

a technology has been developed for the interaction of ultrasonic effects on poultry meat, assessing its quality using neural network systems. The proposed technology for the production of natural semi-finished products from broiler meat based on the application of cavitation effects can significantly improve product quality by increasing the water-holding ability by 7 %, increasing the product yield by 5 %, improving organoleptic characteristics and creating basic conditions for protein hydration under conditions of information uncertainty the quality of raw materials, reducing phosphate-containing drugs as part of complex additives and, as a result, improving environmental friendliness of course the product for the consumer.

Key words: intelligent system, automation, workstations, robotic devices, ultrasonic vibrations, quality, evaluation, neural network system.

DOI : 10.33274/2079-4827-2019 -39-2-69-77

УДК [621.565-029:658.6]:502.171:620.9 (045)

*Хорольський В. П., д-р, техн. наук, професор*¹

*Омельченко О. В., канд. техн. наук*¹

*Заїкіна Д. П., асистент*¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua

ШЛЯХИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТОРГОВЕЛЬНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

UDK [621.565-029:658.6]:502.171:620.9 (045)

*Khorolskyi V. P., Grand PhD in Engineering sciences,
Professor*¹

*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences*¹

*Zaikina D. P., Assistant*¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Krivyi Rig, Ukraine), e-mail: horolskiy@donnuet. edu. ua

WAYS OF ENERGY SAVING OF USING COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT

Мета. Метою статті є обґрунтування можливості зниження енергоспоживання при роботі торговельного холодильного обладнання модельного ряду «Інтер» шляхом інтенсифікації теплообміну на поверхні їх конденсатора.

Методи. У процесі досліджень використано експериментальні методи наукового дослідження, що містять узагальнення та аналіз літературних джерел, методи системного аналізу, тощо.

Результати. Приведено тепловізійні зображення двосекційного конденсатора за допомогою тепловізора в моменти пуску і зупинки компресора холодильної шафи при, відповідно, непрацюючому й працюючому вентиляторі обдуву джерел тепловиділення (при температурі навколишнього середовища 25оС). Зроблено висновок про те, що отримані експериментальні дані відповідають логіці теплофізичних процесів, які відбуваються в холодильній машині: при сталому циклічному режимі роботи компресора температура на поверхні джерел тепловиділення в момент його зупинки перевищує значення в момент його пуску (як при відключеному, так і працюючому малогабаритному вентиляторі); незалежно від умов охолодження, найбільш нагрітими є перші від компресора витки конденсатора; обдув конденсатора малогабаритним вентилятором приводить до істотного зниження температури на поверхні його витків в обох паралельно розташованих секціях. Встановлено, що добова витрата електро-

Надійшла до редакції 10.11.2019 р.

© В. П. Хорольський, О. В. Омельченко,
Д. П. Заїкіна, 2019

енергії при роботі ШХ «Інтер» без обдува й з обдувом конденсатора малогабаритним вентилятором в інтервалі температури повітряного середовища в термокамері варіюється 16...32 оС. Запропоновано використання холодильної шафи «Інтер-501» із трьохсекційним конденсатором задля забезпечення достатньої поверхні теплообміну з навколишнім середовищем. Зазначено, що обдув конденсатора в ШХ «Інтер-501» малогабаритним вентилятором потужністю 15 Вт із продуктивністю 100 м³/год забезпечує істотне зниження температури його поверхні й, як наслідок, підвищення ефективності роботи холодильної машини, зниження добового споживання електроенергії, незважаючи на споживання її працюючим вентилятором. При цьому теплоенергетична ефективність обдува конденсатора підвищується з ростом температури зовнішнього повітря.

Ключові слова: енергозбереження, енергозберігаючі технології, ефективність виробничої діяльності, дефлектор, торговельне холодильне обладнання.

Постановка проблеми. Найважливішим завданням сучасних підприємств є економічне витрачання енергетичних ресурсів, тому велика увага приділяється розробленню сучасних технологій і проведенню організаційно-технічних заходів задля підвищення енергоефективності виробництва, що забезпечують конкурентоспроможність підприємств і створюють надійну основу майбутнього.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема розвитку енергозбереження на підприємствах перебуває у полі зору багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців, та знайшли своє відображення у наукових працях зокрема М. В. Афанасьєва, О. М. Бархатова, Б. В. Гаприндашвілі, Е. Г. Гашо, В. В. Деджули, Д. В. Зеркалова, І. Я. Іпполітової, У. Є. Ліра, О. М. Маценко, М. Р. Маслікевич, Т. І. Салашенко, Р. В. Севастьянова, Б. М. Сердюка, М. В. Степанової О. І. та багатьох інших. Водночас слід відзначити, що незважаючи на велику кількість наукових напрацювань у цій сфері [1–10], залишається актуальним питанням пошук та вдосконалення оптимальних шляхів реалізації енергозберігаючих заходів у виробничій діяльності підприємства.

Метою статті є обґрунтування можливості зниження енергоспоживання при роботі торговельного холодильного обладнання модельного ряду «Інтер» шляхом інтенсифікації теплообміну на поверхні їх конденсатора.

Виклад основного матеріалу дослідження. У форматі енергозбереження можна розглядати використання дефлекторів для провітрювання приміщень з відсутністю в них виділень шкідливостей. Схема дефлектора приведена на рис. 1. До його конструкції входять: дифузор 1, верхню частину якого охоплює циліндрична обичайка 2; патрубок 3, що з'єднує об'єм провітрюваного приміщення з атмосферою; конус 4 для запобігання задуванню вітру всередину дифузора і патрубку; конусоподібний козирок 5, що захищає дифузор і з'єднаний з ним патрубок від влучення атмосферних опадів.

Працює дефлектор наступним чином. При обдуванні вітром зовнішньої поверхні обичайки 2 в обмеженому нею просторі утворюється розрядження. Завдяки створюваному при цьому ежекційному ефекту повітря з приміщення рухається по повітроводу (не показаний), попадає в патрубок

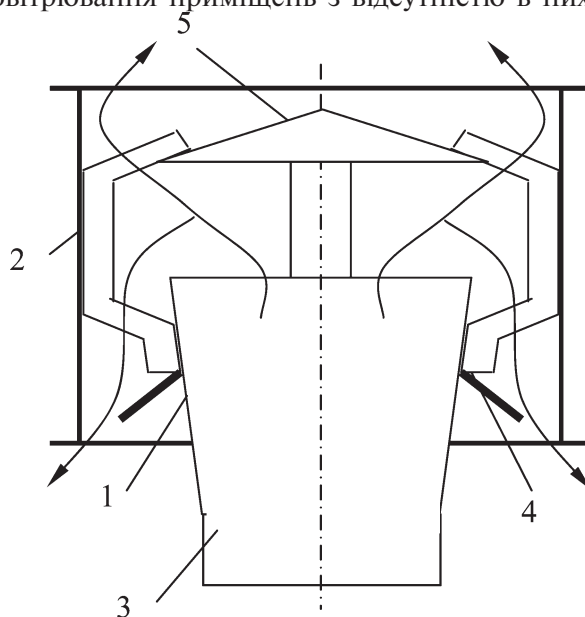


Рисунок 1 — Схема дефлектора для провітрювання приміщень

3, дифузор 1 і потім виходить в атмосферу через кільцеві щілини між обичайкою 2 і конусом 5, конусом 4.

Авторами експериментально обґрунтована можливість зниження енергоспоживання при роботі торговельного холодильного обладнання модельного ряду «Інтер» шляхом інтенсифікації теплообміну на поверхні їх конденсатора.

Інтенсифікація теплообмінних процесів на поверхні джерел тепловиділення холодильної машини забезпечується їх обдувом струменем повітря, що створюється малогабаритним вентилятором із продуктивністю 100 м³/год при споживаній потужності 15Вт, встановленим у машинному відділенні.

На рис. 2 та рис. 3 наведені отримані тепловізійні зображення двосекційного конденсатора в моменти пуску (а) і зупинки (б) компресора холодильної шафи при, відповідно, непрацюючому й працюючому вентиляторі обдуву джерел тепловиділення (при температурі навколишнього середовища 25 °С) за допомогою тепловізора [1].

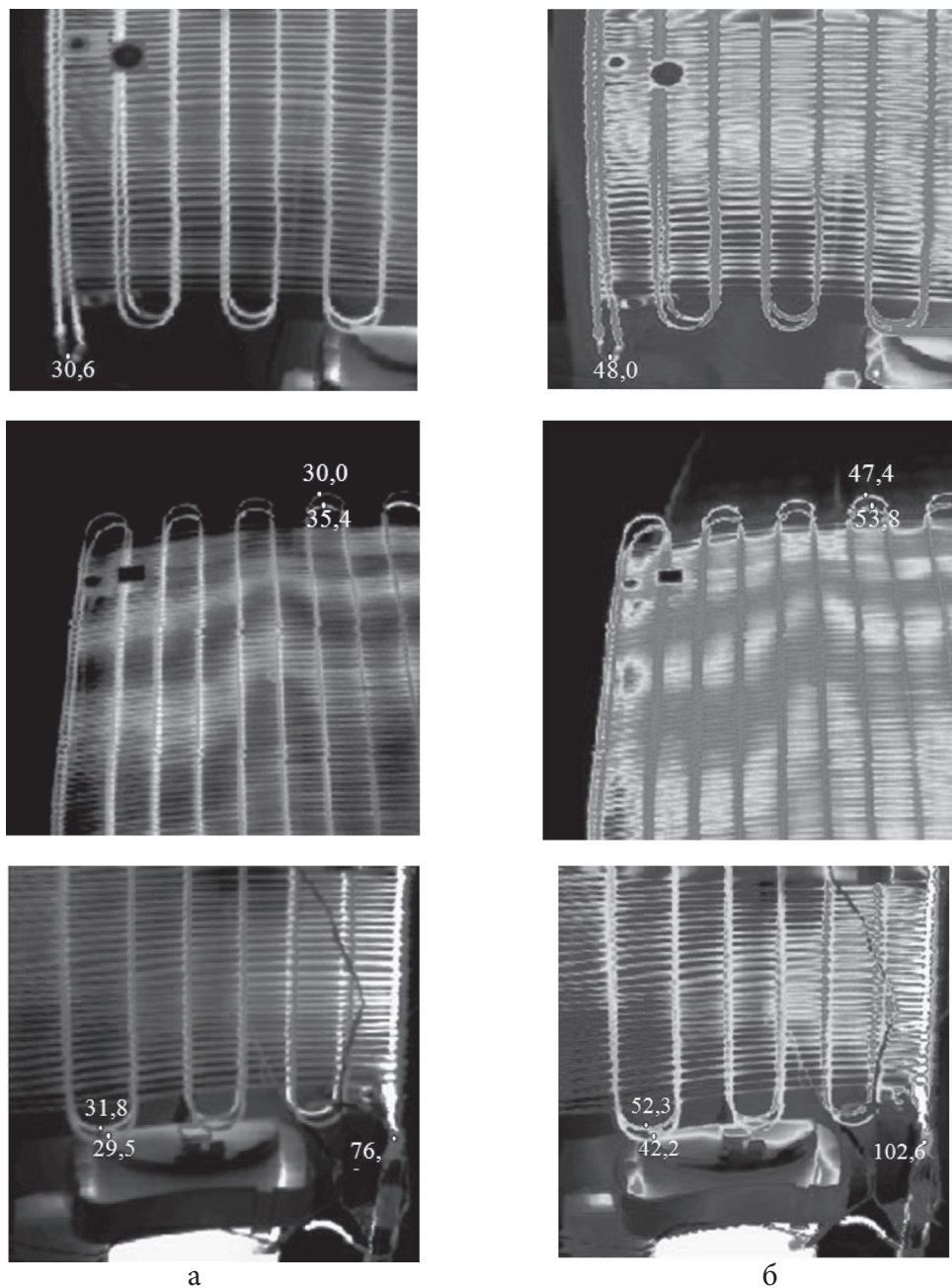


Рисунок 2 — Теплове зображення різних ділянок двосекційного конденсатора ШХ «Інтер-501» і розподіл на його поверхні температури (°С) у моменти пуску (а) і зупинки (б) компресора при непрацюючому малогабаритному вентиляторі

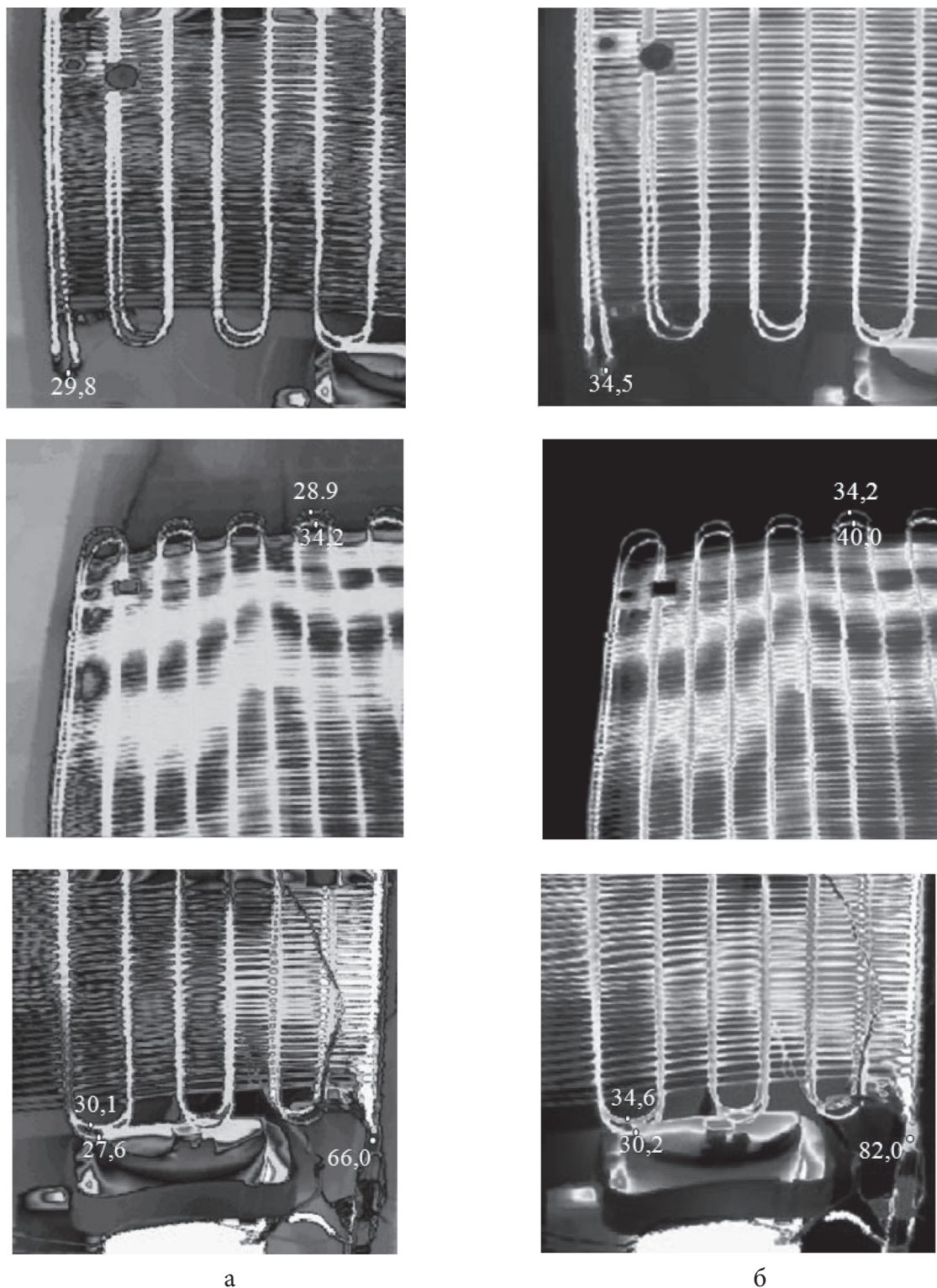


Рисунок 3 — Теплове зображення різних ділянок двосекційного конденсатора ШХ «Інтер-501» і розподіл на його поверхні температури (°C) у моменти пуску (а) і зупинки (б) компресора при працюючому малогабаритному вентиляторі

Отримані експериментальні дані відповідають логіці теплофізичних процесів, які відбуваються в холодильній машині: при сталому циклічному режимі роботи компресора температура на поверхні джерел тепловиділення в момент його зупинки перевищує значення в момент його пуску (як при відключеному, так і працюючому малогабаритному вентиляторі); незалежно від умов охолодження, найбільш нагрітими є перші від компресора витки конденсатора; обдув конденсатора малогабаритним вентилятором приводить

до істотного зниження температури на поверхні його витків в обох паралельно розташованих секціях.

Зниження температури на поверхні конденсатора внаслідок обдува його малогабаритним вентилятором відображає адекватне зниження температури конденсації холодоагенту в холодильній машині, що сприяє збільшенню ефективності її роботи. При цьому працюючий вентилятор створює повітряну завісу, що зменшує теплоприпливи в холодильну шафу із сторони задньої панелі — від джерел тепловиділення [1].

Встановлено добову витрату електроенергії при роботі ШХ «Інтер-501» без обдува й з обдувом конденсатора малогабаритним вентилятором в інтервалі температури повітряного середовища в термокамері 16...32 °С.

На рис. 4 наведено побудовані на основі результатів експериментальних досліджень графіки залежності добового споживання електроенергії N (кВт·год/доб) ШХ «Інтер-501» від температури зовнішньої середовища $t_{з.п.}$ (°С) при відключеному та працюючому на обдув конденсатора малогабаритному вентиляторі — лінії, відповідно, 1 та 2 [1].

Вказані лінії апроксимуються рівняннями, відповідно:

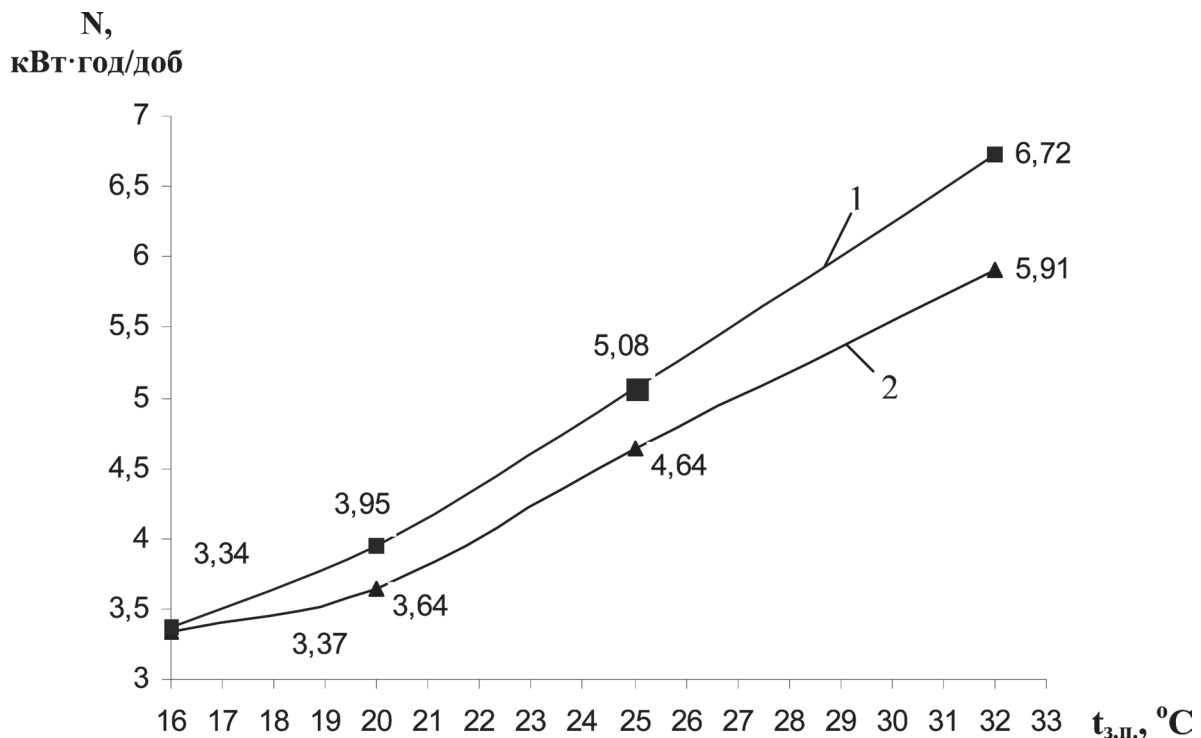


Рисунок 4 — Залежність добового споживання електроенергії ШХ «Інтер-501» із двосекційним конденсатором від температури зовнішнього повітря при відключеному (крива 1) і працюючому (крива 2) малогабаритному вентиляторі

$$N_1 = 0,0035t^2 + 0,043t + 1,7522 \quad (1)$$

$$R^2 = 0,9987,$$

$$N_2 = 0,0037t^2 - 0,0127t + 2,5388 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,9926.$$

Як видно на рисунку, з підвищенням температури навколишнього повітря збільшується в обох випадках проведення досліджень споживання електроенергії ШХ «Інтер-501». Однак при обдуві двосекційного конденсатора малогабаритним вентилятором витрата електроенергії у всьому температурному інтервалі зовнішнього повітря від 16 до 32 °С виявилась менше витрати її при відключеному вентиляторі. Ці дані погоджуються з наведеними вище результатами досліджень температурного поля конденсатора при відключеному й працюючому малогабаритному вентиляторі. За даними рисунка 52, підвищення температури зовнішнього повітря приводить до розбіжності ліній 1 і 2, що відобра-

жують добове споживання електроенергії працюючої ШХ «Інтер-501». При фіксованих значеннях температури повітряного середовища 16, 20, 25, 32 °С ці розбіжності становлять, відповідно: 0,9; 7,8; 8,7; 11,8 %.

Як видно, тільки в області температури зовнішнього повітря менше 16 °С обдув конденсатора малогабаритним вентилятором може виявитися нераціональним через можливу перевитрату електроенергії. Однак використання ШХ «Інтер-501» у зазначеній температурній області малоймовірно.

На підставі експериментальних досліджень встановлене наступне: обдув конденсатора в ШХ «Інтер-501» малогабаритним вентилятором потужністю 15 Вт із продуктивністю 100 м³/год забезпечує істотне зниження температури його поверхні й, як наслідок, підвищення ефективності роботи холодильної машини, зниження добового споживання електроенергії, незважаючи на споживання її працюючим вентилятором. При цьому теплоенергетична ефективність обдува конденсатора підвищується з ростом температури зовнішнього повітря.

За результатами досліджень видно, що у ШХ «Інтер-501» двосекційний конденсатор має недостатню поверхню теплообміну з навколишнім середовищем, тому був встановлений трьохсекційний конденсатор. Були проведені дослідження добового споживання електроенергії ШХ «Інтер-501» при роботі його з обдувом та без обдуву трьохсекційного конденсатора малогабаритним вентилятором.

На рис. 5 наведені графіки залежності добового споживання електроенергії холодильною шафою «Інтер-501» із трьохсекційним конденсатором від температури зовнішнього повітря при виключеному (лінія 1) і працюючому (лінія 2) малогабаритному вентиляторі.

Як видно на рис. 5, з підвищенням температури навколишнього повітря $T_{з.п.}$ (°С) збільшується споживання електроенергії N (кВт·год/доб) холодильною шафою як при працюючому, так і відключеному малогабаритному вентиляторі. Характерно, що при температурі навколишнього повітря 21,5 °С лінії 1 і 2 перетинаються. Це означає: при температурі повітря до зазначеної величини має місце перевитрата електроенергії, що обумовлено роботою малогабаритного вентилятора, при перевищенні її — істотне зниження енергоспоживання. Ефект економії електроенергії тим більше, чим вище температура навколишнього повітря. Очевидно, що для кожної моделі холодильної шафи повинна бути встановлена експериментальним шляхом критична температура навколишнього повітря, починаючи з якої вентилятор повинний автоматично включатися за допомогою спеціального пристрою для одночасної роботи з компресором.

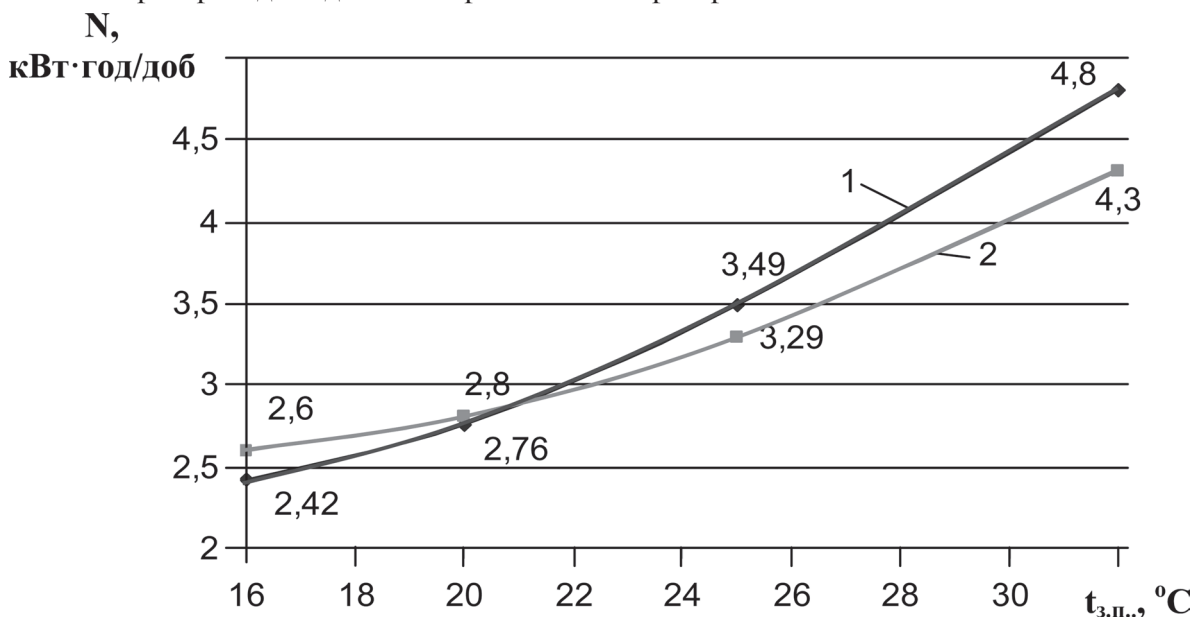


Рисунок 5 — Залежність добового споживання електроенергії ШХ «Інтер-501» із трьохсекційним конденсатором від температури зовнішнього повітря при виключеному (лінія 1) і працюючому (лінія 2) малогабаритному вентиляторі

Теплообмінна поверхня конденсатора кожної моделі побутових холодильників розрахована й експериментально обґрунтована. Під час роботи побутового холодильника (БХП) холодоагент у конденсаторі зазнає фазові перетворення: під час руху в ньому відбувається конденсація пари. За теплоенергетичних показаннями доцільно інтенсифікувати тепловіддачу з частин конденсатора, де холодоагент під час роботи БХП знаходиться в рідкому стані: тут густина його найбільша, а швидкість руху найменша.

Є експериментальні дані про ступінь теплоенергетичної ефективності обдування частин конденсатора з різним фазовим станом в них хладагента за різних значень температури навколишнього середовища.

Дослідження було проведено на працюючому побутовому холодильнику «НОРД-239-7», морозильна і холодильна камери якого були завантажені пакетами-імітаторами харчових продуктів. Для обдування конденсатора з вертикальним розташуванням трубок прийнятий відцентровий вентилятор, який має продуктивність 100 м³/год. Ця модель вентилятора є оптимальною за поєднанням продуктивності, енергоспоживання і габаритів. Дослідження проводилися в атестованій термокамері, в якій встановлювалася і підтримувалася протягом необхідного часу температура 16, 25, 32, 38, 42 °С. При різних уставках терморегулятора, при кожному зі зазначених значень температури навколишнього середовища реєструвалася добова витрата електроенергії і розраховувалися на основі хронометражу роботи і стоянки компресора величини його коефіцієнта робочого часу (КРЧ).

Дослідження за прийнятою методикою проводилося без обдування конденсатора, з обдувом усієї його поверхні, з обдувом окремо кожної з трьох умовно виділених секції (I, II, III — у напрямку руху холодоагенту). Секції (в кожній по 4 вертикальні трубки) були розділені вертикальними перегородками для відокремлення повітряних потоків, які створювалися вентилятором.

За даними досліджень побудовані наведені на рис. 6 графічні залежності добового споживання електроенергії побутовим холодильником «НОРД-239-7» від температури навколишнього середовища при середній уставці терморегулятора, де лінії: 1 — без обдування конденсатора, 2 — обдув всій поверхні конденсатора, 3 — обдув I-ї секції конденсатора, 4 — обдув II-ї секції, 5 — обдув III-ї секції.

Як видно з рис. 6, лінія 1 перетинає лінії 2–5. Точки перетину — це критичні значення температури навколишнього середовища, нижче якої обдув конденсатора призводить до перевитрати електроенергії внаслідок споживання її вентилятором.

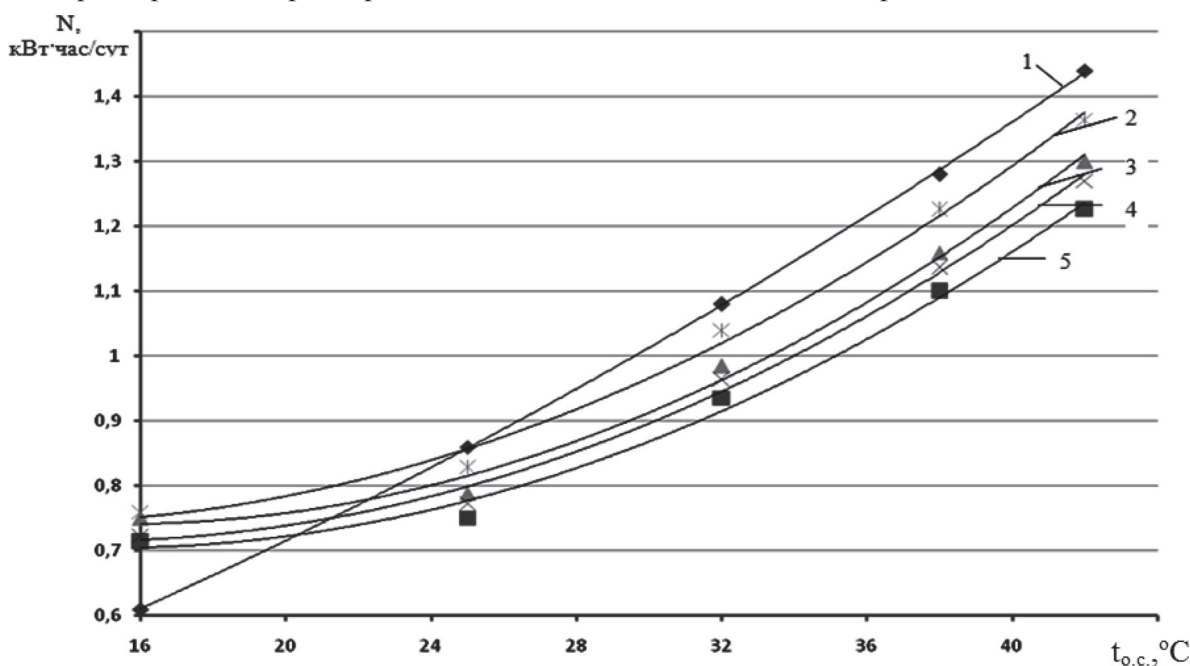


Рисунок 6 — Залежність добового споживання електроенергії холодильником «НОРД-239-7» від температури навколишнього середовища при середній уставці терморегулятора

При температурі навколишнього середовища вище критичних величин найбільше зниження витрат електроенергії і чисельних значень КРЧ забезпечується незалежно від температури навколишнього середовища і уставки терморегулятора, при охолодженні конденсатора, де холодоагент знаходиться в рідкому стані.

Таким чином, за даними експериментальних досліджень, найбільш доцільний за теплоенергетичних показників обдув малогабаритним вентилятором останніх витків конденсатора. Направляти на них повітряний потік, створюваний вентилятором, можна за допомогою дифузора.

Висновки. У статті поставлено наголос на використанні торговельного холодильного обладнання модельного ряду «Інтер», як того обладнання, що дозволяє підвищення енергоефективності, призводить до зниження витрат на енергоносії, підвищення рентабельності. При цьому процес раціонального енергоспоживання доцільно розглядати в межах функціонування системи енергетичного менеджменту підприємства.

Список літератури / References

1. Ржесік К. А., Брюшков Р. В. Експериментальні дослідження теплоенергетичної ефективності обдуву конденсатора торгового холодильника. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2012. Вип. 29. С. 2012. С. 185–192 р.

Rzhesik, K. A., Briushkov, R. V. (2012). *Eksperymentalni doslidzhennia teploenerhetychnoi efektyvnosti obduvu kondensatora torhovooho kholodylnyka* [Experimental studies of the heat and power efficiency of blowing the condenser of a commercial refrigerator]. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv* [Equipment and technologies of food production], no. 29, pp. 185–192.

2. Lir, U. E. & Pys'menna V. Ye. (2010). *Ekonomichnyj mehanizm realizacii polityky energoeffectyvnosti v ukrajini* [Economical mechanism of realization policy of energy efficiency]. University of economics and forecasting, 208 p

3. Macenko, O. M., Ovcharenko, D. M. (2014). *Ekonomichni zasady organizacii menedjmentu z energozberejennja pidpryemstv* [The economic principles of energy management of engineering enterprises]. Economic space, no. 85, pp. 246–255.

4. Barhatow, O. M. (2013). *Problemy energozberezhennja v ukrajini* [Energy saving problems in Ukraine]. Journal of Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, no. 142, pp. 88–89.

5. Shaposhnikov, A. P. (2010). *Kompensatsiia reaktyvnoi potuzhnosti yak efektyvnyi metod ekonomii elektroenerhii* [Reactive power compensation as an effective method for saving energy]. Elektrik, no. 5–6, pp. 29–31.

6. Dzhedzhula, V. V. (2014). *Enerhozberzhennia promyslovykh pidpryemstv: metodolohiia formuvannia, mekhanizm upravlinnia* [Energy saving of industrial enterprises: methodology of formation, management mechanism]. VNTU Vinnytsia, Ukraine.

7. Kaletnik, H. M. (2017). *Orhanizatsijno-ekonomichni zasady orhanizatsii biopalyvnoho vyrobnytstva u Vinnyts'kij oblasti na bazi UladovoELiulynets'koi DSS* [Organizational and economic principles of biofuel production organization in the Vinnytsia region on the basis of Uladovo-Lyulinets DSS]. Ekonomika. Finansy. Menedzhment: aktual'ni pytannia nauky i prak-tyky, no. 5. pp. 7–25.

8. Bevz, V. V. (2011). *Rozvytok mekhanizmu enerhozberzhennia na pidpryemstvakh kharchovoi promyslovosti* [Development of the mechanism of energy conservation at food industry enterprises]. Vcheni zapysky: zb. nauk. prats'. Kyiv, no. 13. pp. 169–173.

9. Bojko, N. O. (2012). *Obgruntuvannia efektyvnoho vplyvu enerhozberihaiuchykh tekhnolohij na ekonomichnu bezpeku pidpryemstv* [Substantiation of effective influence of energy-saving technologies on the economic safety of enterprises], Visn. ekonomiky transportu i pro-myslovosti, no. 39. pp. 7–10.

10. Mazur, I. M. (2015). Analysis of the energy security of the enterprise: theoretical and practical principles. *Effective economy*, no. 3. pp. 1–10.

Цель — обоснование возможности снижения энергопотребления при работе торгового холодильного оборудования модельного ряда «Интер» путем интенсификации теплообмена на поверхности их конденсатора.

Методы. В процессе исследований использованы экспериментальные методы научного исследования, содержащие обобщение и анализ литературных источников, методы системного анализа и т. д..

Результаты. Приведены тепловизионные изображения двухсекционного конденсатора с помощью тепловизора в моменты пуска и остановки компрессора холодильного шкафа при, соответственно, неработающем и работающем вентиляторе обдува источников тепла (при температуре окружающей среды 25 °С). Сделан вывод о том, что полученные экспериментальные данные соответствуют логике теплофизических процессов, которые происходят в холодильной машине: при постоянном циклическом режиме работы компрессора температура на поверхности источников тепловыделения в момент его остановки превышает значение в момент его пуска (как при отключенном, так и работающем компактном вентиляторе); независимо от условий охлаждения, наиболее нагретыми являются первые от компрессора витка конденсатора; обдув конденсатора компактным вентилятором приводит к существенному снижению температуры на поверхности его витков в обеих параллельно расположенных секциях. Установлено, что суточный расход электроэнергии при работе ШХ «Интер» без обдува и с обдувом конденсатора компактным вентилятором в интервале температуры воздушной среды в термокамере варьируется 16...32 °С. Предложено использование холодильного шкафа «Интер-501» с трехсекционным конденсатором для обеспечения достаточной поверхности теплообмена с окружающей средой. Отмечено, что обдув конденсатора в ШХ «Интер-501» малогабаритным вентилятором мощностью 15 Вт с производительностью 100 м³/год обеспечивает существенное снижение температуры его поверхности и, как следствие, повышение эффективности работы холодильной машины, снижение суточного потребления электроэнергии, несмотря на потребление ее работающим вентилятором. При этом теплоэнергетическая эффективность обдува конденсатора повышается с ростом температуры наружного воздуха.

Ключевые слова: энергосбережение, энергосберегающие технологии, эффективность производственной деятельности, дефлектор, торговое холодильное оборудование.

Objective. The purpose of the article is to substantiate the possibility of reducing energy consumption during the operation of commercial refrigeration equipment model range «Inter» by intensifying heat transfer on the surface of their condenser.

Methods. In the process of research, experimental methods of scientific research were used, which include generalization and analysis of literature sources, methods of system analysis, etc.

Results. The thermal imaging images of the two-section condenser by means of the thermal imager at the moments of start and stop of the compressor of a refrigerating case at, accordingly, the not working and working fan of blowing of heat sources (at ambient temperature of 25°C) are resulted. It is concluded that the obtained experimental data correspond to the logic of thermophysical processes occurring in the refrigeration machine: at constant cyclic mode of operation of the compressor, the temperature on the surface of heat sources at the time of its stop exceeds the value at the time of its start (both off and small fans); regardless of the cooling conditions, the most heated are the first turns of the condenser from the compressor; blowing the condenser with a small fan leads to a significant decrease in temperature on the surface of its turns in both parallel sections. It is established that the daily consumption of electricity during operation of refrigerator Inter» without blowing and with blowing of the condenser by the small-sized fan in a range of temperature of air environment in the thermal chamber varies from 16... 32 °C. The use of refrigeration cabinet «Inter-501» with a three-section condenser to ensure a sufficient heat exchange surface with the environment is proposed. It is noted that blowing the condenser in refrigerator «Inter-501» with a small fan with a capacity of 15 W with a capacity of 100 m³/h provides a significant reduction in its surface temperature and, as a consequence, increase the efficiency of the refrigerator, reduce daily electricity consumption, despite its consumption fan. The thermal energy efficiency of the condenser blows increases with increasing ambient temperature.

Keywords: energy saving, energy saving technologies, production efficiency, deflector, commercial refrigeration equipment.