

І. Б. Рябова, канд. техн. наук, професор, К. О. Горбунов, канд. техн. наук, професор,
А. М. Миронов, канд. техн. наук, доцент, М. В. Ільченко, канд. техн. наук, доцент,
Л. А. Гарєв, аспірант

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАРОКОМПРЕСІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН У ПРОМИСЛОВOSTІ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: холодильна машина, компресор, пластинчатий теплообмінник, енергоефективність, енергія, промислові процеси, теплоенергетика.

Вступ. Аналіз виробничих процесів харчової промисловості та агропромислового комплексу України [1] вказує на типовість структури схем енергоспоживання підприємств. Тепло до процесів підводиться гарячими утилітними потоками, а відводиться холодними утилітними потоками. Різні технології виготовлення, переробки, зберігання продуктів вимагають охолодження технологічних потоків до досить низьких температур. Ці технології забезпечуються низькотемпературними холодильними утилітами, які виробляють у холодильних установках різного типу.

Постановка проблеми. В статті розглядаються можливості збільшення потенціалу енергоефективності промислових парокомпресійних холодильних машин за допомогою використання сучасного теплообмінного обладнання.

Основна частина. Принципова схема енергоспоживання для низки харчових виробництв (виробництво молока та молокопродуктів, виробництво пива, вина, хлібопекарських дріжджів та деякі інші) наведена на рис. 1.

Джерелами теплової енергії, що подається до виробничих процесів парою та/або гарячою водою є котельня або ТЕЦ. Частина тепла витрачається на опалення, приготування гарячої води на виробничі та побутові потреби та власні потреби котельні. Відведення тепла, тобто охолодження технологічних потоків проводиться різними холодними утилітами залежно від цільових температур технологічних потоків. У багатьох виробництвах підприємств харчової промисловості потрібно охолодження цільових продуктів до температур в діапазоні від 0 до +8 °С (бродиння пива, охолодження термообробленого молока як готового продукту, охолодження вина для вилучення винного каменю, охолодження суміші у виробництві морозива і т.д.) [2, 3]. Як холодні утиліти в цих випадках використовують крижану воду, розсоли (водні розчини CaCl_2 та NaCl), водні розчини пропіленгліколю та деякі інші рідини. Для забезпечення відповідного температурного потенціалу призначена холодильна установка, у випарнику якої відбувається охолодження утиліт холодоагентом, що випаровується.

Тепло, зняте у випарнику, передається в конденсаторі середовищі, що охолоджується: оборотній воді або потоку повітря (див. рис.1.):

$$Q_K = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + W, \quad (1)$$

де W – робота, витрачена на стиск пари холодоагенту в компресорі.

У існуючих холодильних системах підприємств харчової промисловості України це тепло практично не використовується, тобто викидається в навколишнє середовище:

$$Q_K = Q_{\text{скид}} \quad (2)$$

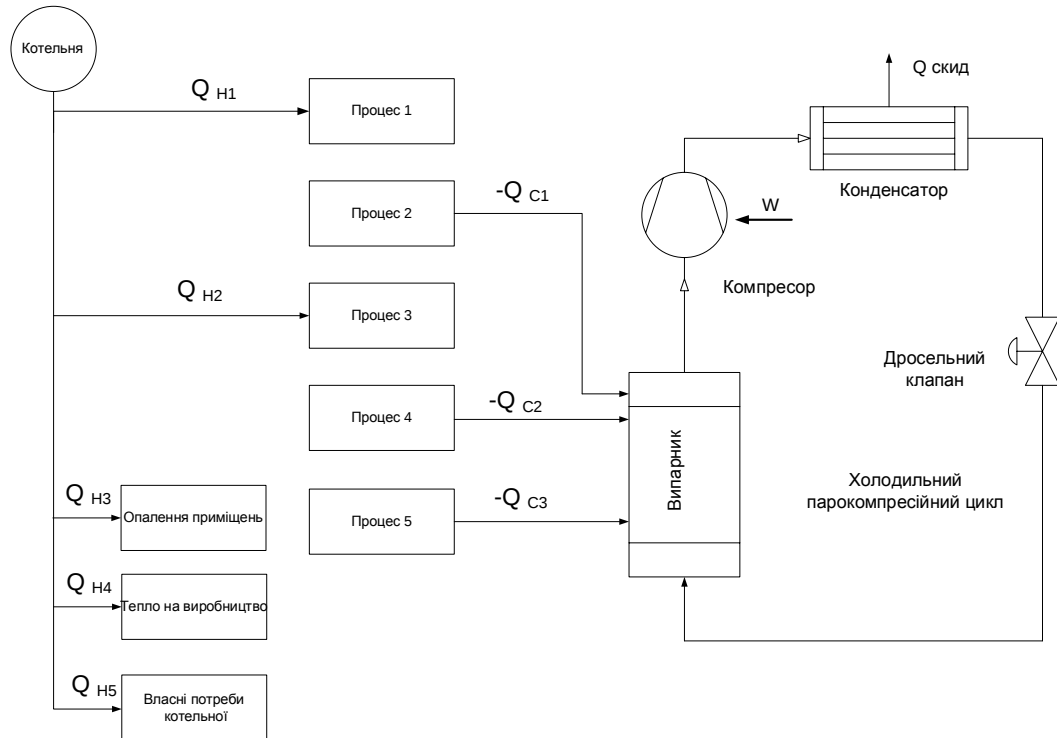


Рисунок 1 – Схема споживання гарячих, холодних утиліт промисловим підприємством з холодильним парокompresійним циклом

Аналіз холодильних систем вітчизняних харчових виробництв показує, що в основному в них як холодоагент застосовується аміак (R717). Аміак має сприятливі для його використання як холодоагенту теплофізичні властивості та високу термодинамічну досконалість [4, 5]. Аміак не руйнує озоновий шар ($ODP=0$) і не має прямої дії на збільшення парникового ефекту ($GWP=0$). Різкий характерний запах, властивий аміаку, який виявляється лише на рівні гранично допустимої концентрації у робочій зоні, є добрим індикатором витоку [6]. Негативними властивостями аміаку є токсичність, вибухонебезпечність та горючість при концентраціях, зазначених у ГОСТ 6221-90Е.

Потік парів аміаку після випарника надходить у компресорне відділення, де відбувається його стиснення до $10\text{--}15 \text{ кгс/см}^2$. При цьому аміак має найбільш суттєвий перегрів після стиснення серед холодоагентів, тому температура нагнітання парів аміаку після компресорного відділення становить $80\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$. Охолодження перегрітої пари аміаку та конденсація відбувається в водяних або повітряних конденсаторах. Це тепло є таким, що викидається до навколишнього середовища :

$$Q_{OX} + Q_K = Q_{\text{скид}} \quad (2a)$$

де Q_{OX} – кількість тепла, що віддається перегрітими парами аміаку при їх охолодженні до температури конденсації; Q_K – кількість тепла, що віддається парами аміаку за їхньої конденсації.

Результати обстеження аміачних холодильних установок українських підприємств харчової промисловості показали, що фактична кількість скидного тепла конденсаційного відділення є близькою за величиною до кількості тепла, що виробляється котельнею, проте, в основному, це тепло з невисоким температурним потенціалом, що визначається температурою конденсації насичених пар аміаку при стисненні (27–35 °С). Тепло, що відводиться при охолодженні перегрітої пари аміаку до температури конденсації, становить близько 15–20 % усієї кількості тепла після компресора, проте температурний потенціал цього тепла істотно вищий і складає 80–120 °С.

Утилізація скидного тепла після компресорної установки залежить від потреб технологічних процесів, теплопостачання та гарячого водопостачання в теплоносіях різних температурних потенціалів.

Розглянемо можливості підвищення енергоефективності підприємств з промисловими холодильними машинами. Функціональна схема виробництва твердого сиру представлена на рис. 2.

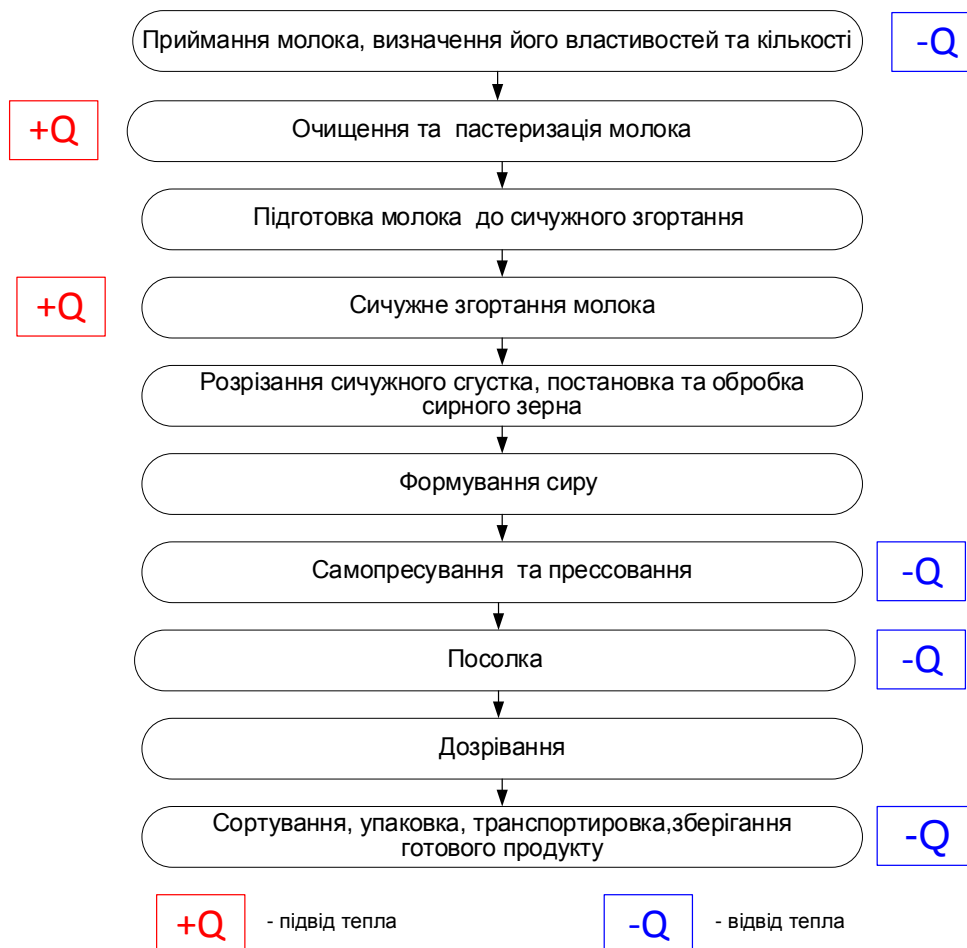


Рисунок 2 – Схема виробництва твердого сиру

Тепло з найвищим температурним потенціалом потрібно для пастеризації молока. Залежно від якості одержуваного молока для пластинчастих пастеризаторів темпе-

ратурою гарячої води, необхідною для нагрівання молока до температури пастеризації, є 78–90 °С. Слідом йде гаряча вода на опалення приміщень (50–80 °С), гаряча вода для промивання обладнання та інші потреби (50–60 °С), гаряча вода на сичужне згортання молока (28–34 °С) – перше нагрівання, 36–58 °С – друге нагрівання в залежності від сорту сиру. У деяких виробництвах термічну обробку одержуваного молока не виробляють з метою підвищення його сиропридатності [2]. Крім того, потрібно підігріти сирю води до 30–32 °С перед хімічною водопідготовкою котельні.

Теплова енергія, яку необхідно відвести від парів аміаку після компресора (відділення конденсації) не використовується. Вирішити задачу утилізації тепла газоподібного аміаку можна за допомогою пластинчастого теплообмінного апарату за рахунок високого ступеня рекуперації теплової енергії в теплообміннику.

Високоєфективні пластинчасті теплообмінники застосовуються в холодильній техніці як випарники, конденсатори, маслоохолоджувачі для аміачних і фреонових холодильних установок, охолоджувачі молока, пива, води, масел, газів, хімікатів, конденсатоохолоджувачі в системах тепlopостачання, утилізаторів тепла. У холодильних установках молочної промисловості можуть використовуватися напівзварні, зварні, нікельпаяні, міднопаяні та розбірні пластинчасті теплообмінні апарати.

Напіврозбірні теплообмінники (рис. 3) застосовуються як в аміачних, так і у фреонових циклах, де можна дозволити використовувати безпосереднє охолодження кінцевого продукту за рахунок надійного поділу теплоносія та холодоагенту. У напіврозбірних пластинчастих теплообмінниках зварні канали чергуються з каналами, які герметизуються традиційними прокладками. Холодоагент циркулює по зварних каналах, з ним контактують тільки дві кільцеві прокладки в отворах, що з'єднують канали. Ці прокладки виготовляються з особливо стійких матеріалів і встановлюються без клею, що спрощує їх заміну. Канали вторинного холодоносія ущільнюються звичайними прокладками з еластомеру. Подвійне ущільнення та пластини з корозійно-стійкого матеріалу запобігають змішуванню циркулюючих середовищ, забезпечують відсутність механічних напруг у зварних швах, а також роблять конструкцію гнучкою і при цьому вібростійкою.

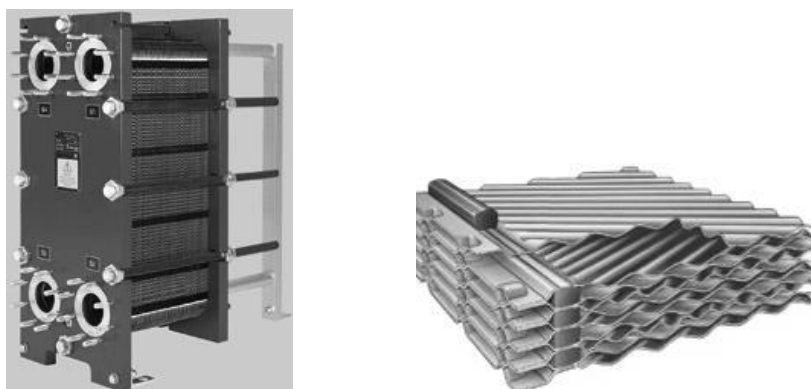


Рисунок 3

Конструктивні особливості пластинчастих теплообмінних апаратів дозволяють легко об'єднати в одному агрегаті кілька таких теплообмінників, наприклад, з двох напіврозбірних пластинчастих теплообмінників можна скомпонувати один агрегат з функціями "предконденсатор/конденсатор" або "маслоохолоджувач/конденсатор" (рис. 4). Це дозволяє конструювати агрегати, що мають одну раму, але виконують дві функції, що

знижує витрати, а також зменшує габарити обладнання та місце на підлозі. При необхідності підвищення продуктивності або зміни температурного режиму поверхню теплопередачі можна збільшити, встановивши додаткові касети. Діапазон продуктивності напіврозбірних апаратів від 50 до 8000 кВт [7].

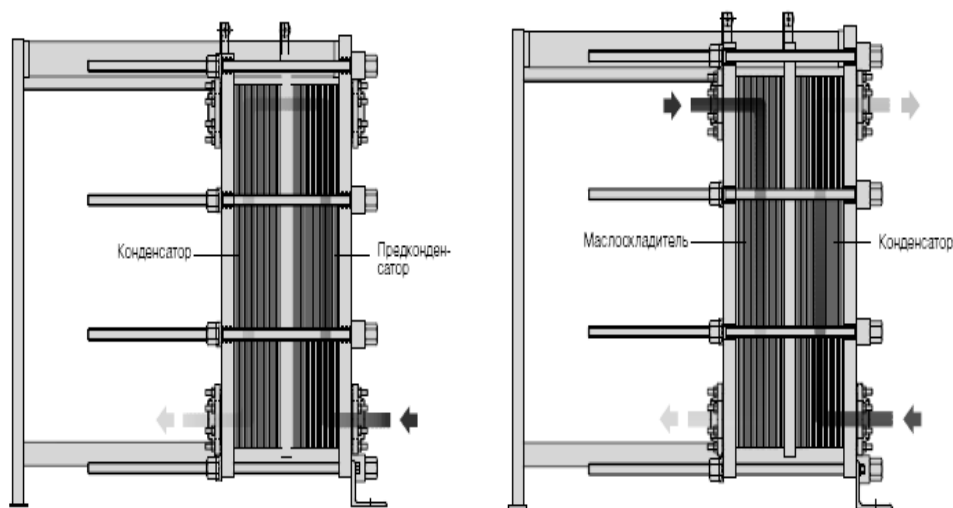


Рисунок 4

Оскільки в пластинчастому теплообміннику середовище тече через канали з гофрованими стінками, а теплообмін здійснюється через тонкі пластини, ефективність теплопередачі надзвичайно висока. Турбулентність потоку перешкоджає утворенню відкладень і збільшує коефіцієнт теплопередачі, що дозволяє ефективно використовувати його навіть при малій різниці між температурою випаровування і температурою води, що охолоджується. Це, своєю чергою, забезпечує економію експлуатаційних витрат завдяки високому холодильному коефіцієнту. Застосування напіврозбірних пластинчастих теплообмінників дає наступні практичні переваги:

- менша вага
- менший простір, що займається
- менша маса холодоагенту, що заправляється.

Напіврозбірний пластинчастий теплообмінник складається з попарно зварених пластин, що утворюють канали, обмежені зварюванням, так звані касети. Існують три типи каналів, що утворюються суміжними пластинами і відрізняються кутом між гофрами пластин:

L-канали – призначена для роботи при великих значеннях витрати середовищ і різниці температур (температури середовища, що охолоджується, на виході і охолоджуючого середовища на вході).

M-канали – призначені для роботи при середніх значеннях витрати та різниці температур.

H-канали призначені для роботи при низьких значеннях витрати та різниці температур.

M-канали складаються з однієї *L*-пластини та однієї *H*-пластини.

Для охолодження агресивних рідин можна використовувати пластини зі спеціальних матеріалів.

Напівзварний пластинчастий теплообмінник витримує різкі перепади температур, а через близьке розташування точок кріплення в ньому не виникають вібрації. У напівзварному пластинчастому теплообміннику немає цільнозварного пакета пластин, оскільки касети ущільнюються між собою через еластичні прокладки. Це значно підвищує надійність конструкції пакета при циклічних навантаженнях, і навіть при локальному замерзанні.

Зварний пластинчастий теплообмінник являє собою пакет гофрованих пластин, з'єднаних методом лазерного або дифузійного зварювання. Гофри на сусідніх пластинах спрямовані у протилежні сторони. Цей пакет змонтований на рамі між нерухомою та рухомою плитами, які скріплені стяжними болтами. Приєднувальні патрубки розташовані на передній плиті та мають ущільнення, яке приварюється до пакета пластин. Зварні теплообмінники застосовуються практично для роботи в ширшому діапазоні температур і тисків. Потужність від 50 до 3000 кВт. При виборі зварних теплообмінників на позицію конденсатора або охолоджувача перегрітої пари холодоагенту необхідно враховувати можливі циклічні навантаження, які обумовлюються компресійним обладнанням.

Нікельпаяні теплообмінники використовуються переважно в аміачних циклах на невеликих потужностях від 1 до 500 кВт.

Мідно-паяні теплообмінники широко застосовуються у фреонових холодильних циклах. Взаємодіючі середовища надійно розділені, що дозволяє використовувати безпосереднє охолодження. Спектр мідно-паяних теплообмінників значно розширюється останнім часом за рахунок створення принципово нових конструкцій.

Пластинчасті теплообмінники мають низку істотних переваг у порівнянні з кожухотрубчастими теплообмінниками, якими оснащені всі, спроектовані 20–30 років тому, холодильні системи в Україні [8]:

- невеликий внутрішній обсяг, завдяки чому кількість холодоагенту в системі вдається скоротити в 10 разів, особливо це актуально для аміачних систем;
- у 3 рази компактніше та більш ніж у 6 разів легше при однаковій потужності;
- високі значення коефіцієнта теплопередачі, за рахунок високої турбулентності та малої товщини пластин (приблизно в 2–4 рази вище, ніж у кожухотрубних) та, як наслідок – компактність, зменшення монтажних та експлуатаційних витрат, зменшення енерговитрат;
- ефективне використання теплової енергії (ККД до 99 %);
- за потреби є можливість збільшення поверхні теплопередачі (за рахунок збільшення кількості пластин) без встановлення додаткового теплообмінного обладнання;
- надійні та прості в установці та не вимагають спеціального фундаменту;
- не вимагають великих витрат за обслуговування, ремонт. Можливість 100 % очищення розбірних пластинчастих теплообмінників;
- зручність в експлуатації та довговічність.

Було розраховано та розроблено концептуальну схему модульну установку охолодження газоподібного аміаку на базі напівзварного пластинчастого теплообмінника. Основне завдання, що виконується установкою – утилізація теплоти перегрітої пари аміаку існуючої холодильної установки підприємства [9]. Принципова схема установки показана на рис. 5.

Потенціал тепла, яке можна отримати при охолодженні аміаку від температури нагнітання компресора 100–120 °С до температури конденсації 28–30 °С складає близько 600 кВт. Температура нагрітої води зі свердловини може становити від 50 °С до 75 °С.

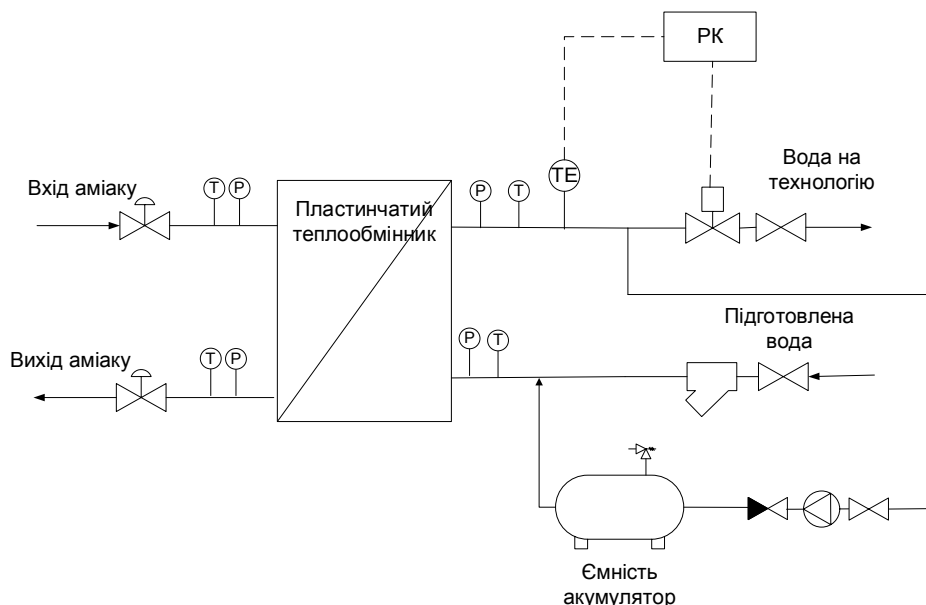


Рисунок 5 – Принципова схема модуля рекуперації тепла аміаку

Дане тепло можна використовувати у трьох напрямках:

- приготування гарячої води для технологічних потреб;
- приготування гарячої води для теплопостачання та гарячого водопостачання;
- підігрів сирової води, що надходить на водопідготовку котельної підприємства.

Теплоту в циклі охолодження можна утилізувати двома способами: використовувати всю теплоту конденсації для нагрівання води (або повітря) до відносно низької температури конденсації, або нагрівати в спеціальному охолоджувачі пари меншу кількість води до температури, близької до фактичної температури холодоагенту (в ПТО різниця температур може досягати 1–2 °C). Тепловий потенціал енергії конденсації при температурі до 35 °C надто низький для технологічних потреб, тому був обраний варіант використання теплової енергії газоподібного аміаку після компресору [10].

В результаті розрахунків, виконаних за допомогою відповідного програмного забезпечення, на позицію охолодження газоподібного аміаку був обраний напівзварний пластинчатий теплообмінник з товщиною пластини 0,6 мм. У системі автоматизації теплообмінного модуля передбачена установка автоматичного регулятора температури. В модулі підігріву води передбачений контур акумулювання теплової енергії у ємності-акумуляторі в тих режимах роботи підприємства, коли споживання гарячої води відсутнє.

Була досліджена можливість збільшення теплового потенціалу теплоносія, що нагрівається. Це можливо при застосуванні додаткової компресії холодоагенту з метою підвищення температури конденсації [11]. За допомогою програмного забезпечення UNISIM DESIGN був змодельований цикл холодильної установки – теплового насоса, де частина потоку парів аміаку компрімувалася і конденсувалася при тиску 2,7 МПа. (рис. 6).

Величина теплової енергії, отриманої при конденсації парів аміаку з температурою 61 °C склала 1,6 МВт. Ефективне використання цього тепла дозволило б скоротити споживання пари на підприємстві [12]. Однак, це технічне рішення пов'язане зі збільшенням капітальних витрат і необхідності встановлення нового обладнання. Дослідження щодо вдосконалення подібних технічних рішень будуть проводитись надалі.

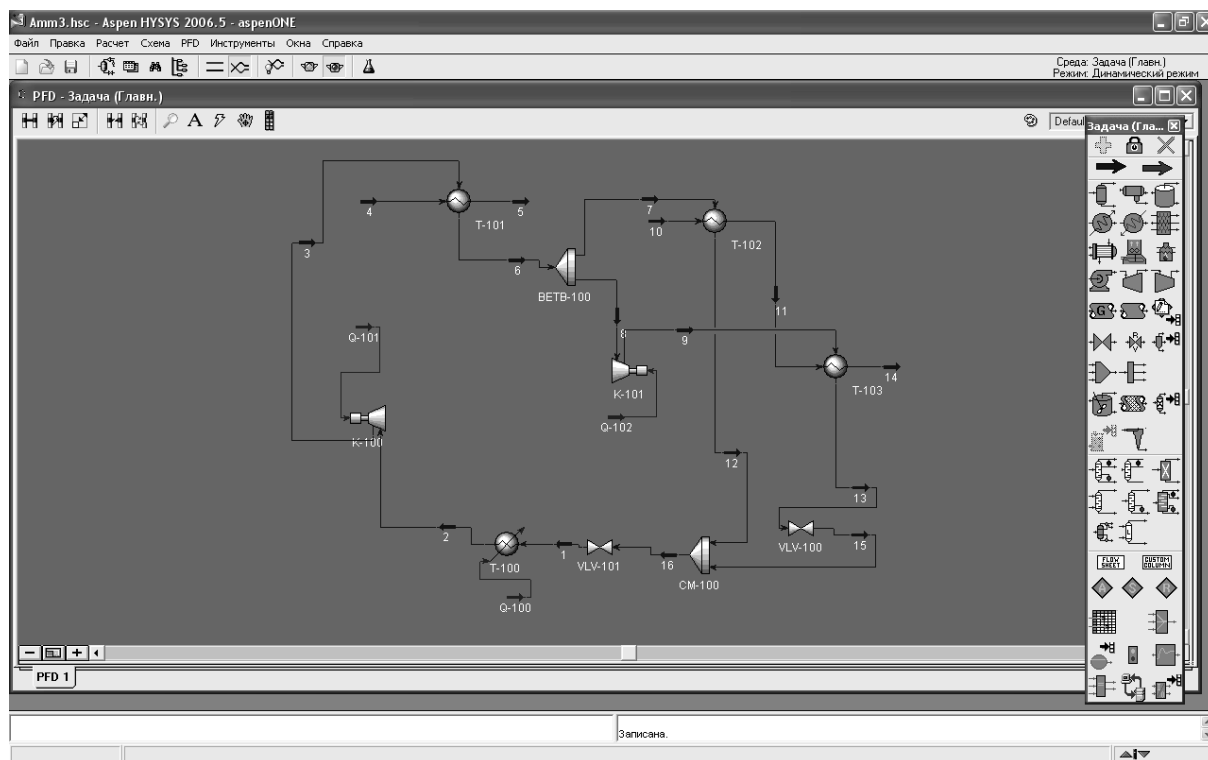


Рисунок 6

Висновки

Впровадження енергозберігаючих заходів, в яких використовується скидне тепло холодильної установки є важливими рішення в сучасних умовах щодо енергетичної безпеки та розвитку «зеленої» енергетики. Зниження вироблення тепла котельні за рахунок спалювання палива сприяє декарбонізації процесу і зменшенню забруднень навколишнього середовища. При розробці нових методів підвищення енергоефективності: використанні теплонасосних, ORC-технологій, та ін. необхідно враховувати індивідуальні техніко-економічні фактори для кожного конкретного підприємства, які зумовляватимуть доцільність впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання, що може бути інтегрованої в промислові парокомпресійні холодильні машини.

Література

1. Бабанов І. Г., Гавва О. М., Бабанова О. І. та ін. Інноваційне обладнання молокопереробних підприємств : підручник. Київ : ІНКООС, 2019. 718 с.
2. Гулий І. С., Пушанко М. М., Орлов Л. О. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / під ред. І. С. Гулого. Вінниця : Нова книга, 2001. 576 с.
3. Машкін М. І. Париш Н. М. Технологія виробництва молока і молочних продуктів : навч. видання. Київ : Вища освіта, 2006. 351 с.
4. Овчаренко В. С., Афонский В. Л. Основные аспекты комплексного подхода к расширению применения аммиачного оборудования в холодильной промышленности. *Холодильная техника*. 2001. №7. С. 13–15.
5. COOLSELECTOR 2 <https://www.danfoss.com/it-it/about-danfoss/news/dcs/coolselector-2-la-compressit%C3%A0-per-noi-lingegnosit%C3%A0-per-voi/>.

6. Железний В. П., Хлієва О. Я., Биковець Н. П. Робочі тіла холодильних установок. *Холод*. 2004. № 3. С. 22–25.
7. Stenhede C. Technical Reference Manual For Plate Heat Exchangers in Refrigeration & Air conditioning Application. 5th edition. February 2nd. Kolding, Denmark : Alfa Laval AB, 2004, February 2nd. 178 p.
8. Мирончук В. Г., Орлов Л. О., Українець А. І. та ін. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Вінниця : Нова книга, 2004. 288 с.
9. Tovazhnyanskyy L., Sherstyuk V., Kapustenko P. et al. Plate heat exchangers for environmentally friendly heat pumps. *Chemical Engineering Transactions*. 2007. Vol. 12. P. 213–217.
10. Panno G., Auguanno S., Messineo A., Panno D. Ammonia heat pump for energy saving in food industrial processes: the case of cheese factory. *IIR Conference: Ammonia Refrigerating Systems, Renewal and Improvement*. Ohrid, 2005.
11. Товажнянський Л. Л., Капустенко П. А., Хавин Г. Л., Арсеньєва О. П. Пластичные теплообменники в теплоснабжении : монографія. Харьков : НТУ «ХПИ», 2007.
12. Товажнянський Л. Л., Капустенко П. А., Ульєв Л. М. и др. Интеграция цикла аммиачного охлаждения в теплосеть сыро-молочного завода. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2005. № 2. С. 92–100.

Bibliography (transliterated)

1. Babanov I. G., Havva O. M., Babanova O. I., Zhitnetskiy I. V., Yastreba S. P. (2019). Innovatsiynе obladnannya molokopererobnih pidpriemstv: pidruchnik. Kyiv: INKOS, 718 p.
2. Hulyi I. S., Pushanko M. M., Orlov L. O. (2001). Obladnannya pidpriemstv pererobnoyi ta harchovoyi promyslovosti. I. S. Huloho (Ed.). Vinnytsia: Nova knyha, 576 p.
3. Mashkin M. I. Parysh N. M. Tekhnolohiia vyrobnytstva moloka i molochnykh produktiv: navch. vydannia. Kyiv: Vyshcha osvita, 351 p.
4. Ovcharenko B. C., Afonskiy V. L. (2001). Osnovnyie aspektyi kompleksnogo podhoda k rasshireniyu primeneniya ammiachnogo oborudovaniya v holodilnoy promyshlennosti. *Holodilnaya tekhnika*, 7, 13–15.
5. COOLSELECTOR 2 <https://www.danfoss.com/it-it/about-danfoss/news/dcs/coolselector-2-la-complessit%C3%A0-per-noi-lingegnosit%C3%A0-per-voi/>.
6. Zheleznyi V. P., Khliieva O. Ya., Bykovets N. P. (2004). Robochi tila kholodylnykh ustanovok. *Kholod*, 3, 22–25.
7. Technical Reference Manual For Plate Heat Exchangers in Refrigeration & Air conditioning Application By Dr. Claes Stenhede/Alfa Laval AB Fifth edition, February 2nd, 2004. Alfa Laval AB.
8. Myronchuk V. H., Orlov L. O., Ukrainets A. I. et. al. (2004). Rozrakhunky obladnannya pidpriemstv pererobnoi i kharchovoi promyslovosti. Vinnytsia: Nova knyha, 288 p.
9. Tovazhnyanskyy L., Sherstyuk V., Kapustenko P., Khavin G. Perevertaylenko O., Boldyrev S., Garev A. (2007). Plate heat exchangers for environmentally friendly heat pumps. *Chemical Engineering Transactions*, 12, 213–217.
10. Panno G., Auguanno S., Messineo A., Panno D. (2005). Ammonia heat pump for energy saving in food industrial processes: the case of cheese factory. *IIR Conference: Ammonia Refrigerating Systems, Renewal and Improvement*, Ohrid, 2005.

11. Tovazhnyanskyy L. L., Kapustenko P. A., Havin G. L., Arseneva O. P. (2007). *Plastin-chatyie teploobmenniki v teplosnabzhenii: monografiya*. Kharkov: NTU «KhPI».

12. Tovazhnyanskyy L. L., Kapustenko P. A., Ulev L. M., Boldyirev S. A., Garev A. O. (2005). Integratsiya tsikla ammiachnogo ohlazhdeniya v teploset syiro-molochnogo zavoda. *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya*, 2, 92–100.

УДК 66.048.05:665.6

І. Б. Рябова, К. О. Горбунов, А. М. Миронов, М. В. Ільченко, Л. А. Гарєв

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАРОКОМПРЕСІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН У ПРОМИСЛОВОСТІ

Аналіз виробничих процесів харчової промисловості та агропромислового комплексу України вказує на типовість структури схем енергоспоживання підприємств з точки зору використання гарячих і холодних утиліт. Для забезпечення технологічних процесів утилітами з температурами, нижчими а температуру навколишнього середовища використовують промислові холодильні установки.

Збільшення потенціалу енергоефективності промислових парокомпресійних холодильних машин можна досягти за допомогою використання сучасного теплообмінного обладнання зокрема при утилізації теплової енергії низького потенціалу.

Специфікою підприємств харчової і переробної промисловості є сумісне використання гарячих і холодних утиліт при відносно невисоких температурах. Оскільки одним з поширених холодильних агентів є аміак, ця специфіка надає можливість частково знизити використання гарячих утиліт за рахунок утилізації теплоти, що скидається у довкілля при відводі теплоти від пари аміаку високого тиску. На прикладі виробництва твердого сиру показано, що розділенні процесу відводу теплоти від пари аміаку в конденсаторі компресійної холодильної машини на дві стадії дозволяє у першому теплообміннику відвести теплоту від перегрітої пари аміаку, що утворюється після компресії (температура пари сягає 80–120 °С при рівні компресії 1,0–1,5 МПа), на другій стадії відбувається процес безпосередньо конденсації аміаку при температурі 35 °С. Задачу утилізації тепла газоподібного аміаку можна вирішити за допомогою пластинчастого теплообмінного апарату через високий ступень рекуперації теплової енергії в теплообміннику. Додаткова компресія частини пари аміаку до 2,7 МПа надає можливість більш повно використати енергетичний потенціал пари аміаку через високу температуру конденсації (61 °С), але це вимагає серйозних додаткових капітальних витрат.

Впровадження енергозберігаючих заходів, в яких використовується низькопотенційне тепло холодильної установки, є важливими рішення в сучасних умовах щодо енергетичної безпеки та розвитку «зеленої» енергетики через зниження кількості вичогоного палива, що сприяє декарбонізації процесу і зменшенню забруднень навколишнього середовища.

Ключові слова: холодильна машина, компресор, пластинчатий теплообмінник, енергоефективність, енергія, промислові процеси, теплоенергетика.

I. B. Riabova, K. O. Gorbunov, A. M. Myronov, M. V. Ilchenko, L. A. Hariev

RESEARCH ON POSSIBILITIES FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF VAPOR-COMPRESSION REFRIGERATORS IN INDUSTRY

Analysis of production processes of the food industry and agro-industrial complex of Ukraine indicates the typical structure of energy consumption schemes of enterprises from the point of view of the use of hot and cold utilities. To provide technological processes with utilities with temperatures lower than the ambient temperature, industrial refrigeration units are used.

Increasing the energy efficiency potential of industrial vapor-compressor refrigeration machines can be achieved through the use of modern heat exchange equipment, in particular when utilizing low-potential thermal energy.

The specificity of food and processing industry enterprises is the combined use of hot and cold utilities at relatively low temperatures. Since one of the common refrigerants is ammonia, this specificity provides an opportunity to partially reduce the use of hot utilities by utilizing the heat discharged into the environment during heat removal from high-pressure ammonia vapor. The example of hard cheese production shows that dividing the process of removing heat from ammonia vapor in the condenser of a compression refrigeration machine into two stages allows the first heat exchanger to remove heat from the superheated ammonia vapor formed after compression (the vapor temperature reaches 80–120 °C at a compression level of 1.0–1.5 MPa), and in the second stage, the process of direct condensation of ammonia occurs at a temperature of 35 °C. The problem of utilizing the heat of gaseous ammonia can be solved using a plate heat exchanger due to the high degree of thermal energy recovery in the heat exchanger. Additional compression of part of the ammonia vapor to 2.7 MPa makes it possible to more fully use the energy potential of ammonia vapor due to the high condensation temperature (61 °C), but this requires serious additional capital costs.

The implementation of energy-saving measures that use low-potential heat from a refrigeration plant are important solutions in modern conditions regarding energy security and the development of "green" energy by reducing the amount of fossil fuels, which contributes to the decarbonization of the process and the reduction of environmental pollution.

Keywords: refrigeration machine, compressor, plate heat exchanger, energy efficiency, energy, industrial processes, thermal power engineering.