



СНЕЖКІН

Юрій Федорович —
член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор,
заступник директора Інституту
технічної теплофізики
НАН України

ЕНЕРГООЩАДНІ ТЕПЛОНАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВО- КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА І ПРОМИСЛОВОСТІ

За матеріалами наукової доповіді
на засіданні Президії НАН України
13 травня 2015 року

Розглянуто проблеми розвитку і застосування теплонасосних технологій в Україні. Наведено приклади впровадження новітніх зразків енергоефективного теплонасосного обладнання, розробленого фахівцями Інституту технічної теплофізики НАН України.

Ключові слова: теплонасосні установки, заміщення природного газу, відновлювані джерела енергії, енергоефективність.

Вступ

Теплонасосні установки, основані на зворотному термодинамічному циклі, використовують відновлювану низькопотенційну теплову енергію навколишнього середовища та вторинних енергоносіїв, підвищуючи її потенціал до рівня, необхідного для теплопостачання. Теплонасоси споживають у 3–4 рази менше первинної енергії, ніж системи традиційного теплопостачання, тому їх застосування сприяє захисту навколишнього середовища завдяки зниженню рівня теплового забруднення та скороченню викидів шкідливих продуктів згорання.

Основним показником, за яким зазвичай порівнюють енергетичну ефективність різних типів теплогенеруючого обладнання, є питоме споживання первинного палива. Якщо прийняти за 100% первинну енергію (органічне паливо), яка споживається в теплохолодозабезпеченні (рис. 1), то виявляється, що в електричному бойлері вона використовується на 30%, у котельні, що працює на газі чи твердому паливі, — в середньому на 80–90%, і тільки тепловий насос дозволяє підвищити цей показник до 110–185%.

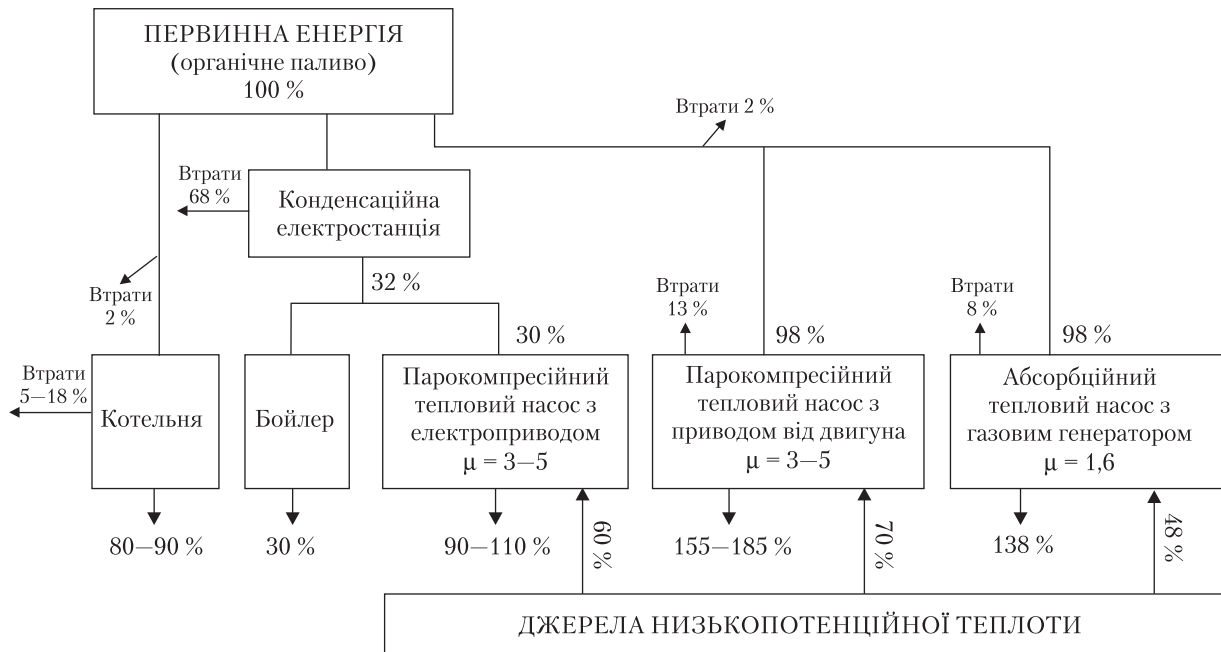


Рис. 1. Ефективність використання первинної енергії при теплопостачанні

Джерелами низькопотенційної теплоти можуть бути різні види відновлюваної енергії — тепло відкритих водойм, геотермальна енергія, верхній шар ґрунту, стічні та шахтні води, навколишнє повітря та ін. Потенціал відновлюваної енергії перевищує енергію розвіданих традиційних енергоносіїв у 80 разів [1]. У зв'язку з цим постає питання: який же з цих видів енергії вигідніше використовувати?

Розвиток теплонасосних технологій у країнах Європи

Орієнтиром для оцінки перспектив запровадження теплонасосних установок в Україні є зарубіжний досвід їх масового застосування. У різних країнах цей досвід різний і залежить від кліматичних, географічних особливостей, рівня розвитку економіки, паливно-енергетичного балансу, співвідношення цін на основні види палива і електроенергію.

Найбільшого поширення у світі набули повітряно-повітряні реверсивні теплонасосні установки, призначені для опалювання та літнього кондиціювання повітря. У Німеччині

найбільш затребуваними виявилися теплові насоси, що використовують теплоту навколишнього повітря і ґрунту. У Нідерландах, Данії та деяких інших країнах, де найдоступнішим видом палива є газ, активно розвиваються теплонасосні установки з приводом від газового двигуна, а також абсорбційні теплові насоси. У скандинавських країнах наявність дешевої електроенергії і значне поширення систем центрального теплопостачання зумовили розвиток великих теплонасосних установок.

Наприклад, у Швеції за допомогою теплових насосів виробляється більш як 50% тепла для потреб опалення і гарячого водопостачання, причому собівартість такої теплоти на 20% нижча, ніж у разі її виробництва в традиційних газових котельнях. За прогнозами Світового енергетичного комітету, до 2020 р. частка теплонасосних установок у теплопостачанні зросте до 75%. Найбільшою теплонасосною системою теплопостачання є Стокгольмська установка потужністю 320 МВт. Вона розміщена на причалених до берега баржах і використовує як низькотемпературне джерело воду Балтійського моря температурою 2–4 °С.

Потенціал різних джерел низькопотенційної теплоти в Україні

Які ж джерела низькопотенційної енергії можуть бути перспективними для України? На наш погляд, майже всі. Однак у великих містах найбільш ефективним є використання теплоти стічних вод. Економічно доцільний потенціал теплоти стічних вод в Україні становить понад 1,5 млн т умовного палива (у.п.) на рік. За нашими оцінками, при такому використанні теплових насосів можна виробляти теплової енергії більш як 2 млн т у.п. на рік, що дозволить замінити 2,2 млрд м³ газу.

Інститут технічної теплофізики НАН України вперше в Україні розробив і впровадив у м. Краматорську теплонасосну систему гарячого водопостачання потужністю 1,5 МВт, у якій джерелом низькопотенційної енергії є неочищені каналізаційні стічні води (рис. 2). Ця теплонасосна установка забезпечує гарячою водою 4400 споживачів і дає змогу економити 1,56 млн м³ газу на рік.

Однак парадокс полягає в тому, що в умовах чинних пільгових тарифів на теплову енергію для населення розрахунковий термін окупності такої теплонасосної системи становить 19,5 років, а з урахуванням ринкової ціни зекономленого газу — 2,5 роки.

Економічно доцільний енергетичний потенціал ґрунту і ґрунтових вод в Україні оцінюється у понад 1,2 млн т у.п. на рік [2]. Технічно можливі обсяги використання цієї енергії для теплозабезпечення за допомогою теплових насосів досягають 1,75 млн т у.п. на рік, що дозволить заощадити близько 2 млрд м³ газу. Інститут розробив компресійний тепловий насос типу «вода-вода» потужністю 50 і 100 кВт. Цю розробку впроваджено на ДП НВК «Прогрес» у м. Ніжин, де використовується низькопотенційна теплота артезіанської води (рис. 3).

Для систем теплохолодопостачання в 70–80-х роках минулого століття Інститут уперше в СРСР розробив двоступеневі абсорбційні бромистолітєві термотрансформатори, що працюють як у режимі теплового насоса, так і в режимі холодильної машини [3]. Серійне ви-

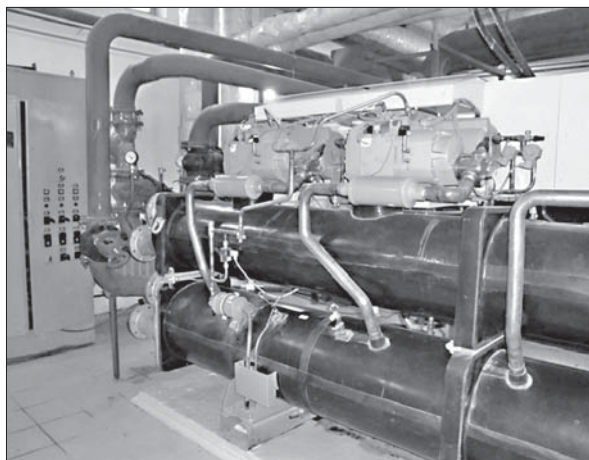


Рис. 2. Теплонасосна система гарячого водопостачання потужністю 1,5 МВт (м. Краматорськ), що працює з використанням теплоти каналізаційних стічних вод

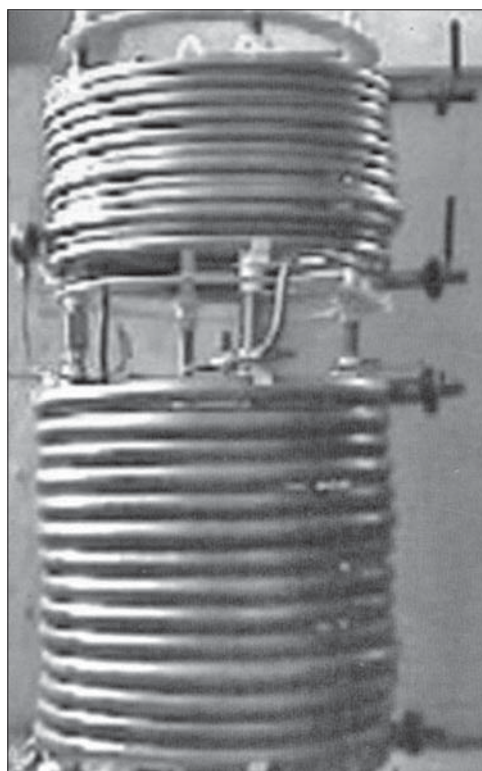


Рис. 3. Загальний вигляд теплового насоса потужністю 50 кВт (м. Ніжин), що працює з використанням теплоти артезіанської води

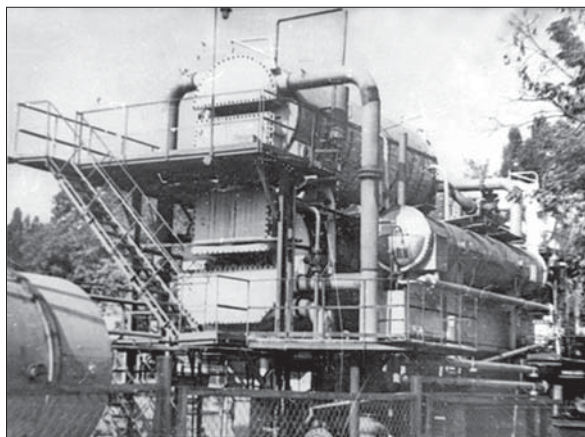
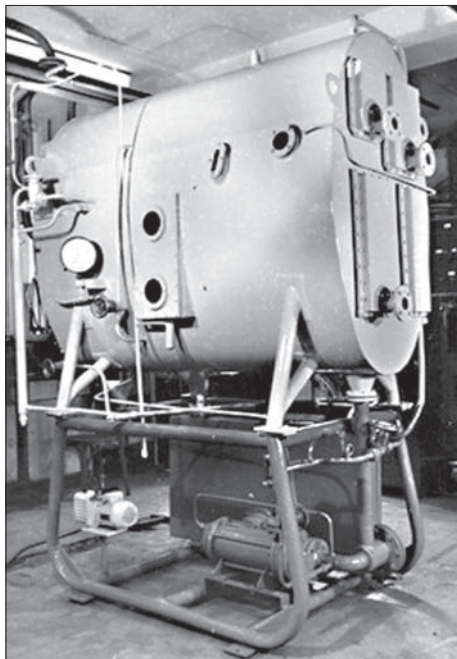


Рис. 4. Абсорбційні термотрансформатори для теплоохолодження комунальних і промислових об'єктів

робництво абсорбційних агрегатів потужністю 2,5 МВт здійснювалося на заводі «Пензхім-маш» (рис. 4).

У рамках науково-технічного проекту НАН України Інститут створив дослідну лабораторію теплонасосного теплопостачання на базі школи підвищення кваліфікації наукових кадрів ІТТФ НАН України в с. Соколівка Чернігівської області. Теплонасос «вода-вода» потужністю 10,2 кВт забезпечує кілька будівель бази опаленням, гарячим водопостачанням та кондиціонуванням. У процесі виконання цього проекту досліджується ефективність використання теплоти відкритих водойм та вплив теплонасосної установки на температурні й екологічні зміни в замкнених водоймах.

Крім того, з метою використання теплоти відкритих водойм було розроблено проект і техніко-економічне обґрунтування теплонасосної установки гарячого водопостачання потужністю 55 МВт у м. Севастополь. Особливістю цього проекту є когенераційна установка для електроживлення теплонасоса. Застосування комбінованих когенераційно-теплонасосних установок забезпечує не лише економію при-

родного газу на 50–60 %, а й зниження викидів CO_2 і NO_2 , зменшення теплового забруднення атмосфери на 30–50 %. Основним джерелом економії газу в таких установках є використання низькопотенційної енергії (в цьому випадку – моря) і утилізація скидної теплоти двигунів. При цьому собівартість 1 Гкал теплоти знижується на 30–40 %. Однак зараз цей проект відкладено на невизначений термін.

Технічно доцільний енергетичний потенціал повітря становить в Україні близько 3,5 млн т у.п. на рік [2]. На сьогодні це найефективніше джерело низькопотенційної енергії. За даними Європейської асоціації теплових насосів (ЕНРА), у 2008 р. частка теплонасосів типу «повітря-вода» для опалення в загальному обсязі продажів у 8 європейських країнах (Австрія, Італія, Німеччина, Норвегія, Фінляндія, Франція, Швейцарія, Швеція) становила 34,9 %, що майже в 4 рази перевищує продажі ґрунтових теплонасосів. Це пояснюється насамперед тим, що технічні характеристики насосів «повітря-вода» досить високі (шведські теплонасоси фірми «Octopus» гарантовано працюють навіть за -40°C), а капітальні витра-

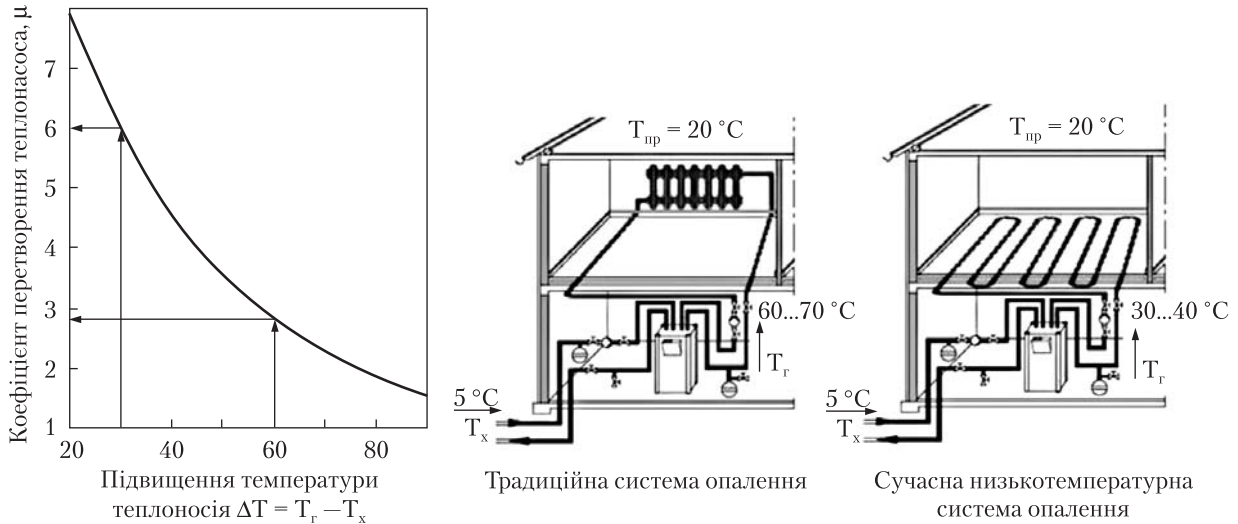


Рис. 5. Ефективність теплових насосів у різних системах опалення

ти на їх впровадження значно менші порівняно з ґрунтовими.

В останні роки Інститут впровадив 4 теплонасосні установки потужністю від 0,6 до 55 МВт, розробив 17 техніко-економічних обґрунтувань на опалення та гаряче водопостачання різного роду приміщень і будівель. Термін окупності об'єктів, якщо розраховувати його за економією природного газу, становить 2–4 роки.

Ефективність використання теплових насосів у різних системах опалення наведено на рис. 5. У будівлях з традиційними батареями коефіцієнт перетворення теплонасоса не перевищує 3,0, а в разі використання низькотемпературної системи опалення «тепла підлога» коефіцієнт перетворення зростає більш як удвічі.

Для широкого впровадження теплонасосних установок необхідне державне стимулювання. Так, у країнах ЄС за останні роки прийнято цілу низку законів, що сприяють розвитку цього напрямку [4]. До них належать:

1. Диференціація субсидій за такими критеріями: нова чи стара будівля; житлові чи нежитлові приміщення; ґрунтовий чи повітряний теплонасос; величина коефіцієнта перетворення.

2. Закон щодо нових будинків про обов'язкове забезпечення 50 % потреб у тепловій енергії альтернативними джерелами (Німеччина).

3. Надання субсидії при встановленні теплонасоса: в новому будинку – 10 € на 1 м² житлової площі (максимум 2000 €), відшкодування 10% інвестиційних витрат; у будинку після реконструкції – 30 € на 1 м² житлової площі (максимум 3000 €), відшкодування до 15% інвестиційних витрат (Німеччина).

4. Субсидія в розмірі 30% витрат на встановлення (постачання і монтаж) теплового насоса (максимум 3300 €) за умови, що споживання електроенергії зростає не більш як на 35% (Швеція).

5. У новобудовах надання субсидії 2200 € якщо сезонний коефіцієнт перетворення $\mu \geq 4,5$ (4,3 з підігріванням води), і 1500 € якщо $\mu \geq 3,8$ (3,6 з підігріванням води). У будівлях після реконструкції субсидія збільшується на 220 € але лише в разі заміни котлів віком понад 15 років (Австрія).

6. Податкові пільги у розмірі 25–50% при встановленні теплонасосів (Франція).

Ефективність використання теплових насосів великою мірою залежить від співвідношення цін на електричну і теплову енергію. Порівняння вартості енергетичної складової

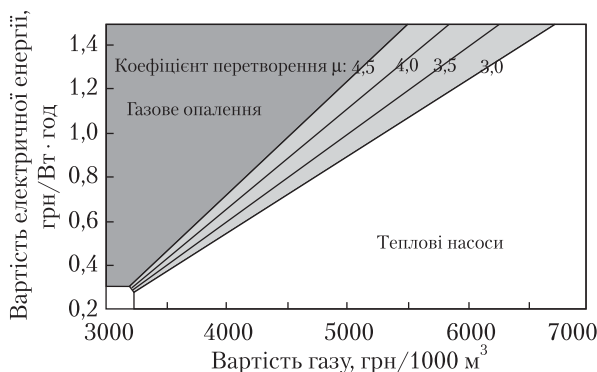


Рис. 6. Порівняльна вартість енергетичної складової теплоти, виробленої за допомогою компресійного теплового насоса та при спалюванні газу в котельні

теплоти, виробленої за допомогою компресійної теплонасосної установки з коефіцієнтом перетворення 3,0–4,5 та при спалюванні газу в традиційній котельні, показує, що в разі ціни на газ понад 5 тис. грн за 1 тис. м³, а на електроенергію 1,0–1,22 грн за кВт·год альтернативи використанню теплонасосів немає (рис. 6).

З огляду на перспективи впровадження теплових насосів у системах теплозабезпечення та гарячого водопостачання, ми провели розрахунки, які свідчать, що технічно досяжний потенціал енергозбереження дає економію 26,5 млн т у.п. на рік, що дасть змогу заощадити до 20 млрд м³ газу.

Як відомо, для одержання 1 кВт теплової енергії за допомогою теплонасоса потрібно витратити 0,3–0,4 кВт електричної енергії. Виходить, що для отримання теплоти, еквівалентної 20 млрд м³ газу (148,8 млрд кВт·год в електричному еквіваленті), необхідно витратити 51,3 млрд кВт·год електричної енергії, що становить 26,5% електроенергії, виробленої в Україні в 2013 р. Населення й комунально-побутові об'єкти в 2013 р. спожили 40,7% від усієї виробленої електроенергії. Отже, використання цього потенціалу в повному обсязі в Україні теоретично можливе, а практично — на сьогодні навряд чи.

Як же вирішити цю проблему? Одним зі шляхів може бути вирівнювання нічного «провалу» в електрозабезпеченні для виробництва

й акумулювання теплової енергії з її використанням у денний час за допомогою теплонасосних установок (8000 МВт за добу взимку і 5000 МВт — влітку). Найефективніше теплонасоси працюють з акумуляторами теплоти й двотарифними лічильниками, використовуючи електроенергію в період нічного «провалу» добового графіка електронавантаження в системі. При цьому є вигода як для користувачів теплоти від теплонасосів через зниження плати за електроенергію за нічним тарифом, так і для енергосистеми. Завдяки акумулюванню теплоти собівартість 1 Гкал теплоти знижується на 15–20%.

Крім того, Україна має резерв потужностей з виробництва електроенергії. За розрахунками фахівців ІТТФ НАН України, за допомогою вдосконалення роботи енергосистеми України і «форсування» атомної і теплової енергії можна додатково отримати 21,6 млрд кВт·год електроенергії, що еквівалентно 2,9 млрд м³ газу. Якщо половину цієї електроенергії використати на привод теплонасосів, то ми одержимо 31,3 млрд кВт·год теплоти, що відповідає заміщенню 4,2 млрд м³ газу.

У 2013 р. Кабінет Міністрів України прийняв Державну програму модернізації систем теплопостачання на 2014–2015 рр., головною метою якої є зниження обсягів використання природного газу. Програма має два напрями: модернізація обладнання і застосування альтернативних видів палива та відновлюваних джерел енергії. Аналіз цієї Програми показує, що найефективнішим засобом зменшення обсягів споживання газу є теплонасосні установки. Їх використання дозволить заощадити 930 млн м³ газу на рік. Кошти на виконання Програми планується на 80% залучити від інвесторів.

В Україні немає промислового виробництва теплонасосних установок. Тому Інститут співпрацює з китайськими партнерами, які випускають промислові теплонасоси продуктивністю від 0,5 до 8 МВт з температурою теплоносія +70–85 °С. Питома вартість таких установок — 180 \$ за 1 кВт встановленої теплової потужності.

Програмою передбачено впровадження в Україні 3000 теплонасосних установок. У разі використання китайських теплонасосів тільки для опалення можна виробити кількість теплоти, достатню для заміщення 1,35 млрд м³ газу за ціною 250 \$ за 1000 м³ або 2,65 млрд м³ газу за ціною 127 \$ за 1000 м³ (тільки гаряче водопостачання). Необхідна при цьому потужність електроенергії не перевищить 6 млрд кВт·год на рік.

У березні цього року китайські колеги вже підписали міжнародний меморандум на впровадження в ТОВ «Рівнетеплоенерго» теплонасосної установки потужністю 18 МВт. Очікується, що це дасть змогу зменшити використання природного газу на 15 млн м³ на рік.

Використання теплонасосів у процесах сушіння

Сьогодні у світі 8–10% виробленої енергії витрачається на процеси сушіння, під час яких випаровується понад 25 млн т вологи, яка на-

лежить до парникових газів. Застосування теплонасосів у процесах сушіння є досить ефективним. Як уже зазначалося, при використанні теплонасосів для опалення чи гарячого водопостачання необхідно знайти джерело низькопотенційної енергії. У процесах сушіння воно є в самій сушарці — це відпрацьований теплоносії. Тобто застосування теплонасосних установок у процесах сушіння — майже ідеальний варіант їх використання.

Теплоносії, проходячи через сушарку, знижує свою температуру і збільшує вміст вологи. Відпрацьований теплоносії надходить у випарник, при цьому його температура знижується, волога конденсується на поверхні випарника, віддаючи енергію робочому тілу, а сам теплоносії осушується. Проходячи через конденсатор, сухий теплоносії підвищує свою температуру і знову надходить у сушарку. При цьому волога не потрапляє в навколишнє середовище, а витрати енергії на процес сушіння в кілька разів нижчі, ніж у традиційних сушарках. У деяких випадках вони навіть менші за

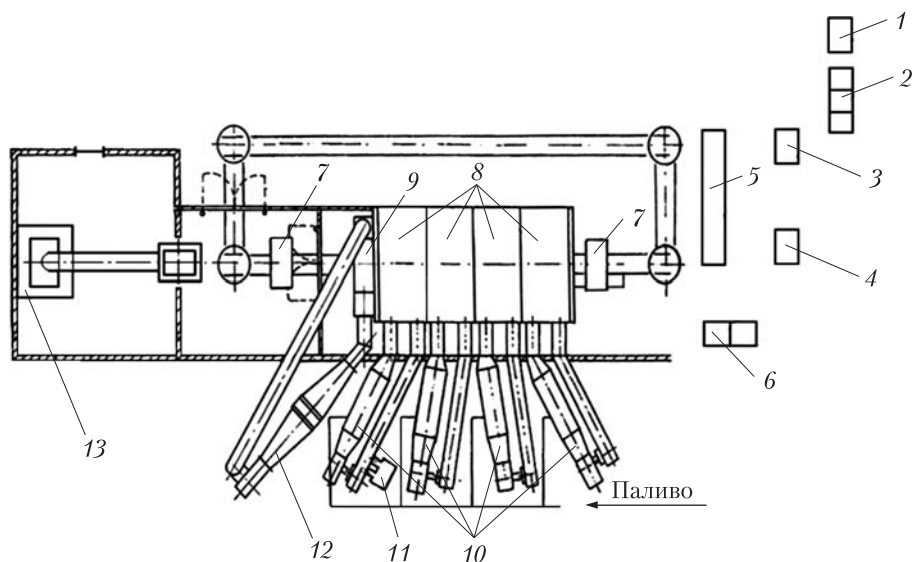


Рис. 7. Схема технологічної лінії виробництва харчових порошків з тропічних фруктів: 1 — змішувач; 2 — мийний комплекс; 3 — машина для нарізання; 4 — гранулятор; 5 — стрічковий транспортер; 6 — пульт керування; 7 — візок; 8 — універсальна модульна сушильна установка; 9 — зона охолодження; 10 — теплогенератор з вентилятором; 11 — теплонасосна установка; 12 — установка охолодження повітря; 13 — установка диспергування, сепарації й пакування

теоретичні витрати енергії на випаровування вологи з відкритої поверхні.

Уперше в Україні в ІТТФ НАН України розроблено зерносушарку для насінневого зерна. Витрати енергії на випаровування вологи становлять у ній 0,6–0,8 кВт·год/л. Схожість зерна після сушіння – 100%. Сушарку введено в МТС у Вінницькій області.

Інститут також розробив і впровадив у В'єтнамі технологічну лінію виробництва харчових порошоків з тропічних фруктів (рис. 7). У цій лінії використано чотиризонну тунельну сушарку з теплонасосною установкою. Це дозволило вперше у світі отримати натуральні харчові порошки з бананів та ананасів в умовах високої вологості тропічного клімату.

Створена в Інституті камерна теплонасосна сушарка для зневоднення харчових продуктів дає змогу отримувати високоякісну термолабільну харчову сировину. За допомогою цієї сушарки фахівці ІТТФ НАН України розробили близько 30 видів сухих пайків для гарячого харчування військовослужбовців, які було успішно апробовано в бойових умовах АТО.

Потенціал енергозбереження в процесах сушіння в різних галузях промисловості України оцінюється в 1,6–2,1 млн т у.п. на рік. Найбільшим він є під час сушіння будівельних матеріалів, вугілля, зерна і пиломатеріалів. Використання теплонасосів у цих процесах може заощадити майже 1 млрд м³ газу.

Висновки

Економічно доцільний потенціал енергозбереження в Україні від впровадження теплових насосів становить понад 26 млн т у.п. на рік, що дозволяє зекономити близько 20 млрд м³ газу. Для його реалізації потрібно активізувати фундаментальні та прикладні дослідження в галузі розроблення теплових насосів, передусім високотемпературних.

Для стимулювання широкого впровадження енергоощадних теплонасосних технологій слід оцінювати їх ефективність не за штучно заниженими тарифами на теплову енергію, а за обсягами економії природного газу. Варто надавати преференції покупцям теплових насосів (часткова грошова компенсація державою до 20–30% вартості теплонасоса, пільговий кредит, відшкодування процентної ставки за кредитом тощо). Потрібно також вирішити питання державних гарантій для отримання іноземних кредитів під великі інвестиційні проекти з впровадження теплонасосних технологій для теплозабезпечення та гарячого водопостачання.

Крім того, доцільно розробити програму організації виробництва вітчизняних теплових насосів із залученням профільних організацій (ІТТФ НАН України, Національна асоціація України з теплових насосів, ВАТ «Коростеньхіммаш», ВАТ «Рефма», ВАТ «ВНДІкомпресормаш» та ін.).

REFERENCES

1. *Energy efficiency as a resource for innovative development*. http://esco.co.ua/journal/2012_6/art356.pdf. [Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році. К.: НАЕР, 2009].
2. *Atlas of the Energy Potential of Renewable and Alternative Sources*. (Kyiv, 2005). http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/atlas_alten_UA.htm. [Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел. К., 2005].
3. Snezhkin Yu.F., Ulanov N.M., Chalayev D.M. *Promyshlennaya teplotekhnika (Industrial Heat Engineering)*. 2013. **35** (7): 16–22. [Снежкин Ю.Ф., Уланов Н.М., Чалаєв Д.М. Теплонасосні технології – ефективний шлях енергозбереження. *Промышленная теплотехника*. 2013. Т. 35, № 7. С. 16–22].
4. Heat pumps market in the EU. *Kholod*. 2010. **2**: 14–19. [Ринок теплових насосів у ЄС. *Холод*. 2010. № 2. С. 14–19].

Ю.Ф. Снежкин

Институт технической теплофизики НАН Украины
ул. Желябова, 2а, Киев, 03057, Украина

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

По материалам научного доклада на заседании Президиума НАН Украины 13 мая 2015 года

Рассмотрены проблемы развития и применения теплонасосных технологий в Украине. Приведены примеры внедрения новейших образцов энергоэффективного теплонасосного оборудования, разработанного специалистами Института технической теплофизики НАН Украины.

Ключевые слова: теплонасосные установки, замещение природного газа, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность.

Yu.F. Snezhkin

Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine
2a Zhelyabova St., Kyiv, 03057, Ukraine

ENERGY-SAVING HEAT PUMP TECHNOLOGY FOR HEAT SUPPLY SYSTEM
OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES AND INDUSTRY

According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine May 13, 2015

The problems of development and application of heat pump technology in Ukraine are considered. Examples of the introduction of new energy-efficient heat pump equipment designs are presented. They are developed by specialists of Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine.

Keywords: heat pump systems, substitution of natural gas, renewable energy sources, energy efficiency.