

Автореферат №

П 44

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



ПОДМАЗКО ІГОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.565.001.63

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ХОЛОДИЛЬНОГО
УСТАТКУВАННЯ ПРИ ТЕРМООБРОБЦІ
ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

05.05.14 – Холодильна, вакуумна та компресорна техніка,
системи кондиціонування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2013

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Інституті холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор ХМЕЛЬНЮК МИХАЙЛО ГЕОРГІЙОВИЧ, завідувач кафедрою холодильних машин і установок Інституту холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С.Мартиновського Одеської національної академії харчової промисловості Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор РАДЧЕНКО МИКОЛА ІВАНОВИЧ, завідувач кафедри кондиціонування та рефрижераторії Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова

доктор технічних наук, професор ПОТАПОВ ВОЛОДИМИР ОЛЕКСІЙОВИЧ, завідувач кафедри холодильної та торговельної техніки Харківського державного університету харчування та торгівлі

Захист відбудеться «07» червня 2013 року о 11 годині у аудиторії 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 в Інституті холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського Одеського національної академії харчових технологій за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, Україна, 65082.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського Одеського національної академії харчових технологій за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, Україна, 65082.

Автореферат розісланий "24" квітня 2013 р.

секретар

ованої вченої ради

технічних наук, професор В.І. Мілованов

Найдем максимум
объем $U_{max} = 1,25 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{2a}$
 $E_{00} = C \cdot \Phi \cdot \Omega$
Суммарное
 $R_{ин} = (R_{ap} + R_{ин})$

xv 1142

ІНСТИТУТ ХОЛОДУ
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

ГАЛУЗЕВИЙ
ВІДДІЛ

Актуальність теми. Для більшості охолоджуючих систем, що забезпечують різні технологічні процеси, характерні нестационарні теплові режими. В процесі термообробки харчових продуктів змінюються теплові навантаження на теплообмінні апарати холодильної установки, температури кипіння t_0 , конденсації t_k , продукту $t_{пр}$. Обробка продукту холодом – це складний процес (як в технічному, так і в технологічному плані), де необхідно враховувати можливість продукту віддати теплоту, охолоджуючого середовища – сприйняти теплоту, приладами охолодження – відвести теплоту, а холодильною машиною – забезпечити необхідний технологічний процес.

При термообробці (охолодженні і заморожуванні) харчових продуктів теплове навантаження на прибори охолодження має різко виражений піковий характер. При розрахунках і підборі основного і допоміжного холодильного устаткування рекомендується вибирати навантаження на прибори охолодження, яке дорівнює $1,3 \cdot Q_{сер}$ (де $Q_{сер}$ – середнє навантаження на прибори охолодження за цикл термообробки). Слід зазначити, що навіть в цьому випадку в перші години охолодження або заморожування харчових продуктів встановлених потужностей холодильного устаткування не вистачає, і при цьому спостерігається ряд негативних явищ:

- зростають температура і, відповідно, тиск, конденсації і кипіння холодоагенту;
- істотно підвищується температура в холодильній камері;
- зростає навантаження на електродвигун компресора;
- збільшується час термообробки, що призводить до погіршення якості продукту.

На підприємствах з великими потужностями для холодильних камер охолодження і заморожування харчових продуктів проблема різкої зміни теплових навантажень не виникала, оскільки, як правило, використовувалася аміачна насосно-циркуляційна система з безпосереднім кипінням, і термообробка харчових продуктів здійснювалася в камерах шляхом зміщення в добовому часі.

На сьогоднішній день існує ряд підприємств (супермаркети, фермерські господарства, переробні цехи і т.п.), які мають одну, максимум дві холодильні камери, і питання пікових навантажень є особливо актуальним для цих підприємств.

Тому слід провести ряд дослідницьких робіт, створити методіку проектування охолоджуючої системи для виконання поставлених цілей, щоб отримати в результаті ефективнішу з точки зору енергетики, експлуатаційних витрат і екології охолоджуючу систему, яка буде більш корисна для застосування, чим існуючі на сьогоднішній день.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з програмою фундаментальних та пошукових досліджень, відповідаючи Постанові Верховної Ради України про затвердження програми енергоефективності та Кіотському договору від 1 березня 2010 р., указу президента України №174 вод 28.02.08 «Про невідкладні заходи щодо забезпечення ефективного використання паливних енергетичних ресурсів», Енергетичній стратегії

України на період до 2030 року, затвердженій розпорядженням уряду від 15 березня 2006 року № 145-р.

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є перерозподіл теплового навантаження на холодильне устаткування при термообробці харчових продуктів, при якому процес термообробки харчових продуктів розглядається як єдине ціле: продукт – охолоджуюче середовище – холодильна установка.

Для досягнення поставленої мети були поставлені і вирішені наступні основні завдання:

- пошук раціонального, дозволеного законодавством, проміжного холодоносія, який дозволить проводити термообробку харчового продукту при температурах менше 0 °С і який відповідає технологічним нормам підприємства;
- розробка математичної моделі охолоджуючої системи з проміжним холодоносієм, в якій застосовуватиметься акумулятор холоду;
- розробка і створення експериментального стенду для перевірки результатів, отриманих при розрахунках згідно математичної моделі;
- проведення експериментальних досліджень ("калориметричний" метод та охолодження яблук) для порівняння холодильної системи безпосереднього кипіння і схемних рішень холодильної системи з проміжним холодоносієм, у якій використовувалася акумуляція холоду, для термообробки (охолодження і заморожування) харчових продуктів;
- узагальнення отриманих результатів.

Об'єктом дослідження є охолоджуюча система з проміжним холодоносієм для термообробки харчових продуктів, у якій використовується акумуляція холоду.

Предметом дослідження є показники енергетичної та термодинамічної ефективності систем охолодження харчових продуктів охолоджувальних об'єктів малої ємності з проміжним холодоносієм та акумуляцією холоду.

Методи дослідження. Математичне моделювання охолоджуючої системи з проміжним холодоносієм з застосуванням акумуляції холоду, експерименти з визначенням впливу введення акумуляції холоду на ефективність роботи холодильного устаткування, зіставлення результатів розрахунку з результатами експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше запропоновано самокомпенсуючу систему охолодження харчових продуктів малої ємності з періодичною акумуляцією холоду, яка забезпечує резервування холоду в завершальні періоди процесу термообробки продуктів при зменшених теплових навантаженнях та використанні акумуляованого холоду на початку термообробки продукту при пікових навантаженнях, коли встановлених холодильних потужностей не достатньо;
- вперше запропоновано спосіб перерозподілу теплового навантаження у процесі термообробки (охолодження та заморожування) харчових продуктів для м'ясопереробних цехів, фруктоовочесховищ малої ємності, холодильних камер супермаркетів з використанням періодичної акумуляції холоду, що забезпечує скорочення енергоспоживання і дозволяє зменшити пікові навантаження;
- вперше враховано динаміку зміни режимних параметрів у процесі термообробки харчових продуктів, виходячи з якої визначено раціональні параметри

системи охолодження, при цьому продукт – охолоджувальне середовище – холодильна система розглянуті як єдине ціле, на підставі чого було проаналізовано всю систему термообробки харчового продукту загалом і запропоновано використовувати змішану систему приборів охолодження – як при безпосередньому кипінні холодильного агенту у випарнику, так і за допомогою проміжного холодоносія.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій визначаються:

- коректною постановкою завдань і зіставленням результатів, отриманих при теоретичних розрахунках математичної моделі, і експериментальних даних;
- використанням сучасних математичних програмних засобів і методів вирішення завдання прогнозування з похибкою 5 % термодинамічної поведінки охолоджуючої системи з проміжним холодоносієм, у якій застосовується акумуляція холоду.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропонований спосіб перерозподілу теплового навантаження за рахунок використання періодичної акумуляції холоду при проведенні термообробки дозволяє стабілізувати температури кипіння, конденсації і в холодильній камері, зменшити час термообробки продукту. При цьому відбувається «згладжування» навантаження на електродвигун компресора, зменшення робочих струмів і, як наслідок, збільшення його довговічності. Крім того, використання періодичної акумуляції холоду в країнах, де є багатотарифна ставка на електроенергію, може дозволити підвищити ефективність роботи охолоджуючої системи в цілому, а також окремих її компонентів. Адже, як відомо, в нічний період тарифи на електроенергію значно нижчі, і запропоновані схемні рішення дозволяють сплачувати роботу холодильної установки тільки на акумуляцію холоду. Запропоновані в роботі рішення використовуються в розробках при проектуванні холодильних установок в ЧП «Сіріус» (м. Одеса), «Ukricecompany» (м. Одеса).

Особистий внесок здобувача підтверджується науковими публікаціями, в яких показані головні положення та ідеї теоретичного опрацювання та експериментальних результатів. В процесі роботи над дисертацією при безпосередній участі здобувача був створений експериментальний стенд для дослідження роботи охолоджуючої системи з проміжним холодоносієм, з застосуванням в ній акумуляції холоду. Особисто автором був здійснений порівняльний експериментальний аналіз охолоджуючої системи з акумуляцією холоду на п'яти різних холодоагентах, порівняльний аналіз системи безпосереднього кипіння та з застосуванням акумуляції холоду, проведений порівняльний аналіз розрахункових даних та експериментальних досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень були представлені і обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», ОНАПТ, Одеса; на 6-й та 7-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», ОДАХ, Одеса; на міжнародній науковій конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», НУК ім. адм. Макарова, Миколаїв.

Публікації. Основний зміст дисертації представлений в 5 статтях, у тому числі – всі 5 опубліковані в збірниках наукових праць і фахових наукових виданнях,

що відповідають вимогам ВАК України. У вигляді тез доповідей в збірниках наукових праць регіональних і міжнародних конференцій опубліковано 8 статей. Схемні рішення були підтверджені двома патентами на корисну модель.

Об'єм і структура дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, основних висновків, списку використаної літератури, що включає 114 джерел. У дисертації містяться 120 сторінок основного тексту, 17 таблиць та 36 малюнків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертації, відображається зв'язок з державними програмами і темами, сформульовано мету і завдання дослідження. Наведено нові наукові результати, конкретний особистий внесок здобувача, відомості про апробацію результатів дисертації та основні публікації.

У першому розділі проведений огляд і аналіз результатів досліджень різних авторів, пов'язаних з акумуляцією холоду. Огляд і аналіз показують, що на підприємствах, що виробляють холод для різних технологічних цілей, в системах кондиціювання повітря житлових, адміністративних і виробничих будівель і у великій кількості інших будівель впровадження акумуляторів холоду дозволяє досягти економії енергоресурсів, знизити фінансові витрати на виробництво холоду, зменшити необхідні потужності холодильного устаткування, стабілізувати температурні режими в періоди пікових навантажень на устаткування.

У другому розділі проведено дослідження динаміки зміни режимних параметрів холодильної установки, зокрема температур кипіння, конденсації, камери, продукту; теплових навантажень на прибори охолодження і компресор при фіксованому об'ємі, описуваному поршнями. Розроблена математична модель, що дозволяє здійснювати прогноз технологічних процесів на діючих об'єктах.

Температуру в холодильній камері можна визначити з рівнянь теплового балансу:

$$\begin{aligned} Q_{\text{КАМ}} &= Q_{\text{П/О}}; \quad (k \cdot F)_{\text{ОГР}} \cdot (t_{\text{О.СР}} - t_{\text{КАМ}}) + G_{\text{ПР}} \cdot c_{\text{ПР}} \cdot (t_{\text{ПР}} - t_{\text{КАМ}}) \\ &= (k \cdot F)_{\text{П/О}} \cdot (t_{\text{КАМ}} - t_0) \\ Q_{\text{П/О}} &= Q_{\text{КАМ}}; \quad (k \cdot F)_{\text{П/О}} \cdot (t_{\text{КАМ}} - t_0) = f(t_0) \end{aligned}$$

Кількість теплоти, відведеної від продукту, можна визначити по формулі:

$$Q_{\text{ПР}} = G_{\text{ПР}} \cdot C_{\text{ПР}} \cdot (t_{\text{ПР}}^{\text{Н}} - t_{\text{ПР}}^{\text{К}}) / \tau, \text{ Вт}$$

де $G_{\text{ПР}}$ – маса продукту, кг; $C_{\text{ПР}}$ – теплоємність продукту, кДж/(кг·°С); $t_{\text{ПР}}^{\text{Н}}$, $t_{\text{ПР}}^{\text{К}}$ – відповідно, початкова та кінцева температура продукту, °С; τ – час термообробки, с.

Кількість теплоти, відведеної охолоджуючими приладами, можна визначити по залежності:

$$Q_{\text{П/О}} = k \cdot F \cdot (t_{\text{КАМ}} - t_0) \text{ Вт}$$

де k – коефіцієнт теплопередачі приборів охолодження, Вт/(м²·°С); F – площа поверхні приборів охолодження, м²; $t_{\text{КАМ}}$, t_0 – відповідно, температура у камері та температура кипіння, °С.

Розрахунок холодильних машин зазвичай виконується в декількох сталих режимах, з використанням характеристик компресора, конденсатора і випарника. Насправді всі холодильні машини великої, середньої і малої холодопродуктивності працюють в змінному режимі.

Для малих холодильних машин існує лінійна залежність:

$$Q_0 = a \cdot t_0 + c,$$

де a , c – постійні.

В цьому випадку при зміні температури кипіння t_0 в діапазоні не більше 17 °С холодопродуктивність компресорів визначається з погрешністю до 2,5 %. Як показує практика, при експлуатації холодильних установок на робочих режимах температура кипіння холодопродуктивності є найбільш прийнятною унаслідок її простоти і надійності. При обробці продуктів холодом необхідне дотримання наступного теплового балансу:

$$Q_{\text{ПР}} = Q_{\text{П/О}} = Q_0,$$

де $Q_{\text{ПР}}$, $Q_{\text{П/О}}$ – кількість теплоти, відповідно, відведеної від продукту і сприйнятої приладами охолодження; Q_0 – холодопродуктивність випарника при відповідній температурі кипіння.

Враховуючи можливості по віддачі теплоти продуктом і відведенню її охолоджуючою системою цей баланс в процесі термообробки постійно порушується. Дослідним шляхом доведено, що при термообробці харчових продуктів стадія регулярного режиму завжди абсолютно переважає по тривалості над стадією невідповідного режиму. Це переважання тим значніше, чим більше температуропровідність охолоджуваного тіла і коефіцієнт теплопередачі на його поверхні і чим менше визначальний розмір тіла.

Виходячи із закону регулярного режиму, темп охолодження можна визначити по формулі:

$$m = (1/\tau) \cdot \ln[(t_{\text{ПР}}^{\text{Н}} - t_{\text{КАМ}})/(t_{\text{ПР}}^{\text{К}} - t_{\text{КАМ}})],$$

де τ – час термообробки, с; $t_{\text{КАМ}}$ – температура камери, °С.

При розрахунку холодопродуктивності компресорів необхідно враховувати об'ємні втрати. Об'ємні втрати в цілому характеризуються коефіцієнтом подачі λ , тобто відношенням масової продуктивності дійсного компресора G_a до масової продуктивності теоретичного компресора G_t , що має той же об'єм, описаний поршнями V_h :

$$\lambda' = G_{\text{П}} \cdot v_1 / V_h,$$

де G_{Π} – кількість пари, кг/с; v_1 – питомий об'єм пари, м³/кг; V_h – об'єм, описаний по-решнями компресора, м³/с.

Коефіцієнт подачі можна представити у вигляді добутку декількох коефіцієнтів:

$$\lambda' = \lambda_c \cdot \lambda_{д.п} \cdot \lambda_w \cdot \lambda_{пл},$$

де λ_c – об'ємний коефіцієнт, що враховує розширення з мертвого простору; $\lambda_{д.п}$ – коефіцієнт дроселювання і пульсацій, що характеризує відхилення тиску в циліндрі у момент початку стискування від тиску перед всмоктувальним патрубком; λ_w – коефіцієнт підігрівання, що враховує підігрівання всмоктувальної пари і випар рідини; $\lambda_{пл}$ – коефіцієнт щільності, що оцінює протікання пари з циліндра через нещільність.

Використання акумуляції холоду є не новим, оскільки давно використовується при термообробці молока, риби і тому подібне. В даний час практично всі холодильні камери і холодильники в цілому, що експлуатуються в Україні, не можуть забезпечити рівномірний розподіл теплового навантаження на устаткування (охолоджуючі прилади і компресорно-конденсаторний парк) шляхом варіювання вивантаження і завантаження харчових продуктів. Внаслідок цього можливість зміни ключових режимних параметрів установки в динаміці для того, щоб понизити енерговитрати, є особливо актуальною в даний час. Одним з можливих рішень є періодична акумуляція холоду. При цьому наявність в більшості країн світу багатоставочного тарифного плану на електроенергію дозволяє акумулювати холод в нічний час доби, коли електроенергія куди дешевше, ніж вдень, щоб потім її використовувати в денний час, щоб збити пікові навантаження, що є незрівнянним плюсом акумуляції холоду. Періодична акумуляція холоду дозволяє стабілізувати роботу холодильної машини та її робочі параметри: температури конденсації, кипіння та камери. Завдяки періодичній акумуляції можна добитися зняття пікових навантажень на холодильну систему, скоротити тривалість термообробки харчового продукту, зменшити енергоспоживання, вирівняти робочі токи компресора і, як наслідок, подовжити його довговічність.

На рис. 1 представлено одне з принципових схемних рішень з акумуляцією холоду, на основі якого був проведений порівняльний ексергетичний аналіз на холодоагентах R22, R134a, R290, R600a, R717. Холодильна машина складається з компресорно-конденсаторного агрегату, кожухотрубного випарника, відцентрового насоса для проміжного холодоносія, основного і допоміжного повітроохолоджувачів. У якості проміжного холодоносія виступав пропіленгліколь. При цьому не враховувалися ексергетичні втрати в насосі із-за вкрай неістотних їх значень.

Складний характер зміни ексергетичних втрат протягом року обумовлений суперечливим впливом на їх величину двох чинників: по-перше, зміною необоротності процесів, що протікають в компресорній системі при змінних температурах кипіння і конденсації холодоагенту в різні періоди року; по-друге, змінами масової витрати холодоагенту, циркулюючого по контуру системи.

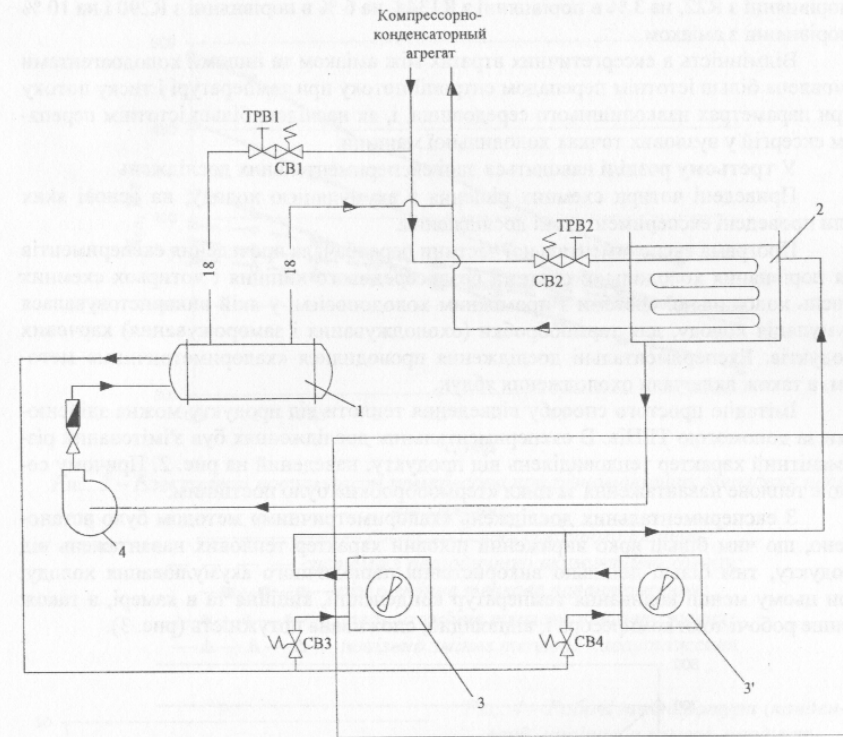


Рис. 1 – Принципова схема з акумуляцією холоду:

- 1 – кожухотрубний випарник; 2 – евтектичний акумулятор;
3, 3' – повітроохолоджувачі (основний та допоміжний, відповідно);
4 – відцентровий насос для проміжного холодоносія; TPB1 і TPB2 – терморегулюючі вентилі; CB1...CB4 – соленоїдні вентилі

На основі ексергетичного аналізу можна сказати, що найбільш істотні ексергетичні втрати – втрати в компресорі (більше 40 % від загальних втрат) в незалежності від холодоагенту. Також значні ексергетичні втрати спостерігаються в кожухотрубному випарнику (трохи більше 20 %), в електродвигуні компресора (близько 12 %), у повітроохолоджувачах (трохи більше 10 %) і в конденсаторі (8 – 11 % у залежності від холодоагенту). Дуже незначні ексергетичні втрати спостерігаються в інших розрахованих апаратах – в РТО та дроселі (менше 4 %).

В результаті ексергетичного аналізу було визначено, що найбільш доцільним для даної холодильної установки є застосування холодоагенту R600a, найменш доцільно, з ексергетичної точки зору, холодоагенту R717. Застосування холодоагенту R600a дозволяє добитися зниження ексергетичних втрат приблизно на 7 %

в порівнянні з R22, на 3 % в порівнянні з R134a, на 6 % в порівнянні з R290 і на 10 % в порівнянні з аміаком.

Відмінність в ексергетичних втратах між аміаком та іншими холодоагентами зумовлена більш істотним перепадом ентропії потоку при температурі і тиску потоку і при параметрах навколишнього середовища, і, як наслідок, більш істотним перепадом ексергій у вузлових точках холодильної машини.

У третьому розділі наводяться дані експериментальних досліджень.

Приведені чотири схемних рішення з акумуляцією холоду, на основі яких були проведені експериментальні дослідження.

Програма експериментальної частини передбачала проведення експериментів для порівняння холодильної системи безпосереднього кипіння і чотирьох схемних рішень холодильної системи з проміжним холодоносієм, у якій використовувалася акумуляція холоду, для термообробки (охолодження і заморожування) харчових продуктів. Експериментальні дослідження проводилися «калориметричним» методом, а також включали охолодження яблук.

Імітацію простого способу відведення теплоти від продукту можна здійснювати за допомогою ТЕНів. В експериментальних дослідженнях був з'імітований різноманітний характер тепловиділень від продукту, наведений на рис. 2. Причому середнє теплове навантаження за цикл «термообробки» було постійним.

З експериментальних досліджень «калориметричним» методом було встановлено, що чим більш ярко виражений піковий характер теплових навантажень від продукту, тим більш доцільно використання періодичного акумулювання холоду. При цьому менші коливання температур конденсації, кипіння та в камері, а також менше робочі токи компресора і, відповідно, споживана потужність (рис. 3).

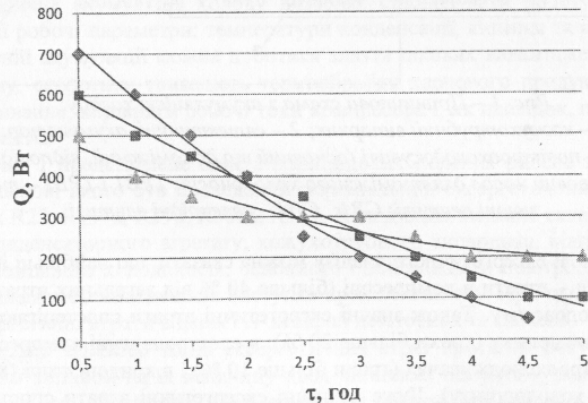


Рис. 2 – Теплові навантаження від ТЕНів на прилади охолодження:

- ◆—◆— різко змінне теплове навантаження;
- середньо змінне теплове навантаження;
- ▲—▲— повільно змінне теплове навантаження

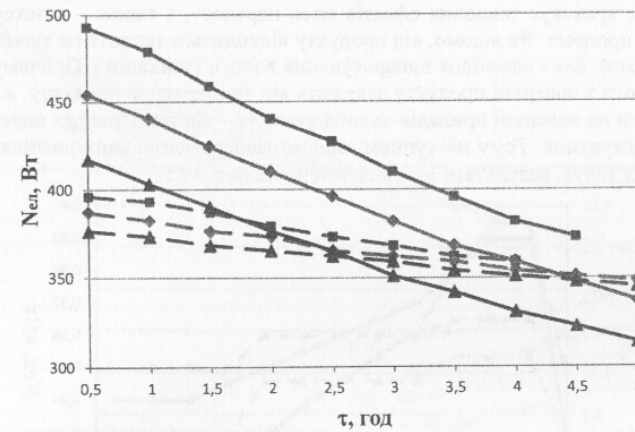


Рис. 3 – Електричні потужності компресора при різноманітних теплових навантаженнях:

- система безпосереднього кипіння;
- — — система з періодичною акумуляцією холоду;
- різко змінне теплове навантаження;
- ◆—◆— середньо змінне теплове навантаження;
- ▲—▲— повільно змінне теплове навантаження



Рис. 4 – Робочі температури (конденсації, кипіння, в камері, продукту, проміжного холодоносія):

- температура конденсації, °C;
- ◆—◆— температура кипіння, °C;
- ▲—▲— температура в камері, °C;
- X—X— температура продукту, °C;
- +—+— температура проміжного холодоносія, °C;
- система безпосереднього кипіння;
- — — система з періодичною акумуляцією холоду;
- крапки – експериментальні дані, лінії – теоретичні дані

Використаний «калориметричний» метод імітації теплоти, відведеної від продукту, не враховує теплових ефектів масо переносу, а також – екзотермічності біохімічних процесів. Як відомо, від продукту відводиться теплота не тільки конвективним шляхом, але і внаслідок випаровування води (усихання). Причому випаровування води з поверхні продукту залежить від температури продукту, а осадження цієї води на поверхні приладів охолодження – від температури поверхні приладів охолодження. Тому наступним етапом експериментальних досліджень було охолодження яблук, результати якого наведено на рис. 4 і 5.

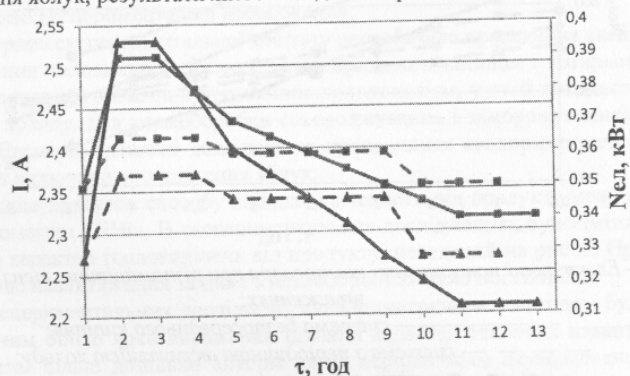


Рис. 5 – Споживана потужність та робочі токи компресора:
 —■—■— електрична потужність, кВт;
 —▲—▲— робочі токи, А;
 — система безпосереднього кипіння;
 - - - система з періодичною акумуляцією холоду

Як видно з експериментальних досліджень (рис. 2 – 5), використання періодичної акумуляції холоду дозволяє стабілізувати роботу холодильної машини та суттєво зменшити у процесі термообробки коливання температур кипіння, конденсації та в камері (коливання зменшуються до 30 %), робочих токів (до 30 %) і споживаної потужності компресора (енергоспоживання зменшується до 20 %). При цьому скорочується час термообробки харчового продукту (до 15 %).

У четвертому розділі аналізується зміна режимних параметрів холодильної установки при змінних теплових навантаженнях.

При дослідженні процесів термообробки і охолоджуючої системи в комплексі для визначення температури продукту використовувався темп охолодження, виходячи з того, що при охолодженні харчових продуктів стадія регулярного режиму завжди абсолютно переважає по тривалості над стадією нерегульованого режиму.

Процес акумуляції холоду починається в період, коли теплове навантаження в холодильній камері стає меншим, ніж $Q_{ср}$.

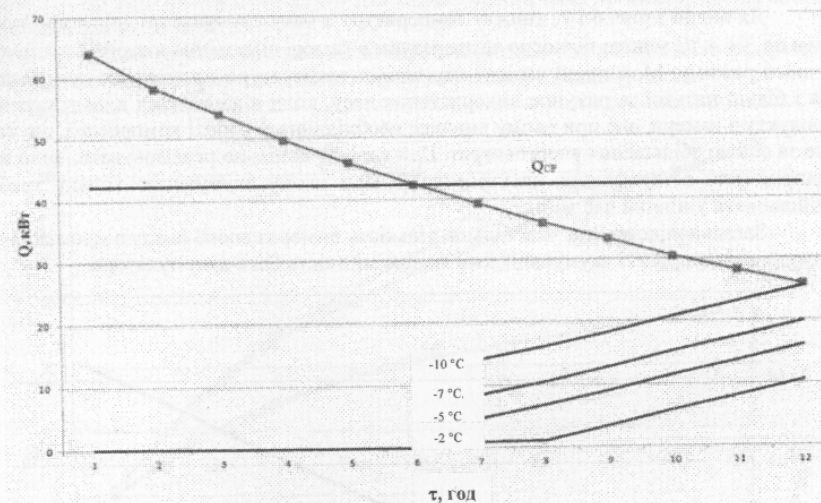


Рис. 6 – Розрахункові значення кількості акумульованого холоду $Q_{ак}$ при різноманітних кінцевих температурах проміжного холодоносія

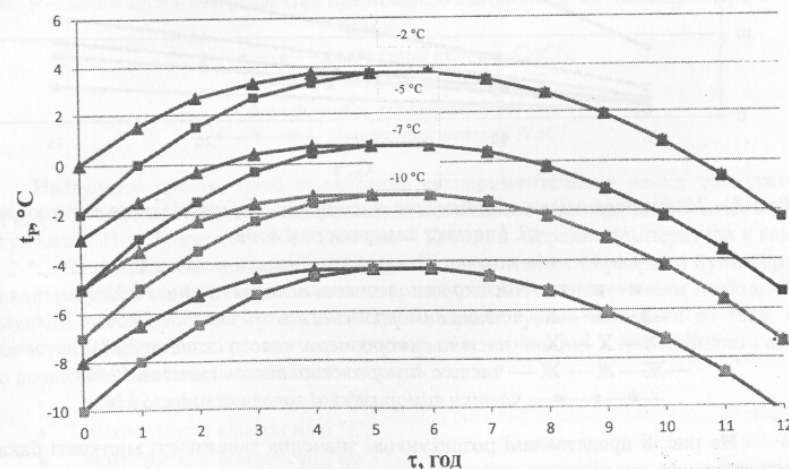


Рис. 7 – Зміна температури проміжного холодоносія:
 —■—■— температура на вході у прилади охолодження, °С;
 —▲—▲— температура на виході з приладів охолодження, °С

Як видно з рис. 6 і 7, кінцеву температуру в баку-акумуляторі достатньо знизити на 3 – 4 °С менше відносно температури в камері відповідно вимогам технологічного режиму. Можливий варіант отримання температури проміжного холодоносія і більш низької за рахунок використання часу, коли відбувається вивантаження продукту з камери, але при цьому виникає необхідність у роботі компресора, що тягне за собою збільшення енерговитрат. Цей варіант доцільно реалізовувати, коли на підприємстві є тарифікація електроенергії. При цьому акумуляцію холоду треба здійснювати у нічний час доби.

Загальновідомо, що чим більша кількість вимороженого льоду з проміжного холодоносія в процесі акумуляції, тим менша місткість бака-акумулятора.

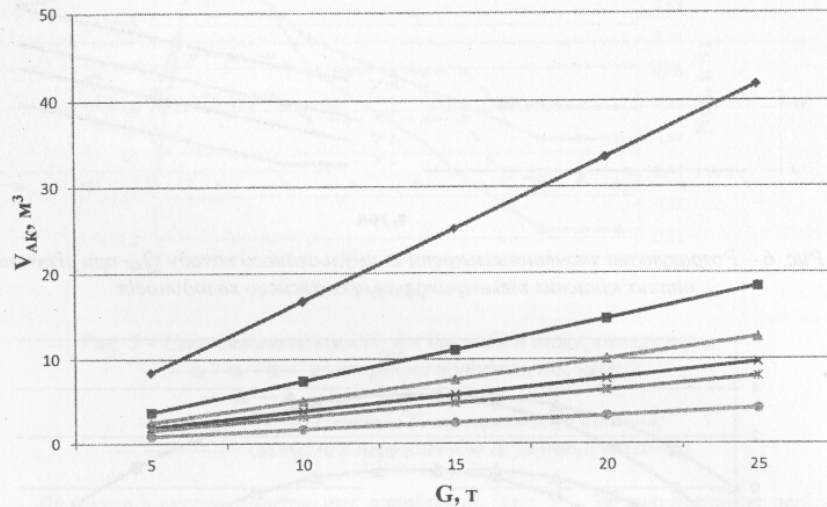


Рис. 8 – Залежність місткості баку від маси продукту, що підлягає термообробці, і частки вимороженої води:

- ◆—◆—◆— частка вимороженої води складає 0 %;
- частка вимороженої води складає 10 %;
- ▲—▲—▲— частка вимороженої води складає 20 %;
- X—X—X— частка вимороженої води складає 30 %;
- Ж—Ж—Ж— частка вимороженої води складає 40 %;
- частка вимороженої води складає 50 %

На рис. 8 представлені розрахункові значення залежності місткості баку від маси продукту, що підлягає термообробці, і частки вимороженої води з проміжного холодоносія.

Як видно з рис. 8, чим більша частка вимороженої води з загальної місткості баку (акумуляція холоду у якості льоду), тим місткість баку буде менша. Причому характер зменшення V_{AK} від частки вимороженої води має непропорційний

характер. На наш погляд, достатньо для проектування бака приймати частку вимороженої води 20 – 30 %.

Найбільш широко на практиці використовуються такі холодоносії, як етиленгліколь, пропіленгліколь, хлористий натрій, хлористий кальцій (рис. 9).

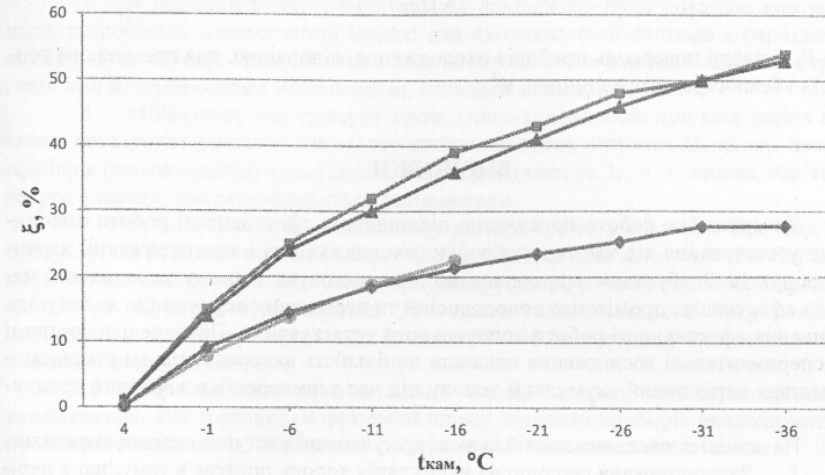


Рис. 9 – Залежність концентрації проміжного холодоносія від температури в камері:

- ◆—◆—◆— хлористий кальцій $CaCl_2$;
- пропіленгліколь;
- ▲—▲—▲— етиленгліколь;
- хлористий натрій $NaCl$

Наступним кроком було зіставлення експериментальних даних досліджень Шефера А. і Головкина Н. при охолодженні яловичини в напівтушах. Кількість продукту складала 21 т. Тривалість охолодження – 13 годин. Середня температура в камері – 2 °С. За допомогою математичної моделі і алгоритмічної програми були спрогнозовані результати як без акумулювання холоду, так і з використанням періодичної акумуляції холоду. Основні результати даних прогнозувань зводяться до того, що використання акумуляції холоду періодичної дії в порівнянні з традиційною системою дозволило зменшити коливання:

- температури кипіння на 3 °С;
- температури камери на 6 °С;
- температури конденсації на 5 °С;
- навантаження на компресор;
- робочого струму в статорній обмотці компресора.

Похибки між експериментальними даними і даними, отриманими при математичному моделюванні, складала менше, ніж 5 %.

При цьому рекомендується співвідношення площ приборів охолодження:

$$F_p = F_0 \cdot \left(\frac{Q_{\max}}{Q_{CP}} - 1 \right)$$

де F_p , F_0 – площі поверхонь приборів охолодження, відповідно, для проміжного теплоносія і безпосереднього кипіння, m^2 .

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності роботи холодильного устаткування під час термообробки (охолоджуванні і заморожуванні) харчових продуктів. Здобувачем запропоновано використовувати схему холодильної машини з ефективним проміжним холодоносієм та періодичну акумуляцію холоду для підвищення ефективності роботи холодильного устаткування. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали доцільність використання на різних підприємствах періодичної акумуляції холоду під час термообробки харчових продуктів.

На основі проведених досліджень сформульовані наступні головні висновки:

1. Запропонована періодична акумуляція холоду полягає в тому, що в період пікових навантажень (початок термообробки продукту), коли встановлених холодильних потужностей не достатньо, використовується акумульований холод (насос проміжного холодоносія працює), а коли теплові навантаження зменшуються, відбувається акумуляція холоду (насос проміжного холодоносія не працює) за рахунок вивільнених холодильних потужностей.

2. Ексергетичний аналіз установки показав, що використання у якості робочої речовини екологічно чистого і озонобезпечного ізобутану не тільки відповідає Монреальському та Кіотському протоколам, а і запобігає більш суттєвим ексергетичним втратам у теплообмінних апаратах. Використання холодоагенту R600a дозволяє досягти зниження ексергетичних втрат у апаратах холодильної машини приблизно на 7 % в порівнянні з R22, на 3 % в порівнянні з R134a, на 6 % в порівнянні з R290 і на 10 % в порівнянні з аміаком.

3. На різних підприємствах України, де можна використовувати систему з періодичною акумуляцією холоду, рекомендується застосовувати у якості проміжного холодоносія пропіленгліколь, отримуючи при цьому ряд переваг.

4. Завдяки перерозподілу теплового навантаження за процес термообробки харчового продукту періодична акумуляція холоду дозволяє стабілізувати робочі параметри холодильної машини: температури конденсації, кипіння та повітря в холодильній камері (коливання зменшується до 30 %).

5. Завдяки застосуванню періодичної акумуляції можна зменшити пікові навантаження на холодильну систему, скоротити тривалість термообробки харчового продукту (до 15 %), зменшити енергоспоживання (до 20 %), вирівняти робочі токи компресора (до 30 %) і, як наслідок, підвищити період його експлуатації.

6. Розроблена математична модель охолоджуючої системи з проміжним холодоносієм, в якій застосовуватиметься періодична акумуляція холоду. Завдяки цій математичній моделі можна спрогнозувати поведінку параметрів роботи холодильної системи при тих чи інших умовах.

7. В результаті експериментальних досліджень була доказана компетентність розробленої математичної моделі для охолоджуючої системи з періодичною акумуляцією холоду. Похибки між експериментальними даними і даними, отриманими при математичному моделюванні, склали менше, ніж 5 %.

8. Мінімальну температуру проміжного холодоносія при всіх інших однакових показниках (ємності бака-акумулятора, масових витратах G , площі поверхні приборів охолодження і т.п.) доцільно підтримувати на 3...4 °C нижче, ніж температура в камері, яка рекомендується технологами.

9. Була розроблена залежність у вигляді графіку місткості баку від маси продукту, що підлягає термообробці, і частки вимороженої води. Завдяки цій залежності можна знайти місткість баку-акумулятору, знаючи масу харчового продукту, який буде підлягати термообробці. Для проектування місткості баку необхідно приймати частку вимороженої води близько 20 – 30 % за період, коли теплове навантаження менше середнього.

10. Запропоноване співвідношення площі поверхні комбінованої системи охолодження, яке дозволяє розрахувати площу поверхні приборів охолодження для проміжного теплоносія, знаючи площу поверхні безпосереднього кипіння:

$$F_p = F_0 \cdot \left(\frac{Q_{\max}}{Q_{CP}} - 1 \right)$$

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ

1. Подмазко, И.А. Использование аккумуляции холода для камер термообработки пищевых продуктов [Текст] / И.А. Подмазко, М.Г. Хмельнюк // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 2011. – Т.1, випуск 39. – с. 41 – 46.

Особистий внесок: аналіз літературних джерел, постановка задачі, формулювання висновків.

2. Подмазко, И.А. Анализ энергетической эффективности холодильной установки с аккумуляцией холода на различных хладагентах [Текст] / И.А. Подмазко, М.Г. Хмельнюк, А.Г. Федоров // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – 2011. – № 5 (133). – с. 51 – 56.

Особистий внесок: постановка завдання, виконання розрахунків, аналіз результатів розрахунків, формулювання висновків.

3. Подмазко, І. О. Теоретично-експериментальний порівняльний аналіз холодильних систем для камер термообробки харчових продуктів [Текст] / І.О. Подмазко, М. Г. Хмельнюк, О.Г. Федорів // Тематичний збірник наукових праць «Обладнання та технології харчових виробництв». – Донецьк. ДонНУЕТ. – 2012. – Т.2, випуск 29. – с. 164 – 170.

Особистий внесок: виконання розрахунків, аналіз результатів розрахунків, формулювання висновків.

4. Подмазко, И.А. Сравнительный анализ холодильных машин для камер термообработки пищевых продуктов [Текст] / И.А. Подмазко, М.Г. Хмельнюк // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «сталий розвиток і штучний холод». Збірник надруковано як додаток до науково-технічного журналу Холодильна техніка і технологія (вип. 4 (138), 2012). – ОДАХ, Одеса: Видавн. ФОП Рінь Д.С., м. Херсон. – 2012. – с. 209 – 212.

Особистий внесок: виконання розрахунків, аналіз результатів розрахунків.

5. Подмазко, И.А. Исследование эжекторной холодильной машины на экологически чистых рабочих веществах [Текст] / И.А. Подмазко, М.Г. Хмельнюк, В.А. Петренко // Тематичний збірник наукових праць “Обладнання та технології харчових виробництв”: Донецьк. ДонНУЕТ, 2010. – Вип. 24. – с.115 – 122.

Особистий внесок: виконання розрахунків.

6. Пат. 67761 Украина, F25D 3/00. Пристрій з використанням акумуляції холоду для камер термообробки харчових продуктів [Текст] / М.Г. Хмельнюк, І.О. Подмазко; заявл. 20.06.11; опубл. 12.02.12, Бюл. № 5. – 4 с.

7. Пат. 72656 Украина, F25D 3/00. Пристрій з періодичною дією акумулятора холоду для охолодження та заморожування харчових продуктів [Текст] / М.Г. Хмельнюк, І.О. Подмазко; заявл. 13.02.12, опубл. 27.08.12, Бюл. № 16. – 4 с.

8. Подмазко, И.А. Использование аккумуляции холода для камер термообработки пищевых продуктов [Текст] / И.А. Подмазко, М.Г. Хмельнюк // Труды міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса. ОНАХТ – 2011. – с. 47 – 48.

Особистий внесок: аналіз літературних джерел, постановка задачі, формулювання висновків.

9. Подмазко, И.А. Анализ энергетической эффективности схем с аккумуляцией холода на различных хладагентах [Текст] / И.А. Подмазко, М.Г. Хмельнюк // Збірник тез доповідей 7-й Міжнародної науково-технічної конф. «Сучасні проблеми холодної техніки і технології». – Одеса: Видавн. ОДАХ. 2011. – с. 93 – 96.

Особистий внесок: постановка завдання, виконання розрахунків, аналіз результатів розрахунків, формулювання висновків.

10. Подмазко, И.А. Сравнительный анализ эффективности схем с аккумуляцией холода на различных хладагентах [Текст] / И.А. Подмазко, М.Г. Хмельнюк, А.Г. Федоров // Матеріали МНК «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Миколаїв, вид. НУК, –2011.– с. 267 – 269.

Особистий внесок: виконання розрахунків, аналіз результатів розрахунків, формулювання висновків.

11. Подмазко, И.А. Сравнительный анализ систем непосредственного охлаждения и с «аккумуляцией» холода при термообработке пищевых продуктов [Текст] / И.А. Подмазко // Сборник тезисов докладов международной конференции «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур». МГУИЭ, Москва. – 2011. – с.89 – 90.

Особистий внесок: виконання розрахунків, аналіз результатів розрахунків, формулювання висновків.

12. Подмазко, И.А. Камера хранения пищевых продуктов с аккумуляцией холода [Текст] / И.А. Подмазко // Сборник тезисов докладов международной конференции «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур». МГУИЭ, Москва. – 2011. – с.91 – 92.

Особистий внесок: постановка завдання, формулювання висновків.

13. Подмазко, І. О. Теоретично-експериментальний порівняльний аналіз холодильних систем для камер термообробки харчових продуктів [Текст] / І.О. Подмазко, М. Г. Хмельнюк // VI Всеукраїнська науково-технічна конференція «Удосконалення малої хладотеплотехніки – використання холоду в харчовій галузі». – Донецьк – 2012. – с.

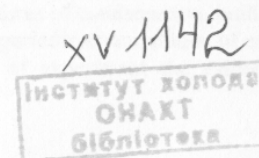
Особистий внесок: виконання розрахунків, аналіз результатів розрахунків, формулювання висновків.

14. Подмазко, И.А. Повышение эффективности холодильного оборудования для термообработки пищевых продуктов за счет аккумуляции холода [Текст] / И.А. Подмазко, М.Г. Хмельнюк // Матеріали МНК «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Миколаїв, вид. НУК, –2012.– с. 337 – 339.

Особистий внесок: виконання розрахунків, аналіз результатів розрахунків, формулювання висновків.

15. Хмельнюк М.Г., Петренко В.А., Подмазко И.А. Выбор наиболее оптимального холодильного агента для эжекторной холодильной машины, предназначенной для утилизации тепла [Текст] / М.Г. Хмельнюк, В.А. Петренко, И.А. Подмазко // Матеріали МНК «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Миколаїв, вид. НУК, – 2010. – с. 223 – 224.

Особистий внесок: виконання розрахунків, аналіз результатів розрахунків, формулювання висновків.



АННОТАЦИЯ

Подмазко И.А. Повышение эффективности работы холодильного оборудования при термообработке пищевых продуктов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования. – Институт холода, криотехнологии и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского Одесской национальной академии пищевых технологий, Одесса, 2012 г.

В работе представлены результаты исследований перспектив применения периодической аккумуляции холода при термообработке пищевых продуктов для различного рода промышленных пищевых предприятий.

Создан экспериментальный стенд для исследования влияния применения периодической аккумуляции холода на работу холодильной установки в целом, на отдельные ее аппараты и рабочие параметры системы (температуры конденсации, кипения, в камере), а также для сравнения холодильной системы с периодической аккумуляцией холода и холодильной системы непосредственного кипения. На основе результатов эксперимента получены значения рабочих параметров холодильной установки с периодической аккумуляцией холода, исследовано влияние применения периодической аккумуляции холода на рабочие токи, а также на компрессор. Показано, что использование периодической аккумуляции холода приводит к сокращению времени термообработки, стабилизации рабочих параметров холодильной установки, сокращению энергопотребления, а также приводит к уменьшению рабочих токов компрессора. Кроме того, результаты экспериментов показали, насколько эффективна может быть периодическая аккумуляция холода при снятии пиковых нагрузок.

Благодаря периодическому аккумулярованию холода можно добиться сокращения длительности термообработки пищевого продукта, выровнять рабочие токи компрессора и, соответственно, продлить срок его эксплуатации.

Использование теплоты фазовых переходов во время термообработки пищевых продуктов существенно повышает эффективность холодильной установки с аккумуляцией холода.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали целесообразность применения периодической аккумуляции холода в холодильных установках на предприятиях пищевой промышленности для повышения эффективности работы холодильного оборудования, а также для повышения энергетической эффективности всей холодильной системы в целом.

Ключевые слова: холодильные машины, аккумуляция холода, изобутан, промежуточный хладоноситель, энергетическая эффективность, термообработка пищевых продуктов.

АНОТАЦІЯ

Подмазко І.О. Підвищення ефективності роботи холодильного устаткування при термообробці харчових продуктів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 – Холодильна, вакуумна і компресорна техніка, системи кондиціонування. – Інститут холоду, криотехнології та екоенгетики ім. В.С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій, Одеса, 2012 р.

У роботі представлені результати досліджень перспектив застосування періодичної аккумуляції холоду при термообробці харчових продуктів для різного роду промислових харчових підприємств.

Створений експериментальний стенд для дослідження впливу застосування періодичної аккумуляції холоду на роботу холодильної установки в цілому, на окремі її апарати і робочі параметри системи (температури конденсації, кипіння, в камері), а також для порівняння системи з періодичною аккумуляцією холоду і системи безпосереднього кипіння. На основі результатів експерименту отримані значення робочих параметрів холодильної установки з періодичною аккумуляцією холоду, досліджений вплив застосування періодичної аккумуляції холоду на робочі токи, а також – на компресор. Показано, що завдяки використанню періодичної аккумуляції холоду можна добитися скорочення часу термообробки, стабілізації робочих параметрів холодильної установки, зменшення енергоспоживання, а також – зменшення робочих струмів компресора. Крім того, результати експериментів показали, наскільки ефективна може бути періодична аккумуляція холоду при знятті пікових навантажень.

Проведені теоретичні і експериментальні дослідження показали доцільність застосування періодичної аккумуляції холоду в холодильних установках на підприємствах харчової промисловості для підвищення ефективності роботи холодильного устаткування.

Ключові слова: холодильні машини, аккумуляція холоду, ізобутан, проміжний холодоносій, енергетична ефективність, термообробка харчових продуктів.

ABSTRACT

Podmazko I.A. Increase of efficiency of work of refrigeration equipment during heat treatment of food products. – Manuscript.

Thesis for a candidate of science (engineering) degree by specialty 05.05.14 – Refrigerating, Vacuum, and Compressor Techniques, Conditioning Systems. – Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 2012.

The results of researches of prospects of application of periodic accumulation of cold are in-process presented at heat treatment of food products for the different sort of industrial food enterprises.

An experimental stand is created for research of influence of application of periodic accumulation of cold to work of refrigeration unit on the whole, on its separate vehicles and operating parameters of the system (temperatures of condensation, boiling, in a chamber), and also for comparing of the system to the periodic accumulation of cold and system of the direct boiling. On the basis of results of experiment the values of operating

parameters of refrigeration unit are got with the periodic accumulation of cold, influence of application of periodic accumulation of cold on workings currents, and also on a compressor. It is rotined that over the use of periodic accumulation of cold brings to reduction of time of heat treatment, stabilizing of operating parameters of refrigeration unit, reduction of energy consumption, and also results in diminishing of workings currents of compressor. In addition, the results of experiments rotined, as far as effective there can be a periodic accumulation of cold at the removal of peak-loads.

The conducted theoretical and experimental researches rotined expedience of application of periodic accumulation of cold in the refrigeration settings on the enterprises of food industry for the increase of efficiency of work of refrigeration equipment.

Key words: *refrigeration machines, accumulation of cold, isobutane, intermediate heat-transfer, power efficiency, heat treatment of food products.*