

УДК 621.577

Застосування абсорбційного теплового насоса в умовах наявної теплоелектроцентралі

А. О. Редько¹, І. О. Редько², С. В. Павловський³, Ю. О. Бурда⁴, Ю. О. Півненко⁵, С. О. Алфьоров⁶

¹ д.т.н., проф. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, andrey.ua-mail@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2331-7273

² д.т.н., доц. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, germes_s2006@ukr.net, ORCID:0000-0002-9863-4487

³ к.т.н., асист. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, pavlovskiy.sv1@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9891-2133

⁴ к.т.н., асист. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, burda.yurii.1991@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3470-1334

⁵ к.т.н., асист. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, pivnenko.yura@gmail.com, ORCID 0000-0002-6675-2649

⁶ асп. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, sergey.alf312@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3451-1004

Анотація. Залежність людства від енергетичних ресурсів тільки збільшується із розвитком науково-технічного прогресу. Стає зрозумілим, що незабаром запас природних енергоресурсів вичерпається. Рішення полягає в застосуванні нових технологій вироблення енергії на основі альтернативних та вторинних джерел. Завдяки наявності в Україні теплоелектроцентралей існує можливість виробництва теплової енергії за рахунок використання вторинної теплоти за допомогою теплових насосів абсорбційного типу. При цьому, тепла енергія димових газів та пара з парових турбін не обігрівають атмосферу, а залучаються до вироблення теплової енергії для теплових мереж населених пунктів. Завдяки здатності розчину абсорбенту поглинати та конденсувати водяну пару під впливом низькопотенційного та високопотенційного теплоносіїв удається значно знизити споживання традиційних енергоресурсів та підвищити загальну ефективність роботи теплоелектроцентралей.

Ключові слова: теплоенергетична система, вторинні енергоресурси, енергоефективність, теплогенераційне обладнання, абсорбційний тепловий насос, абсорбційний процес, низькопотенційний теплоносій, високопотенційний теплоносій.

Вступ. Енергетична незалежність України є пріоритетним напрямком розвитку держави та основою сильної економіки. Вирішення даної проблеми потребує застосування новітніх технологій та модернізації наявних технологічних процесів, пов'язаних із виробленням теплової енергії. На сьогодні процеси генерації теплоти супроводжуються значними тепловтратами через застаріле обладнання та не оптимізовані технологічні схеми роботи теплоенергетичних систем.

Актуальність дослідження. Світовий досвід показує, що використання вторинних енергоресурсів може значно покращити енергетичний баланс країни. І головною проблемою є недостатнє споживання наявних ресурсів даного типу.

У сучасному мінливому кліматі використання відновлюваних джерел енергії пов'язано зі значними затратами та ризиками. Тому важливо звернути увагу на максимальне споживання стабільно наявних вторинних енергоресурсів.

Одним з таких потужних джерел є теплогенераційні процеси. Особливо великий обсяг таких ресурсів є у великих містах із мережами

центрального теплопостачання. Тому, підвищення ефективності роботи теплогенераційних підприємств дає змогу значно покращити енергетичний баланс усієї країни та знизити тарифи на теплову енергію для промисловості і населення, що у свою чергу дозволить підвищити рівень життя громадян.

Останні дослідження та публікації. Можливість підвищення ефективності теплогенераційних об'єктів розглядається з моменту винайдення теплогенераторів. Особливо важливим це питання постало з початку ХХ століття із активним розвитком промисловості. Тому багато науковців присвятили свої роботи даній темі [1-5].

Одним із способів досягти цього є застосування теплових насосів компресійного чи абсорбційного принципу дії. Поява абсорбційних установок зворотного циклу, які відомі вже декілька десятиліть, дозволяє витіснити дорожчі і складніші в експлуатації компресійні насоси [6].

В установках зворотного циклу відбувається зворотній до природного перебіг термодинамічних процесів, тобто передача теплоти від

більш холодної системи до більш гарячої. Для можливості реалізації цього необхідно додатково витратити енергію. У компресійних машинах зворотного циклу додаткова енергія надходить у формі роботи, в абсорбційних теплових насосах (АБТН) – теплоти.

Для збільшення ефективності абсорбційних машин можливо використовувати вторинну теплову енергію ТЕЦ, яка є дешевшою за інші джерела [7].

АБТН функціують на ТЕЦ у багатьох країнах Світу. Особливо широке поширення дані технології набули в Китаї та США.

Країни Західної Європи, Російська Федерація та Республіка Білорусь також активно впроваджують цю ідею [8-10].

Українські вчені також розглядають можливість застосування теплових насосів у енергетичному секторі держави [11, 12]. Однак, застосування АБТН в умовах наявної ТЕЦ на основі робочих параметрів не було розглянуто.

Абсорбційний тепловий насос є складною термодинамічною системою зі суміщенням прямого й зворотного циклів. Процеси і цикли АБТН здійснюються за допомогою розчину, складеного з двох або трьох компонентів. Здебільшого використовують водний розчин броміду літію.

Бінарний розчин $(H_2O)+(LiBr)$ розглядають як сукупність абсорбенту (поглинача) і холодоагенту (робочої речовини). При цьому холодоагентом є вода, а бромід літію – абсорбентом.

За допомогою абсорбенту реалізується прямий термодинамічний цикл. За допомогою холодоагенту виконується зворотний цикл.

Основними вимогами до абсорбенту є повна та швидка розчинність у ньому холодоагенту та значно вища нормальна температура кипіння абсорбенту порівняно з холодоагентом.

Абсорбційні теплообмінні машини поділяють на знижувальні й підвищувальні. Знижувальна є холодильною машиною, а підвищувальна працює як тепловий насос. При цьому температура джерела об'єкта повинна бути вищою за температуру джерела, що гріє [13].

При роботі підвищувального АБТН (рис. 1) вода кипить під вакуумом у випарнику за рахунок низькопотенційного теплоносія та надходить до абсорбера, де поглинається концентрованим розчином $LiBr$.

Розведений розчин з абсорбера відкачується до генератора. В останньому здійснюється регенерація (випарювання) поглиненої в абсорбері водяної пари за рахунок теплоти високопотенційного теплоносія.

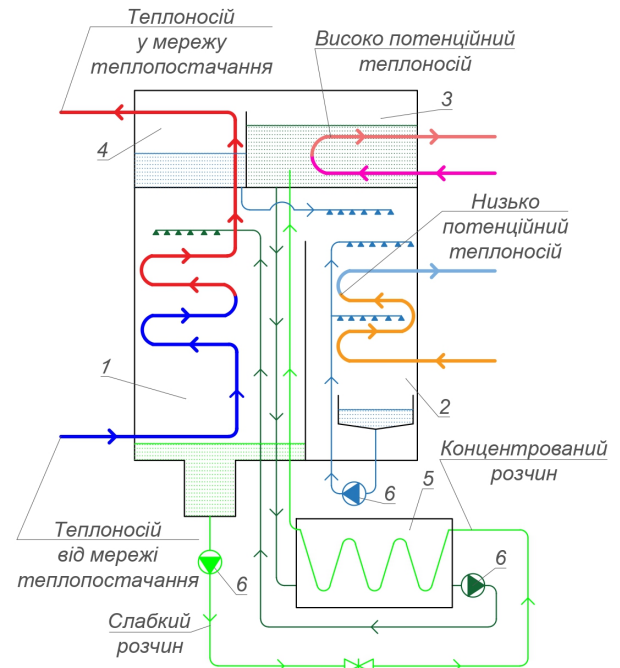


Рис. 1. Принцип дії підвищувального АБТН:
1 – абсорбер; 2 – випарник; 3 – генератор;
4 – конденсатор; 5 – теплообмінник; 6 – насос

Потік отриманої пари з генератора надходить до конденсатора, де під час конденсації нагріває теплоносій мережі теплопостачання.

Сконденсована вода повертається до випарника, а концентрований розчин $LiBr$ до абсорбера і цикл повторюється [14].

Головним недоліком АБТН є потреба у високопотенційному та низькопотенційному джерелах енергії. Така комбінація джерел є на теплогенераційних установках, що обумовлює ефективне використання саме цього типу теплових насосів.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є аналіз можливості застосування АБТН на прикладі наявної ТЕЦ-3 м. Харкова.

Основна частина. В умовах наявної теплоелектроцентральної джерелом високопотенційної теплоти може бути пара з температурою $100...200\text{ }^{\circ}\text{C}$, що за робочим циклом використовується для вироблення електроенергії. Низькопотенційним теплоносієм може бути вода, нагріта відхідними газами до $20...40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в економайзерах на димових трубах котлів.

Можливість застосування АБТН розглядається на прикладі наявної ТЕЦ-3 міста Харкова, Україна. Технологічна схема дозволяє впровадити АБТН із циркуляційним контуром та контур низькопотенційної енергії з економайзерами (рис. 2).

Загальна кількість теплової енергії, що виробляє ТЕЦ-3, $Q_{ТЕЦ} = 170,77\text{ МВт}$:

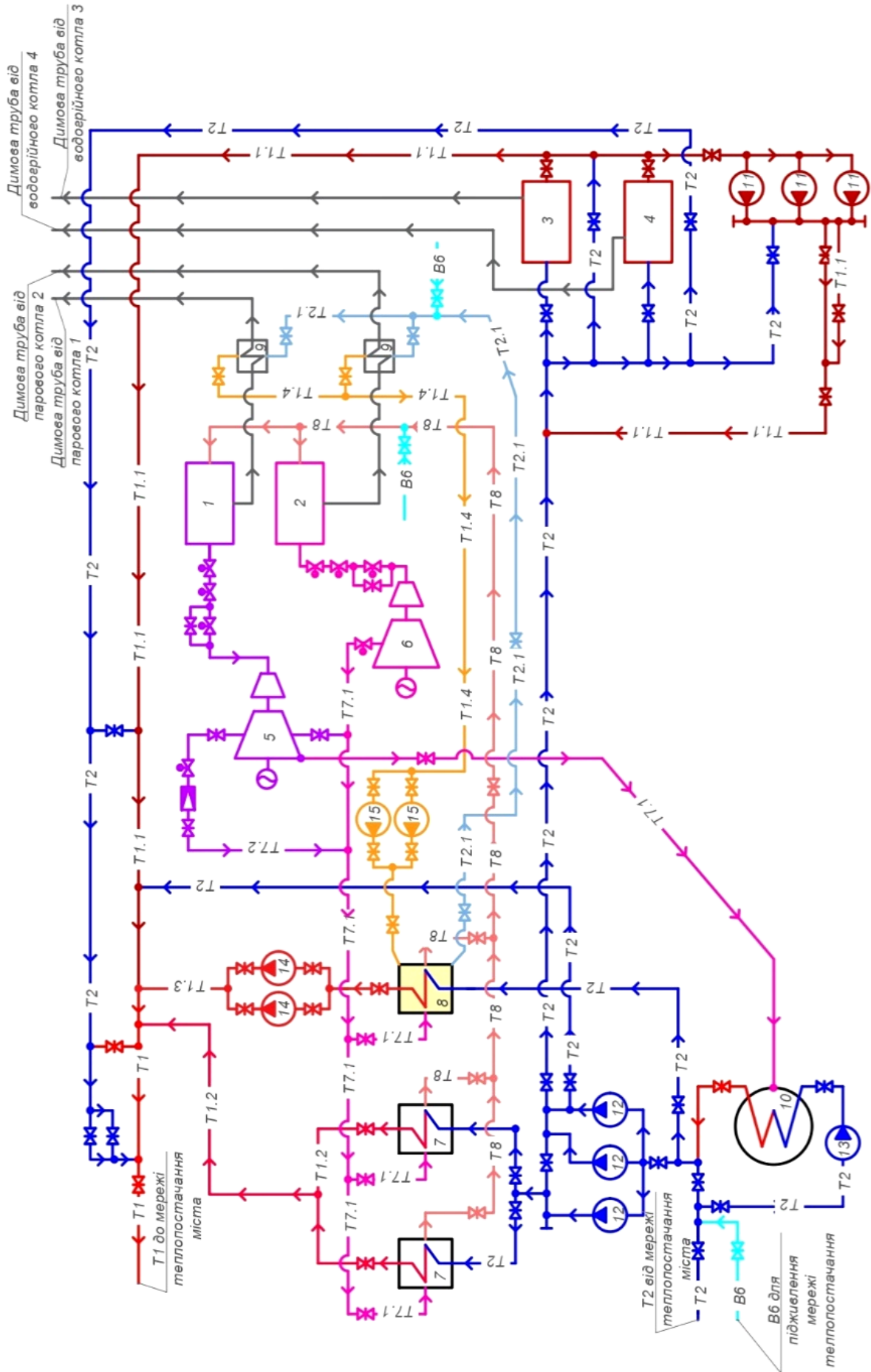


Рис. 2. Принципова тепла схема ТЕЦ з паровим підвищувальним АБТН:

1 – паровий газовий котел високого тиску ($P_{max} = 7,0$ МПа, $t_{max} = 490$ °С); 2 – паровий газовий котел середнього тиску ($P_{max} = 2,9$ МПа, $t_{max} = 370$ °С); 3, 4 – водогрійні газові котли; 5 – парова турбіна високого тиску; 6 – парова турбіна середнього тиску; 7 – пароводяні кожухотрубні теплообмінники; 8 – паровий АБТН; 9 – економайзери димових газів; 10 – градирня; 11 – циркуляційні насоси водогрійних котлів; 12 – мережеві насоси системи теплопостачання; 13 – циркуляційний насос градирні; 14 – циркуляційний насос контуру АБТН; 15 – циркуляційний насос контуру низькопотенційного теплоносія. Т1 – трубопровід подавальний мережі теплопостачання; Т1.1 – трубопровід подавальний мережі теплопостачання водогрійних газових котлів; Т1.2 – трубопровід подавальний мережі теплопостачання від пароводяних теплообмінних агрегатів; Т1.3 – трубопровід подавальний мережі теплопостачання від АБТН; Т1.4 – трубопровід подавальний контуру низькопотенційного теплоносія для АБТН; Т2 – трубопровід зворотний мережі теплопостачання; Т2.1 – трубопровід зворотний контуру низькопотенційного теплоносія для АБТН; Т7.1 – паропровід середнього тиску ($P_{max} = 2,9$ МПа); Т7.2 – паропровід високого тиску ($P_{max} = 7,0$ МПа); Т8 – конденсатопровід; В6 – виробничий водопровід пом'якшеної води

- водогрійний газовий котел (поз. 3) забезпечує 50,65 МВт теплової енергії, або 29,50 % від загальної теплопродуктивності;
- водогрійний газовий котел (поз. 4) забезпечує 49,49 МВт теплової енергії, або 28,88 % від загальної теплопродуктивності;
- один пароводяний кожухотрубний теплообмінник (поз. 7) забезпечує 23,69 МВт теплової енергії при витраті пари 38 т/год.
- три з'єднані паралельно теплообмінники виробляють 71,07 МВт або 41,62% від загальної теплопродуктивності.

Паровий підвищувальний АБТН фірми BROAD (Китай) марки 2400 згідно паспортних даних має теплову потужність 33,893 МВт при витраті насиченої пари 30,374 т/год [15]. Його теплопродуктивність на 10,20 МВт більша за кожухотрубний теплообмінник. Тому при сталій тепловій потужності ТЕЦ-3, можна зменшити теплові навантаження на водогрійні котли на це значення. При цьому витрата пари зменшиться на 7,62 т/год.

За даними експлуатаційної організації, витрата природного газу на вироблення 1 МВт теплової енергії на водогрійному котлі становить 130 $\text{нм}^3/\text{год}$, на 1 т пари витрачається 536 $\text{нм}^3/\text{год}$. Зменшення теплового навантаження на газові котли на 10,20 Вт дозволяє економити 1326 $\text{нм}^3/\text{год}$ природного газу, а зменшення виробництва пари на 7,62 т/год дає економію у 4084,32 $\text{нм}^3/\text{год}$. Загальна економія природного газу складе 5410,32 $\text{нм}^3/\text{год}$ або 10,59 % від повної витрати природного газу на ТЕЦ.

Висновки: Застосування АБТН дозволяють підвищити ефективність використання теплоти в установках генерації теплоти. Наприклад, у випадку ТЕЦ-3 м. Харкова дозволяє зменшити витрату природного газу до 11 %.

Перспективи подальших досліджень. В подальшому планується розрахувати критичні значення робочих параметрів абсорбційних теплових насосів.

Література

1. Мартыновский В. С. Тепловые насосы / В. С. Мартыновский. – Москва : Госэнергоиздат, 1955. – 191 с.
2. Talom H. L. Heat Recovery from Automotive Engine / H. L. Talom, A. Beyene // Applied Thermal Engineering. – Vol. 29, Iss. 2–3. – 2009. – P. 439-444.
3. Рей Д. Тепловые насосы / Д. Рей. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 224 с.
4. Redko A. Low-Temperature Energy Systems with Applications of Renewable Energy / A. Redko, O. Redko, R. DiPippo. – Elsevier Science, 2019. – 394 p.
5. Романюк, В. Н. К вопросу о развитии систем теплоснабжения в Беларуси. Взгляд в ближайшее будущее и обозримую перспективу / В. Н. Романюк, Б. М. Хрусталёв, Т. В. Бубырь // Энергия и Менеджмент. – 2014. – № 4-5 – С. 2-7.
6. Редько І.О., Редько А.О., Приймак О.В., Бурда Ю.О. Підвищення ефективності систем теплогенерації центрального теплопостачання // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2019. – Вип. 28. – С. 41-47.
7. Романюк В.Н. Абсорбционные тепловые насосы в heat pipes by changes of entropy / A. Redko, N. Kulikova, S. Pavlovskiy, O. Redko // Heat Transfer Research, 2018 – Vol. 49. – № 16. – P. 1545-1557. DOI: 10.1615/HeatTransRes.2018019336
11. Редько А.Ф. Сжигание твёрдого топлива в вихревой топке со встречными закрученными потоками / А.Ф. Редько, А.А. Редько, И.А. Редько // Проблемы региональной энергетики, 2017. – №3(35). – С. 33-44с.
12. Арсеньев В. М, Теплові насоси: основи теорії і розрахунку / В. М. Арсеньев, С. С. Мелейчук. – Сумський державний університет. – 2018. – 77 с.
13. Ковалев Д. В. Перспективные режимы работы генерирующего оборудования в составе белорусской энергосистемы после 2020 года / Д. В. Ковалев // Энергетическая стратегия, 2013. – № 4(40). – С. 20-23.
14. Абсорбционные технологии [Электронный ресурс] / Сервис тепло и хладооборудования. – 2020. – URL: <https://broad-ctx.by/>

References

1. Martynovskiy V. S. *Teplovye nasosy*. Gosenergoizdat, 1955.
2. Talom H. L., Beyene A. "Heat Recovery from Automotive Engine". *Applied Thermal Engineering*. Vol. 29, Iss. 2–3. 2009. P. 439-444.
3. Rei D. *Teplovye nasosy*. Energoizdat, 1982.
4. Redko A. Redko O., DiPippo R. *Low-Temperature Energy Systems with Applications of Renewable Energy*. Elsevier Science, 2019.
5. Romanyuk V.N., Khrustalev B.M., Bubyр T.V. "K voprosu o razvitii sistem teplosnabzheniia v Belarusi. Vzgliag v blizhaishee budushchee i ojozrimuiu perspektivu". *Energiia i Manadziment*. 2014. № 4-5 . P. 2-7.
6. Redko I.O., Redko A.O., Priymak O.V., Burda Yu.O. "Pidvyshchennia efektyvnosti system teploheneratsii tsentrpalnoho teplopostachannia". *Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohozopostachannia*. 2019. Vyp. 28. P. 41-47.
7. Romanyuk V.N., Bobich A.A., Muslin D.V., Kolomytskaya N.A., Malkov S.V., Bubyр T.V. "Absorbtsionnye teplovye nasosy v teplovoi skheme TETS dlia povysheniia ee energeticheskoi effektivnosti". *Energiia i Manadziment*. 2013. № 1. P. 14-19.
8. Shinsky F. *Upravlenie protsessami po kriteriiu ekonomii energii*. Mir, 1981.
9. Yanchenko I. V. *Vliianie absorbtsionnogo teplovogo nasosa na teplovuiu ekonomichnost TES i AES*. Diss. Yuzhno-Rossiiskii gosudarstvennyi politekhnicheskii universitet (NPI) imeni M.I. Platova, 2015.
10. Redko A., Kulikova N., Pavlovskiy S., Redko O. "Simulation and optimization of heat-exchanger parameters of heat pipes by changes of entropy". *Heat Transfer Research*, 2018. Vol. 49. № 16. P. 1545-1557. DOI: 10.1615/HeatTransRes.2018019336
11. Redko A.F., Redko A.A., Redko I.A. "Szhiganie tverdogo topliva v vikhrevoi topke so vstrechnymi zakruchennymi potokami". *Problemy regionalnoi energetiki*, 2017. №3(35). P. 33-44.
12. Arsenyev V. M., Meleichuk S. S. *Teplovi nasosy: osnovy teorii i rozrakhunku*. Sumskiy derzhavnyi universytet. 2018.
13. Kovalev D. V. "Perspektivnye rezhimy raboty generiruiushchego oborudovaniia v sostave belorusskoi energosistemy posle 2020 goda". *Energeticheskaiia strategiiia*, 2013. № 4(40). P. 20-23.
14. Absorbtsionnye tekhnologii. <https://broad-ctx.by/>

УДК 621.577

Применение абсорбционного теплового насоса в условиях действующей ТЭЦ

А. А. Редько¹, И. А. Редько², С. В. Павловский³, Ю. А. Бурда⁴, Ю. А. Пивненко⁵, С. А. Алфёров⁶

¹ д.т.н., проф. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, andrey.ua-mail@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2331-7273

² д.т.н., доц. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, germes_s2006@ukr.net, ORCID:0000-0002-9863-4487

³ к.т.н., асист. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, pavlovskiy.svl@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9891-2133

⁴ к.т.н., асист. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, burda.yurii.1991@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3470-1334

⁵ к.т.н., асист. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, pivnenko.yura@gmail.com, ORCID 0000-0002-6675-2649

⁶ асп. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, sergey.alf312@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3451-1004

Аннотация. Зависимость человечества от энергетических ресурсов только увеличивается с развитием научно-технического прогресса. Становится понятным, что вскоре запас природных энергоресурсов иссякнет. Решение заключается в применении новых технологий выработки энергии на основе возобновляемых и вторичных источников. Благодаря наличию в Украине действующих ТЭЦ существует возможность производства тепловой энергии за счёт использования вторичной теплоты с помощью тепловых насосов абсорбционного типа. При этом, тепловая энергия дымовых газов и пара из паровых турбин не нагревает атмосферу, а используется для выработки тепловой энергии для тепловых сетей населённых пунктов. Благодаря способности раствора абсорбента поглощать и конденсировать водяной пар под воздействием низкопотенциального и высокопотенциального теплоносителей удаётся значительно снизить потребление традиционных энергоресурсов и повысить общую эффективность работы ТЭЦ.

Ключевые слова: теплоэнергетическая система, вторичные энергоресурсы, энергоэффективность, теплогенерирующее оборудование, абсорбционный тепловой насос, абсорбционный процесс, низкопотенциальный теплоноситель, высокопотенциальный теплоноситель.

UDC 621.577

Application of an absorption heat pump in the conditions of an existing combined heat and power plant

A. Redko¹, I. Redko², S. Pavlovskiy³, Y. Burda⁴, Y. Pivnenko⁵, S. Alforov⁶

¹ doctor of technical sciences, prof. Kharkov National University of Construction and Architecture, Kharkov, Ukraine, andrey.ua-mail@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2331-7273

² doctor of technical sciences, associate professor, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov, Ukraine, germes_s2006@ukr.net, ORCID:0000-0002-9863-4487

³ Ph.D assistant, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov, Ukraine, avlovskiy.sv1@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9891-2133

⁴ Ph.D assistant, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov, Ukraine, burda.yurii.1991@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3470-1334

⁵ Ph.D assistant, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, pivnenko.yura@gmail.com, ORCID 0000-0002-6675-2649

⁶ Post-graduate student, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov, Ukraine, sergey.alf312@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3451-1004

***Annotation.** The dependence of mankind on energy resources only increases with the development of scientific and technological progress. It is clear that the supply of natural energy resources will run out soon. The solution is using new energy generation technologies based on renewable and secondary sources. Due to the presence in Ukraine of operating combined heat and power plants, there is the possibility of producing thermal energy using the secondary heat by absorption heat pumps. At the same time, the thermal energy of flue gases and steam from steam turbines does not heat the atmosphere, but are involved in the generation of thermal energy for heating networks of settlements. Due to the ability of the absorbent solution to absorb and condense water vapor under the influence of low-potential and high-potential heat carriers, it is possible to significantly reduce the consumption of traditional energy resources and increase the overall efficiency of the combined heat and power plants. World experience shows that the use of secondary energy resources can significantly improve the country's energy balance. And the main problem is the availability of these resources. In today's changing climate, the use of renewable energy sources requires additional expenses and it is appropriate to pay attention to use of present secondary energy resources, which are not used now. There are a lot of such resources available in heat generating facilities. This is especially noticeable in large cities with central heating networks. Therefore, increasing the efficiency of their work makes it possible to significantly improve the energy balance of the whole country and reduce tariffs for thermal energy for industry and individual consumers, which, in turn, will improve the living standards of citizens.*

***Keywords:** heat and power system, secondary energy, energy efficiency, heat generation equipment, absorption heat pump, absorption process, low potential heat carrier; high potential heat carrier.*

Надійшла до редакції / Received 25.05.2020.