні обмеження, пов'язаних, наприклад, із існуючими матеріалами, технологіями і/або вартістю матеріалів і виробничих процесів, максимальне значення ексергетичної ефективності k -го компонента не може бути збільшено при будь-яких інвестиціях. Частина деструкції ексергії, яка незалежно від досконалості компонента буде мати місце, називається неминуною, або та, яку усунути неможна (англ. – unavoidable – UN). Інша частина деструкції ексергії – та, яку можна усунути (англ. – avoidable – AV) [1–3]

$$\dot{E}_{D,k} = \dot{E}_{D,k}^{AV} + \dot{E}_{D,k}^{UN} \quad (1)$$

Отже, при удосконаленні енергосистеми, зусилля повинні бути направлені саме на ту частину деструкції ексергії, яку можна усунути.

Доведено, що деструкція ексергії в окремому елементі системи залежить від термодинамічних втрат як безпосередньо у самому елементі так і в інших елементів, що входять у систему [1–3]. В результаті була розроблена теорія розділення деструкції ексергії на внутрішньо залежну (англ. – endogenous – EN) та зовнішньо залежну (англ. – exodogenous – EX) [1–3]

$$\dot{E}_{D,k} = \dot{E}_{D,k}^{EN} + \dot{E}_{D,k}^{EX} \quad (2)$$

На основі отриманих значень внутрішньо та зовнішньо залежних частин деструкції ексергії можна розробити стратегію удосконалення системи [1–3]:

– при $\dot{E}_{D,k}^{EN} > \dot{E}_{D,k}^{EX}$, необхідно зробити акцент на удосконалення даного компонента;

– при $\dot{E}_{D,k}^{EN} < \dot{E}_{D,k}^{EX}$, даний компонент може бути удосконалений «автоматично» за рахунок удосконалення інших компонентів системи або структурних змін системи;

– при $\dot{E}_{D,k}^{EN} = \dot{E}_{D,k}^{EX}$ варто перейти до аналізу інших елементів системи, так як удосконалення одного з інших елементів обов'язково вплине на величину деструкції ексергії в даному елементі, тобто призведе до перших двох випадків аналізу.

В результаті такого поділу деструкції ексергії з'явився так званий поглиблений ексергетичний аналіз [1–3]. Об'єднання цих чотирьох складових деструкції елемента системи забезпечило її поділ на такі частини: внутрішньо залежну і ту, яку неможна усунути $\dot{E}_{D,k}^{EN,UN}$ – не може бути усунута через існуючі технологічні обмеження даного елемента системи; зовнішньо залежну і ту, яку неможна усунути $\dot{E}_{D,k}^{EX,UN}$ – не може бути усунута через існуючі технологічні обмеження інших елементів системи та даного структурного рішення; внутрішньо залежну і ту, яку можна усунути $\dot{E}_{D,k}^{EN,AV}$ – може бути усунута за рахунок удосконалення даного елемента системи; зовнішньо залежну і ту, яку можна усунути $\dot{E}_{D,k}^{EX,AV}$ – може бути усунута за рахунок удосконалення інших елементів системи та/або структурного рішення системи.

Крім того, для кращого розуміння взаємного впливу компонентів системи, зовнішньо залежну деструкцію ексергії k -го компонента можна розділити за формулою [1]

$$\dot{E}_{D,k}^{EX} = \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq k}}^{n-1} \dot{E}_{D,k}^{EX,r} + \dot{E}_{D,k}^{mexo} \quad (3)$$

де $\dot{E}_{D,k}^{EX,r}$ – частина зовнішньо залежної деструкції ексергії в k -му компоненті, яка спричинена в r -му компоненті; $\dot{E}_{D,k}^{mexo}$ – частина зовнішньо залежної деструкції ексергії в k -му компоненті, яка спричинена одночасною дією всіх компонентів системи одночасно.

На рис. 1 показана структура розділення деструкції ексергії у k -му компоненті системи у відповідності до наведеної вище класифікації.

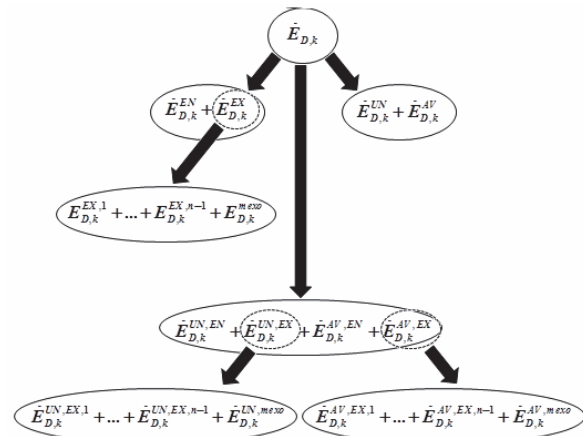


Рис. 1 – Поділ деструкції ексергії у k -му компоненті системи [1]

З точки зору практичного удосконалення установки необхідно виділяти саме ту деструкцію ексергії, яку можна уникнути за рахунок удосконалення окремих елементів і включає в себе частину деструкції, яка впливає безпосередньо на даний елемент, та частину, яка впливає на інші елементи. Ця складова буде визначатися за формулою [1]

$$\dot{E}_{D,k}^{AV, \Sigma} = \dot{E}_{D,k}^{AV, EN} + \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq k}}^{n-1} \dot{E}_{D,r}^{AV, EX, k} \quad (4)$$

де $\dot{E}_{D,k}^{AV, \Sigma}$ – сумарне значення деструкції ексергії, яку можна уникнути, у k -му компоненті і яка впливає на термодинамічну досконалість самого елемента $\dot{E}_{D,k}^{AV, EN}$ та термодинамічну досконалість інших компонентів $\sum_{\substack{r=1 \\ r \neq k}}^{n-1} \dot{E}_{D,r}^{AV, EX, k}$.

Зазвичай тепловий насос покриває не всю встановлену теплову потужність споживача. Частина навантажень забезпечується додатково так званими піковими догрівачами. Доцільність влаштування бівалентних систем теплозабезпечення будівель обґрунтовується в роботі [6] та ін. В да-

них дослідженнях ця особливість також врахована і, у відповідності із рекомендаціями [6], встановлена потужність теплового насоса для теплозабезпечення заданого типу будинку прийнята рівною 50 % розрахункової, тобто 12 кВт.

В якості низькотемпературного джерела енергії використовуються стічні води з температурою, яка змінюється в діапазоні 12...22 °С. У проектному режимі охолодження стічних вод у випарнику прийнято рівним 3 К, мінімальний температурний напір як у випарнику так і у конденсаторі становить 5 К.

Для дослідження режимів роботи системи теплозабезпечення при зміні теплового навантаження (непроектний режим роботи) використаний квазістаціонарний підхід побудови математичних моделей у відповідності до [7] з урахуванням добового коливання параметрів впливу. Для кожного режиму роботи теплового насоса ексергії продукту, яка рівна ексергії продукту конденсатора, залишається постійною.

Для реалізації поглибленого ексергетичного аналізу теплового насоса використаємо так званий термодинамічний метод, який розроблений представниками німецької школи прикладної термодинаміки і базується на побудові гібридних термодинамічних циклів [1–3]. При цьому, для проектного режиму, при визначенні деструкції ексергії, яку неможливо позбутися через технологічні обмеження, прийнятий мінімальний температурний напір у випарнику та конденсаторі рівним 1 К, а ізоентропний ККД компресора – 95 %.

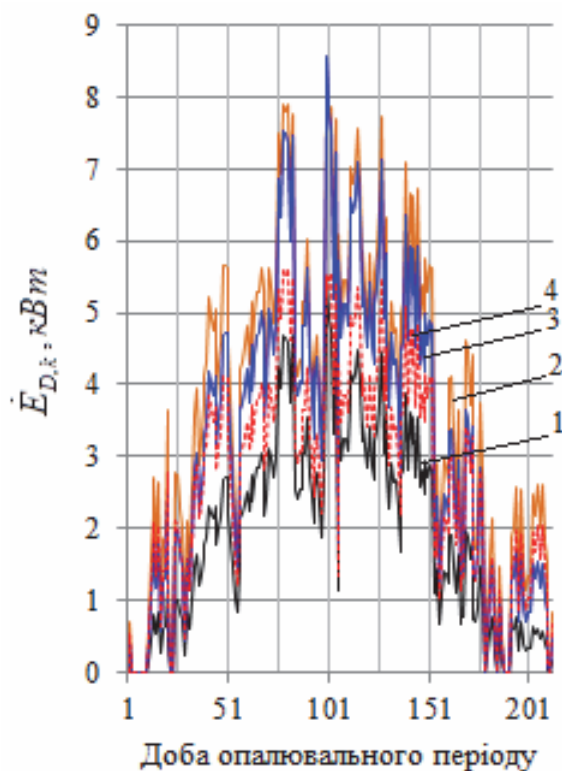
На даному етапі досліджень вплив гідравлічних опорів на деструкцію ексергії не враховувалася.

На рис. 2 наведені сезонні коливання деструкції ексергії $\dot{E}_{D,k}$, а на рис. 3 – сумарні за опалювальний сезон значення деструкції ексергії $E_{D,k}^{year}$ в елементах теплового насоса.

На рис. 3 показані сумарні за опалювальний період значення внутрішньо залежної $E_{D,k}^{EN,year}$ та зонішно залежної $E_{D,k}^{EX,year}$ деструкції ексергії в елементах теплового насоса.

Рис. 4 демонструє сумарні за опалювальний період значення деструкції ексергії в елементах теплового насоса, якої позбутися неможна $E_{D,k}^{UN,year}$ через технологічні обмеження та якої можна позбутися $E_{D,k}^{AV,year}$ за рахунок існуючих на сьогоднішній день технологічних рішень.

На рис. 6 наведені сумарні за опалювальний період значення внутрішньозалежної і тієї, що можна уникнути, $E_{D,k}^{EN,AV,year}$ та зовнішньозалежної і тієї, що можна уникнути, $E_{D,k}^{EX,AV,year}$ деструкції ексергії в елементах теплового насоса.



1 - Компресор 3 - Дросельний вентиль
2 - Конденсатор 4 - Випарник

Рис. 2 – Зміна впродовж опалювального сезону деструкції ексергії $\dot{E}_{D,k}$ в елементах теплового насоса

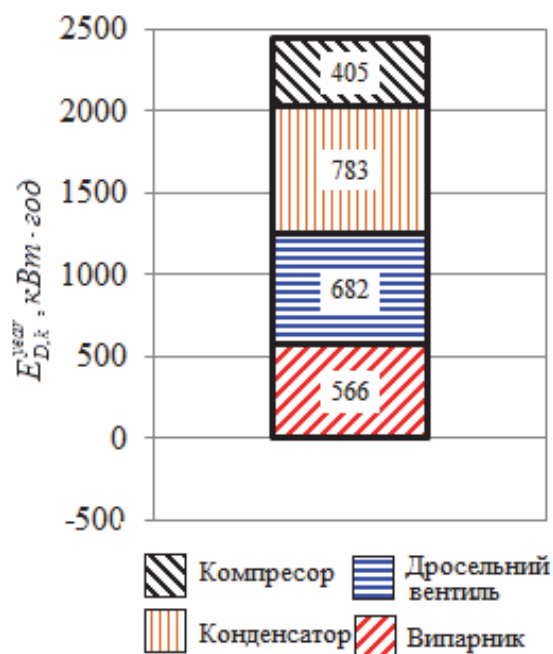


Рис.3 – Сумарні $E_{D,k}^{year}$ за опалювальний період значення деструкції ексергії в елементах теплового насоса

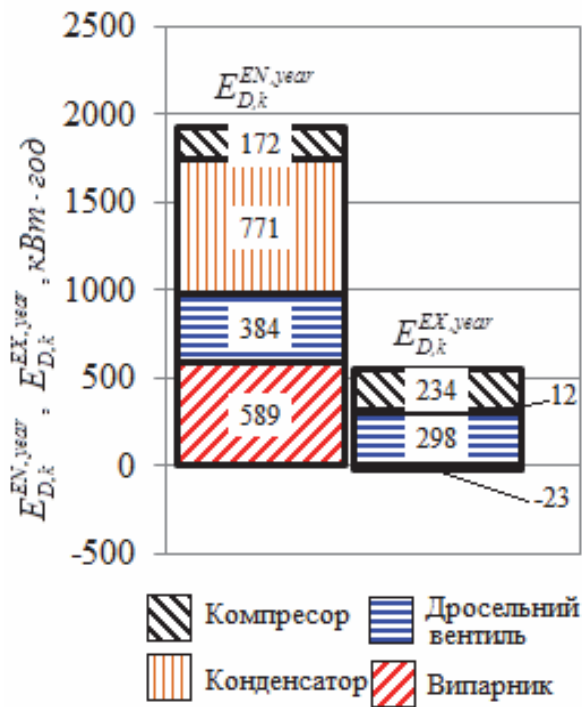


Рис. 4 – Сумарні за опалювальний період значення внутрішньо залежної $E_{D,k}^{EN,year}$ та зовнішньо залежної $E_{D,k}^{EX,year}$ деструкції ексергії в елементах теплового насоса

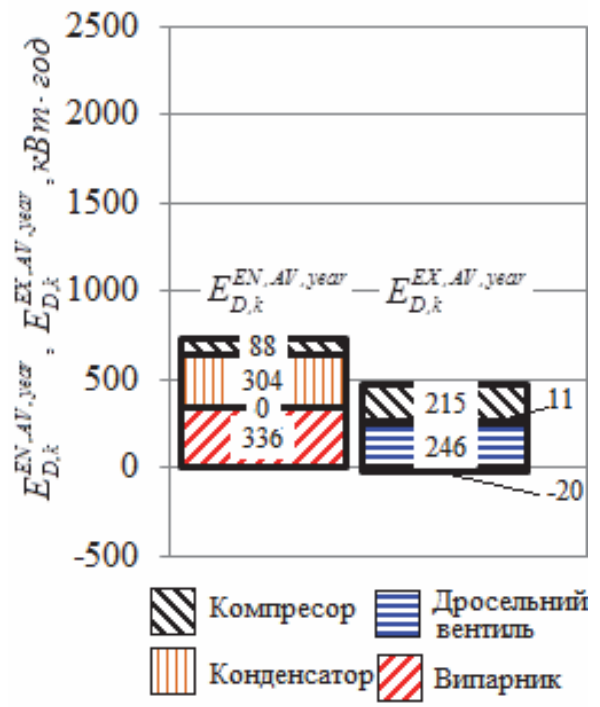


Рис. 6 – Сумарні за опалювальний період значення внутрішньозалежної і тієї, що можна уникнути, $E_{D,k}^{EN,AV,year}$ та зовнішньозалежної і тієї, що можна уникнути, $E_{D,k}^{EX,AV,year}$ деструкції ексергії в елементах теплового насоса

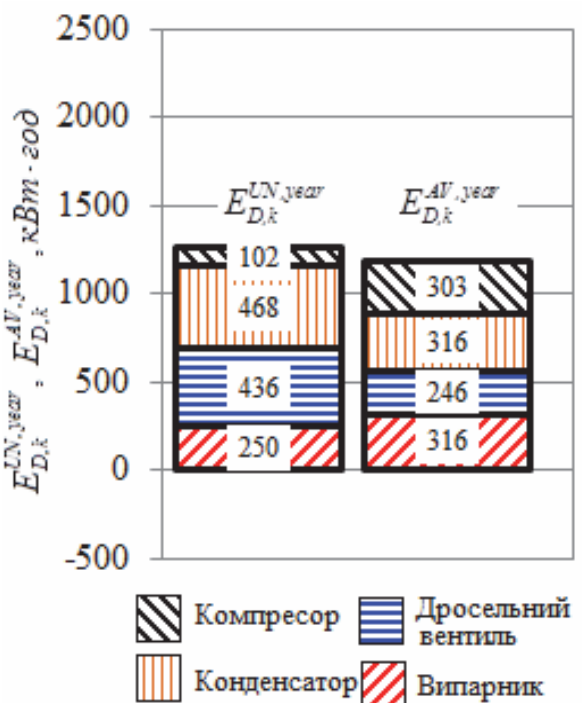


Рис. 5 – Сумарні за опалювальний період значення деструкції ексергії, якої позбутися неможна через технологічні обмеження $E_{D,k}^{UN,year}$, та якої можна позбутися за рахунок існуючих на сьогоднішній день технологічних рішень $E_{D,k}^{AV,year}$

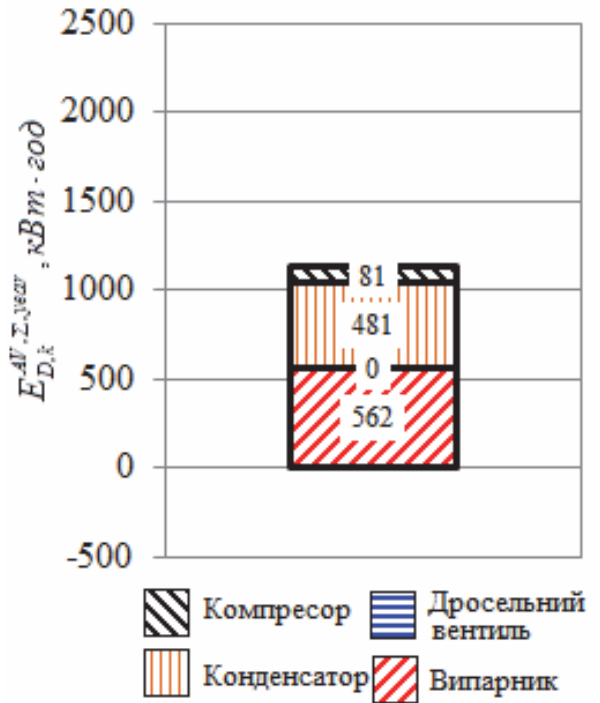


Рис. 7 – Сумарні за опалювальний період значення деструкції ексергії, що можна уникнути $E_{D,k}^{AV,Σ,year}$ за рахунок удосконалення k-го елемента теплового насоса

Сумарні за опалювальний період значення деструкції ексергії, що можна уникнути за рахунок удосконалення k -го елемента $E_{D,k}^{AV, \Sigma, year}$ показані на рис. 7.

Обговорення результатів

Із рис. 2 видно, що через сезонні коливання параметрів системи теплозабезпечення будинку співвідношення між деструкціями ексергії в компонентах теплового насоса є різним. Це і обумовило необхідність визначення сезонних значень деструкції ексергії.

Як видно із рис. 3, найбільші значення деструкції ексергії, визначені за допомогою традиційного ексергетичного аналізу, характерні для конденсатора та дросельного вентиля. Згідно наведених даних сумарні за опалювальний період значення деструкції ексергії становлять відповідно: у конденсаторі – 783 кВт·год, у дросельному вентилі – 682 кВт·год, у випарнику – 566 кВт·год, у компресорі – 405 кВт·год. У порівнянні із конденсатором деструкція ексергії у випарнику є на 28 %, а у компресорі – на 48 % менша.

Отже, як впливає із наведених вище результатів аналізу, для зниження деструкції ексергії у тепловому насосі необхідно у першу чергу знизити необоротності у конденсаторі та дросельному вентилі, а вже потім у випарнику та компресорі.

Розглянемо результати поглибленого ексергетичного аналізу теплового насоса з урахуванням його режимів роботи при теплозабезпеченні будинку.

Як видно із рис. 4 значення внутрішньо залежної деструкції ексергії у кожному елементі теплового насоса є досить різними. Сумарне за опалювальний період значення цієї частини деструкції становить: 771 кВт·год у конденсаторі, 589 кВт·год у випарнику, 384 кВт·год у дросельному вентилі та 172 кВт·год у компресорі. Тобто найбільша частка внутрішньо залежної частини деструкції ексергії припадає на конденсатор.

На відміну від внутрішньо залежної частини деструкції ексергії значення зовнішньо залежної деструкції ексергії для конденсатора та випарника є незначними. Сумарне за опалювальний період значення цієї частини деструкції у компресорі становить $E_{D,CM}^{EX, year} = 234$ кВт·год, а у дросельному вентилі – $E_{D,TV}^{EX, year} = 298$ кВт·год. Дана частина необоротностей може бути знижена «автоматично» за рахунок удосконалення інших компонентів системи або структурних змін системи.

Особлива ситуація із зовнішньо залежною частиною деструкції ексергії у випарнику. Сумарне за опалювальний період значення цієї частини ексергії є від'ємним і становить $E_{D,EV}^{EX, year} = -23$ кВт·год. Це означає, що для змен-

шення зовнішньо залежної частини деструкції ексергії у випарнику необхідно збільшити деструкцію ексергії в інших елементах теплового насоса. Такий випадок розглядається, зокрема, і в роботі [2].

Як видно із рис. 5 найбільші значення деструкції, яку усунути неможливо, характерні для конденсатора та дросельного вентиля. Сумарне за опалювальний період значення цієї частини деструкції становить: для конденсатора – $E_{D,CD}^{UN, year} = 468$ кВт·год або 60 % від загальної кількості деструкції ексергії у даному елементі, а для дросельного вентиля – $E_{D,TV}^{UN, year} = 436$ кВт·год або 64 % від загальної кількості деструкції ексергії у ньому. В інших елементах сумарні за опалювальний період значення неминучої частини деструкції відповідно становлять: для компресора $E_{D,CM}^{UN, year} = 102$ кВт·год або 25 % від загальної кількості деструкції ексергії у даному елементі, для випарника $E_{D,EV}^{UN, year} = 250$ кВт·год або 44 % від загальної кількості деструкції ексергії у даному елементі.

Як видно із рис. 5 значення деструкції ексергії, яку можна уникнути, є співрозмірними для всіх елементів теплового насоса. Згідно цих даних сумарні за опалювальний період значення деструкції ексергії, якої можна позбутися відповідно становлять: для випарника $E_{D,EV}^{AV, year} = 316$ кВт·год або 56 % від загальної кількості деструкції ексергії у даному елементі, для дросельного вентиля $E_{D,TV}^{AV, year} = 246$ кВт·год або 36 % від загальної кількості деструкції ексергії у ньому, для конденсатора $E_{D,CD}^{AV, year} = 316$ кВт·год або 40 % від загальної кількості деструкції ексергії у цьому елементі. Загалом, як видно із рис. 4, 50 % сумарної деструкції ексергії у тепловому насосі можна позбавитися.

Із наведених на рис. 6 даних видно, що значення внутрішньозалежної і тієї, що можна уникнути, деструкції ексергії $E_{D,k}^{EN, AV, year}$ для випарника та конденсатора є найбільшими і майже однакові між собою. Маємо $E_{D,EV}^{EN, AV, year} = 336$ кВт·год для випарника та $E_{D,CD}^{EN, AV, year} = 304$ кВт·год для конденсатора. У дросельному вентилі ця частина деструкції ексергії відсутня, що узгоджується із прийнятою методологією поглибленого ексергетичного аналізу. Значення цієї частини деструкції ексергії для компресора становить всього $E_{D,CM}^{EN, AV, year} = 88$ кВт·год або 22 % від загальної кількості деструкції ексергії у ньому.

Як видно із рис. 6 сумарні за опалювальний період значення зовнішньозалежної і тієї, що мож-

на уникнути, деструкції ексергії $E_{D,k}^{EX,AV,year}$ є найбільшими у компресорі та дросельному вентилі і складають відповідно 215 кВт·год та 246 кВт·год. Саме цих частин деструкції ексергії можна позбутися «автоматично» за рахунок удосконалення інших елементів або структурних змін системи. У випарнику та конденсаторі деструкція ексергії $E_{D,k}^{EX,AV,year}$ практично відсутня.

Перейдемо до аналізу взаємного впливу компонентів системи, що спричиняє зовнішню залежну деструкцію ексергії k -го компонента теплового насоса. Виділимо саме ту частину деструкції, яку можна уникнути.

Із рис. 7 видно, що сезонне значення сумарної деструкції ексергії, яку можна уникнути, $E_{D,k}^{AV,\Sigma,year}$ є найбільшим у випарнику $E_{D,EV}^{AV,\Sigma,year} = 562$ кВт·год. У конденсаторі ця частина деструкції виявилася на 17 % менша ніж у випарнику. У компресорі ця частина деструкції ексергії є досить малою і становить всього 81 кВт·год. Деструкція ексергії, яку можна уникнути за допомогою удосконалення дросельного вентиля $E_{D,TV}^{AV,\Sigma,year}$ рівна нулю.

Отже, для даної схеми теплозабезпечення будику за допомогою теплового насоса на стічних водах, суттєвого зниження деструкції ексергії у ньому можна досягти шляхом зниження необоротностей від передачі теплоти у випарнику та конденсаторі. При цьому, випарник має більші можливості із зниження деструкції ніж конденсатор.

Враховання впливу втрат тиску на результати поглибленого ексергетичного аналізу теплового насоса, що працює в складі системи теплозабезпечення, передбачається в наступних етапах досліджень. Поєднання ексергетичних, економічних та екологічних методів оцінки можливе за допомогою реалізації поглибленого ексергоекномічного (exergoeconomic) та ексергоприродничого (exergoenvironmental) аналізів.

Висновки

1 В роботі наведені результати поглибленого ексергетичного аналізу теплового насоса на стічних водах, призначеного для теплозабезпечення будівлі протягом опалювального періоду із урахуванням сезонних коливань потреб енергії та температури низькопотенційного джерела.

2 Показана перевага поглибленого ексергетичного аналізу у порівнянні із традиційним, де важко кількісно оцінити можливості підвищення ексергетичної ефективності установки.

3 Показано, що у прийнятих умовах, термодинамічне удосконалення теплового насоса можливе за рахунок зменшення необоротностей при передачі теплоти у випарнику та конденсаторі –

тобто зниження температурного напору у цих теплообмінниках. При цьому, випарник має більші можливості ніж конденсатор. У компресорі можливості незначні, а дросельний вентиль взагалі не в змозі підвищити термодинамічну ефективність установки

Подяки

Стаття підготовлена в рамках виконання проекту «Комплекс ресурсозберігаючих технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних та військових об'єктів» (номер державної реєстрації НДР 0116U007384).

Список літератури

- 1 **Tsatsaronis, G.** Advanced exergy-based methods used to understand and improve energy-conversion systems / **G. Tsatsaronis, T. Morosuk** // The 4th International Conference on Contemporary Problems of Thermal Engineering (CPOTE-2016). Program and Proceedings, Gliwice – Katowice, Silesia, Poland, September, 14–16, 2016. – Gliwice – Katowice, Silesia, 2016. – P. 75–89. – ISSN 978-83-61506-36-2.
- 2 **Morosuk T.** New approach to the exergy analysis of absorption refrigeration machines / **T. Morosuk, G. Tsatsaronis** // Energy. – 2008. – Vol. 33. – P. 890–907.
- 3 **Morosuk, T.** Advanced exergetic evaluation of refrigeration machines using different working fluids / **T. Morosuk, G. Tsatsaronis** // Energy. – 2009. – Vol. 34. – P. 2248–2258.
- 4 **Erbay, Z.** Application of conventional and advanced exergy analyses to evaluate the performance of a ground-source heat pump (GSHP) dryer used in food drying / **Z. Erbay, A. Hepbasli** // Energy Conversion and Management. – 2014. – Vol. 78. – P. 499–507. – ISSN 0196-8904. – doi: 10.1016/j.enconman.2013.11.009
- 5 **Харлампида, Д. Х.** Структурный термодинамический анализ пароконденсаторной холодильной машины / **Д. Х. Харлампида, В. А. Тарасова** // Технические газы. – 2012. – № 5. – С. 57–66. – ISSN 1682-0355.
- 6 **Арсеньев, В. М.** Теплоносная технология энергосбережения : навч. посіб. / **В. М. Арсеньев**. – Суми : СумДУ, 2011. – 283 с.
- 7 **Herbas, T. B.** Steady-state simulation of vapor-compression heat pump / **T. B. Herbas, E. C. Berlinck, C. A. T. Uriu, R. P. Marques, J. A. R. Parise** // International Journal of Energy Research. – 1993. – Vol. 17. – P. 801–816.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Tsatsaronis, G. and Morosuk, T.** (2016), "Advanced exergy-based methods used to understand and improve energy-conversion systems", *The 4th International Conference on Contemporary Problems of Thermal Engineering (CPOTE-2016)*, Gliwice – Katowice, Silesia, Poland, September, 14-16, 2016, Gliwice – Katowice, Silesia, pp. 75–89, ISSN 978-83-61506-36-2.

- 2 **Morosuk, T.** (2008), "New approach to the exergy analysis of absorption refrigeration machines", *Energy*, Vol. 33, pp. 890–907.
- 3 **Morosuk, T. and Tsatsaronis, G.** (2009), "Advanced exergetic evaluation of refrigeration machines using different working fluids", *Energy*, Vol. 34, pp. 2248–2258.
- 4 **Erbay, Z. and Hepbasli, A.** (2014), "Application of conventional and advanced exergy analyses to evaluate the performance of a ground-source heat pump (GSHP) dryer used in food drying", *Energy Conversion and Management*, Vol. 78, pp. 499–507, ISSN 0196-8904, doi: 10.1016/j.enconman.2013.11.009.
- 5 **Kharlampidi, D. Kh. and Tarasova, V. A.** (2012), "Strukturniy termodinamicheskij analiz parokompresornoj holodil'noj mashiny [Structural thermodynamic analysis of vapor compression refrigeration machine]", *Tehnicheskiye gazy*, No. 5. pp. 57–66, ISSN 1682-0355.
- 6 **Arsenjev, V. M.** (1993), *Teplonasosna tehnologija energozberezhenija [Heat pumps technology of energy saving]*, SumDU, Sumy, Ukrainian.
- 7 **Herbas, T. B., Berlinck, E. C., Uriu, C. T. A., Marques, P. P. and Parise, J. A. R.** (1993), "Steady-state simulation of vapor-compression heat pump", *International Journal of Energy Research*, Vol. 17, pp. 801–16.

Відомості про авторів (About authors)

Волощук Володимир Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне; e-mail: Volodya-28@yandex.ru, ORCID 0000-0003-0687-8968.

Volodymyr Voloshchuk – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Hydro-, Thermal Engineering and Hydraulic Machines, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Волощук, В. А. Поглиблений ексергетичний аналіз теплового насоса як елемента системи теплозабезпечення будинку з урахуванням сезонних коливань режимів роботи / **В. А. Волощук** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 10(1232). – С. 59–65. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.10.08.

Please cite this article as:

Voloshchuk, V. (2017), "Advanced Exergetic Analysis of a Heat Pump Providing Space Heating Taking Into Account Seasonal Variations of Operation Modes", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 10(1232), pp. 59–65, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.10.08.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Волощук, В. А. Углублен эксергетический анализ теплового насоса как элемента системы теплообеспечения здания с учетом сезонных колебаний режимов работы / **В. А. Волощук** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 10(1232). – С. 59–65. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.10.08.

АННОТАЦИЯ В работе приведенные результаты углубленного эксергетического анализа теплового насоса на сточных водах, предназначенного для теплообеспечения здания с учетом сезонных колебаний потребностей энергии и температуры низкопотенциального источника. Показано, что в принятых условиях действительное снижение деструкции эксергии в тепловом насосе возможно за счет уменьшения необратимостей при передаче теплоты в испарителе и конденсаторе – то есть снижения температурного напора в этих теплообменниках.

Ключевые слова: углубленный эксергетический анализ, тепловой насос, теплообеспечение здания.

Надійшла (received) 08.02.2017