

УДК 621.565

Визначення та дослідження температурних полів морозильних скринь

І. О. Константинов[✉], М. Г. Хмельнюк, О. Ю. Яковлева

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна 112, Одеса, 65039

✉ e mail: ikonstantinov9@gmail.com

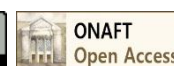
Проведено експериментальне дослідження теплових полів морозильного ларя з моніторингом температур по корпусі теплоізолюючих огорожень при роботі системи. Описано теплові поля ларя при пікових навантаженнях. Обґрунтовано теплові навантаження на корпус в залежності від будови морозильного ларя на прикладі моделі M400S+.

Ключові слова: холодильне обладнання; температура; теплопритоки; навантаження; потужність.

© The Author(s) 2018. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Вступ

Сучасний ринок торговельного холодильного обладнання пріоритетом в створенні продукції, окрім економічних та технічних характеристик вимагає унікальності моделі, форми габаритів та адаптивності обладнання під клієнта. Відповідно цьому постійно проводяться розробки нових моделей, модифікація існуючих та зміна температурних режимів.

З огляду на дані аспекти та об'єми роботи виникає потреба у пришвидшенні підбору обладнання та створенні експериментальних моделей.

При створенні торгового холодильного обладнання, велика увага приділяється численним експериментальним тестів та перевірки в різних кліматичних класах. Це зумовлено розміщенням і конструкціями основних теплообмінників, невеликими габаритами, різноманітністю асортименту продукції, крапельною конденсацією, та іншими аспектами які значно ускладнює процес розрахунку.

Розробка моделі і методики розрахунку для широкого асортименту продукції є важливо і актуальною задачею при створенні нового обладнання. Розрахунки дозволять значно зменшити час на експериментальні досліді та полегшити процес підбору обладнання.

Однак для розробки моделі розрахунку і підбору важливим є реальне експериментальне визначення теплопритоків та теплових(температурних) полів обладнання.

2. Матеріал і методи

В лабораторних умовах ТОВ «ЈUKA-Інвест» Проведено низку дослідів та обґрунтовано виявлені температури.

Дослідницька дільниця побудована з дотриманням всіх стандартів відповідно ISO 23953-2:2015(E) і обладнана сучасною системою моніторингу даних. Все обла-

днання пройшло сертифікацію, та відповідає міжнародним стандартам. Датчики температури, та вологості мають частоту оновлення два рази на секунду. Кліматичний клас в лабораторії підтримує двоканальна система вентиляції в яку включено зволожувач, електричні тенти та холодильні системи. Для контролю всім обладнанням та обробкою даних використовується система GECO (рисунок 1)

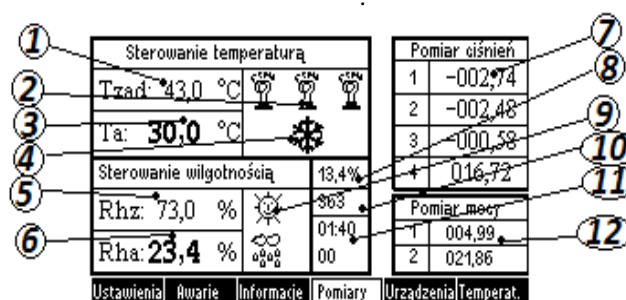


Рисунок 1 – Система контролю тепло-вологісних режимів

На екрані можна переглянути наступні компоненти:

1. Температура, встановлена користувачем, що контролер стабілізує.
2. Малюнок, що вказує на те, що нагрівач включений
3. В даний час вимірювана температура в камері
4. Малюнок, що вказує на те, що компресор був приєднаний.
5. Значення вологості, встановлене користувачем, що регулятор стабілізується.
6. В даний час вимірювана вологість в камері.
7. Значення вимірюваного тиску. Тиск подано в одиницях, в яких датчики тиску найчастіше масштабуються в смужках

8. Значення другої вологості, виміряне з другого датчика вологості

9. Кількість днів, що залишилися, для дозволу на камеру.

10. Малюнки, що вказують на те, що зволожувач та сушильна установка були прикріплені.

11. Інформація про час, що залишився до кінця тесту, та номер тесту, який зараз виконується. Якщо в даний момент не додано жодного тесту, поле тут порожнє.

12. Вимірювання потужності.

Дана система включає в себе термочутливий елемент для зняття показників температури навколишнього середовища, 12 термочутливих елементів для моніторингу температур в ході дослідів, датчик вологості для зняття виміру вологістних показників. Всі датчики мають частоту оновлення 0.5 секунди, та похибку виміру 0.2 °C.

Також дана система включає в себе додаткове ПО «TEST» для виведення результатів на монітор ПК.

Для визначення швидкості руху повітря використовується термоанемометр «testo 405i» з двома чутливими елементами (руху повітря та температури) з додатковим ПО для виведення даних «Smart probes».

Діапазон вимірювань

0 ... 15 м / с

(Індикація 0 ... 30 м / с)

-20 ... + 50 ° C

Похибка

± (0,1 м/с + 5% від змін. Значення в діапазоні: 0...2 м/с)

± (0,3 м/с + 5% від змін. Значення в діапазоні: 2...15 м/с)

Для збору інформації був підібраний морозильний ларь моделі M400S+. Відмічаючи особливості холодильної системи, потрібно зауважити, що вона не має ніяких відмінностей від ряду інших моделей M400. Цей ларь працює на фреоні марки R404A має компресор потужністю 240 Вт., Стальну трубку конденсатора довжиною 22 метри та діаметром 4.7мм., алюмінієву трубку випарника довжиною 28.8 метра та діаметром 8 мм., капілярною трубкою довжиною 3.3 метри та внутрішнім діаметром 0.9 мм., теплообмінником для зняття перегріву з оцинкованої трубки діаметром 4.7мм та довжиною 4.36 метри, та рекуперативним теплообмінником типу труба в трубі. Данна модель призначена для роботи в третьому кліматичному класі, а сама при температурі навколишнього середовища 25°C та вологістю 60%.

2.1 Умови проведення дослідів

Оскільки даний клас холодильного обладнання не являється стаціонарним, та може бути розташованим в різних температуро-вологістних умовах, існують дев'ять, заздалегідь обумовлених кліматичних класів (параметрів навколишнього середовища). Найбільш розповсюдженими кліматичними класами, що використовуються на території України та Європи являються класи №3 t-25°C; 60% вологості, та №7 t-35°C; 75% вологості.

Температура в камері відповідає температурі зберігання продукту. Більшість ларів призначені для зберігання замороженого продукту (морозиво, швидкомо-

рожені овочі та фрукти, напівфабрикати, то що) та відповідає температурному діапазону -18...-24°C.

Таблиця 1 – Кліматичні класи

Кліматичний клас випробувальної ділянки	Температура сухого термометра	Відносна вологість	Точка роси	Маса водяної пари в сухому повітрі
№ п/п	°C	%	°C	g/kg
0	20	50	9,3	7,3
1	16	80	12,6	9,1
2	22	65	15,2	10,8
3	25	60	16,7	12
4	30	55	20	14,8
6	27	70	21,1	15,8
5	40	40	23,9	18,8
7	35	75	30	27,3
8	23,9	55	14,3	10,2

3. Результати досліджень

3.1 Температури на скляних створах морозильної скрині

При розгляді будови камери та розміщення тари було виявлено що об'єм повітря між склом та лінією завантаження «мертвий» об'єм (об'єм повітря що знаходиться в проміжку від лінії завантаження до корони) виступає теплоізолюючим шаром, тому тепловий потік буде прийнятний як теплопередача від повітря «мертвого» об'єму до повітря «корисного» об'єму (об'єм що використовується для завантаження продукцією та визначається по висоті ларя від дна до лінії завантаження).

В зв'язку з тим, що вітрина має радіусні скляні створки розміщені під кутом, було прийняте рішення, за для визначення залежності зміни температури від висоти розміщення скла та визначення середньої температури, розмістити по площі створок 12 датчиків температури.

Враховуючи вище перераховані особливості, дослідницьким методом в лабораторних умовах було виявлено наступні температури на площах ларя (рисунок 2, 3):

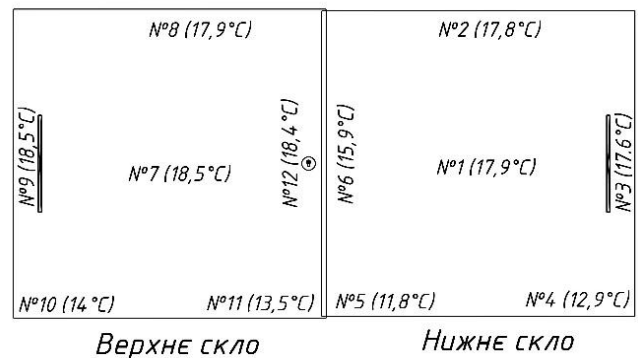
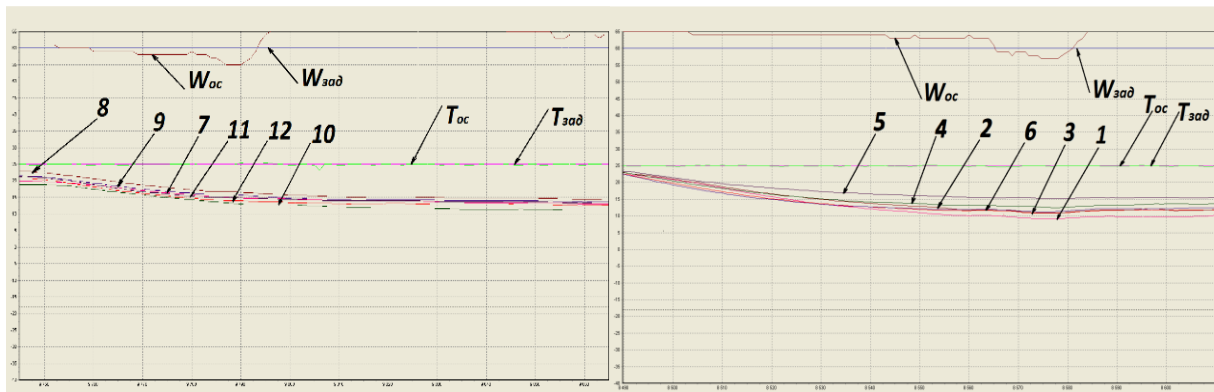


Рисунок 2 – Розміщення термометрів та температури на скляних створах



W_{oc} – вологість оточуючого середовища; $W_{зад}$ – задана вологість оточуючого середовища; T_{oc} – температура оточуючого середовища; $T_{зад}$ – задана температура оточуючого середовища; 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12 - нумерація графіків відповідно розміщенню на скляних створах.

Рисунок 3 – Графік залежності показань від часу на скляних створах

Результати аналізу виявили максимальний перепад температури до $6,7^{\circ}\text{C}$. це свідчить про залежність температури від висоти розташування чутливого елемента на склі при природньому русі повітря в камері.

3.2 Температури по корпусу в зоні конденсатора та в компресорному відсіку

При розгляді теплопритоків потрібно відмітити специфіку будови даного агрегату. Оскільки в ларя конденсатор розміщений на зовнішньому корпусі, температура стінки в зоні конденсатора буде рівною температурі конденсації, частина зовнішнього корпусу буде проводити тепло від конденсатора, і тому в цих зонах температура буде наближено середньоарифметичною між температурою навколишнього середовища, та температурою конденсації, а температура з боку компресорного відсіку буде на $2-5^{\circ}\text{C}$ вищою від температур на інших стінках за рахунок температури компресора та предконденсатора (рисунки 4, 5).

А так як в компресорному відсіку розташований електродвигун з крильчаткою для відведення тепла від предконденсатора та охолодження компресора, температура в цьому об'ємі буде значно вищою.

Виходячи з розгляду будови ларя та розташування намотки конденсатора, логічним заключенням буде висновок що в зоні розміщення конденсатора на корпусі температура буде значно вищою від температури навколишнього середовища, а зважаючи на теплофізичні властивості матеріалу, температура буде розповсюджуватись по корпусі.

В зонах віддалених від конденсатора, за рахунок значного перепаду між температурою на корпусі, та температурою в охолоджуваному об'ємі, з урахуванням товщини ізоляції температура може опускатися нижче температури навколишнього середовища.

Розглядаючи розташування компонентів холодильної системи в компресорному відсіку можна зробити висновок що за рахунок теплопритоків від теплообмінника для зняття перегріву та компресора, температура в об'ємі компресорного відсіку буде значно вищою, а за рахунок динамічного руху повітря рівною по всіх площках.

В ході проведення тесту були розміщені датчики температури по висоті скрині закріплені алюмінієвою стрічкою HPX ALU/PET50100 на відстані між собою 100 мм та ізольовані від зовнішніх теплопритоків термоізоляційною каучуковою стрічкою Insul 50*3мм.

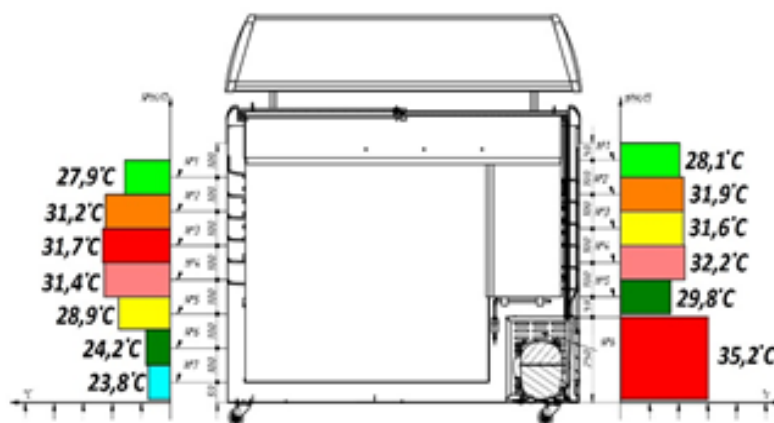
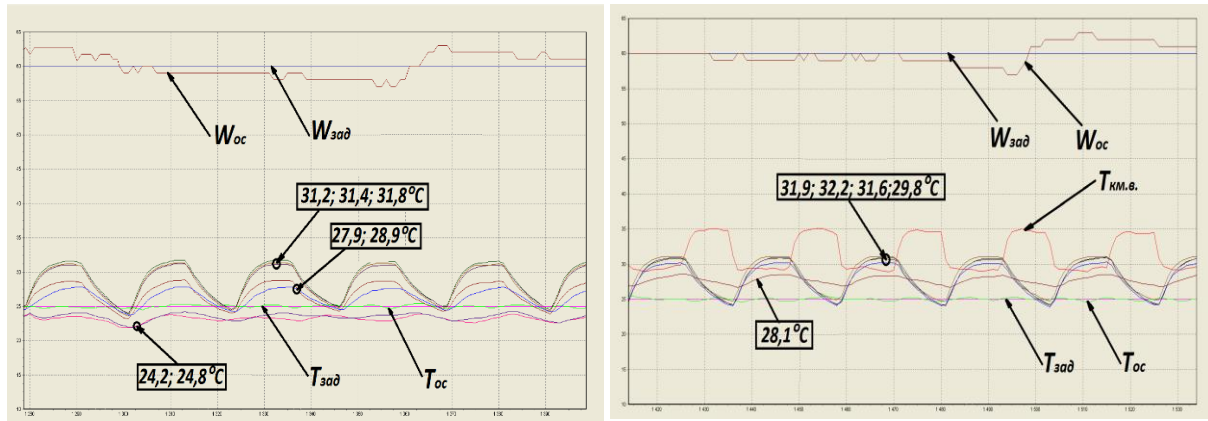


Рисунок 4 – Температури по корпусу морозильної скрині та в компресорному відсіку



W_{oc} – вологість оточуючого середовища; $W_{зад}$ – задана вологість оточуючого середовища;
 T_{oc} – Температура оточуючого середовища; $T_{зад}$ – задана температура оточуючого середовища;
 $T_{км.в.}$ – температура в компресорному відсіку. $T_{км.в.} = 35.2^{\circ}C$

Рисунок 5 – Графік залежності показань температури від часу по корпусу морозильної скрині та в компресорному відсіку

Оскільки в компресорному відсіку розташований електродвигун з крильчаткою для відведення тепла від предконденсатора та охолодження компресора, температура в цьому об'ємі буде значно вищою.

В зв'язку з цим прийняте рішення дослідницьким методом визначити швидкість руху повітря за для послідууючого розрахунку теплопритоків та теплообмінника для зняття перегріву.



Рисунок 6 – Зняття заміру руху повітря в компресорному відсіку

Дослід проводився за допомогою термоанемометра «testo 405i» (рисунок 6).

Підсумком даного експерименту є підтвердження додаткового теплового навантаження на охолоджуваний об'єм від конденсатора та компресорного відсіку, та відбір тепла через ізоляцію корпусу.

3.3 Теплопритоки через дно

З огляду на будову компресорного відсіку та інтенсивного руху повітря, температура зовнішньої частини

дна буде не рівномірною, і буде зменшуватися по довжині ларя (рисунок 7).

При огляді конструкції скрині потрібно зазначити що на всі морозильні агрегати даного типу встановлюються коліщата чи опорні ніжки. З огляду на дану особливість, та наявність можливості циркуляції повітря між компресорним відсіком та об'ємом повітря під скринєю, можна передбачити, що температура зовнішньої частини дна буде не рівномірною, і буде зменшуватися по довжині ларя. Тест проведено аналогічно заміру теплового навантаження на корпус.

За для наглядного прикладу теплового навантаження, на дні охолоджуваного об'єму, паралельно розташовані датчики.

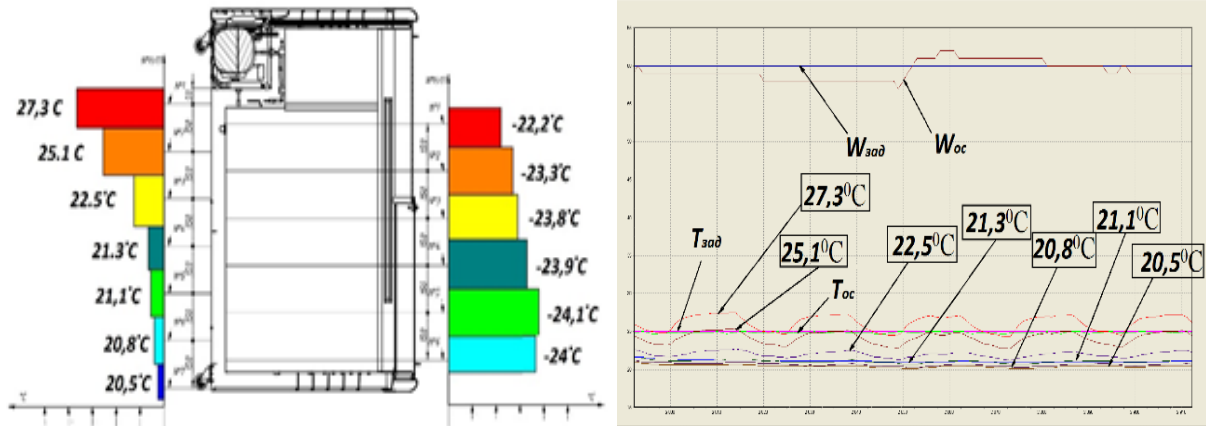
3.4 Моніторинг температур випарника

З огляду на специфікацію випарника (листочувний), було прийняте рішення зняття температурних замірів по площі даного теплообмінника та графічно

зображено різниці температур по висоті випарника (рисунки 8, 9).

3.5 Температури в охолоджуваному об'ємі

Температури повітря в охолоджуваному об'ємі в залежності від розміщення термочувливих елементів по висоті завантаження морозильної скрині приведенні на рисунку 10.



$W_{оч}$ – вологість оточуючого середовища; $W_{зад}$ – задана вологість оточуючого середовища;
 $T_{оч}$ – температура оточуючого середовища; $T_{зад}$ – задана температура оточуючого середовища.

Рисунок 7 – Показники температур та графік залежності температур від часу на дні морозильної скрині

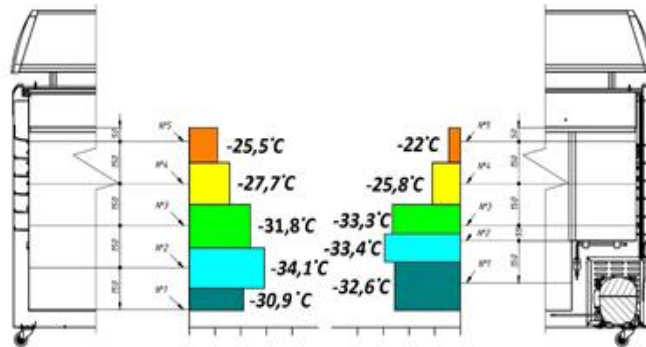
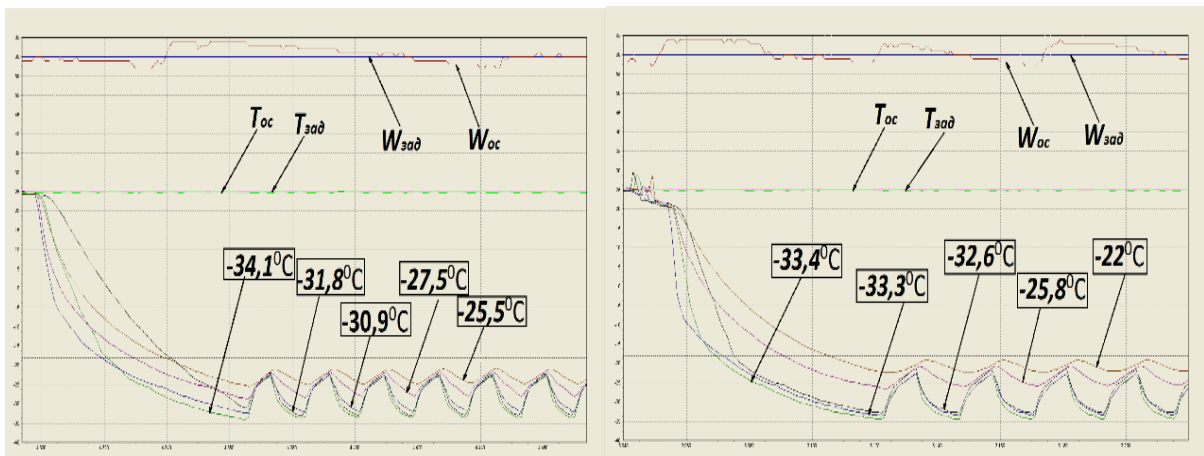
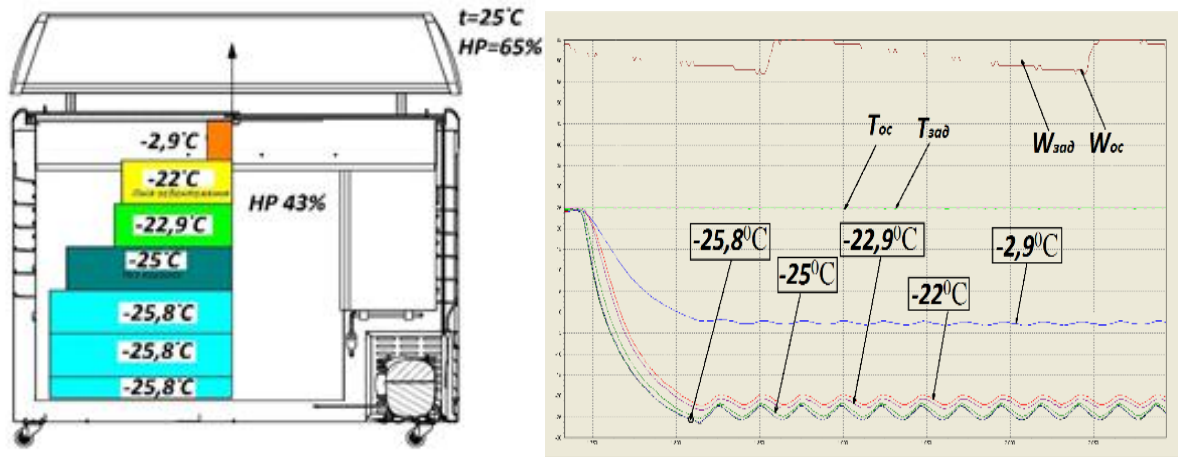


Рисунок 8 – Показники температур листочувного випарника



$W_{оч}$ – вологість оточуючого середовища; $W_{зад}$ – задана вологість оточуючого середовища;
 $T_{оч}$ – Температура оточуючого середовища; $T_{зад}$ – задана температура оточуючого середовища.

Рисунок 9 – Графіки залежності показників температури від часу



W_{oc} – вологість оточуючого середовища; $W_{зад}$ – задана вологість оточуючого середовища;
 T_{oc} – температура оточуючого середовища; $T_{зад}$ – задана температура оточуючого середовища.

Рисунок 10 – Показники температур та графік залежності показань від часу в охолоджуваному об'ємі

Нижча температура повітря в нижній частині обгрунтовується природнім (гравітаційним) рухом повітря в середині камери. Вища температурна в місці розташування тари обгрунтовується додатковими теплопритоками від «корзин». Найвища температура в під «короною» підтверджує що «мертвий об'єм» виступає теплоізоляційним прошарком.

Отримані результати дослідів підтверджують нерівномірність розподілу теплового навантаження по всім площам ларя через особливості конструкції агрегату та дозволяють розрахувати теплове навантаження на випарник зональним методом.

Температури по висоті в охолоджуваному об'ємі дозволяють графічно відобразити заповнення холодним повітрям об'єму скрині.

Графічне зображення температур по висоті з зовнішньої та внутрішньої сторін теплоізолюваних стінок відображають зони збільшених теплових навантажень. Загальний результат експериментів надає змогу розробити та прорахувати загальне теплонадходження до охолоджуваного об'єму морозильної скрині.

Висновки

Проведені дослідів надають уявлення про температурні поля морозильної скрині M400S+ з урахуванням

особливостей будови, виявлено недоліки та переваги даної моделі

Отримані результати експериментів надають можливість визначити теплові поля комерційного холодильного обладнання, визначити місця надмірного теплового навантаження та можливість збору вихідних даних для початку створення єдиної моделі розрахунку торгового холодильного обладнання даного класу.

Література

1. ISO 23953-2:2015(E) Refrgerated display cabinetes - Part 2: Classification, raquirements and test conditions - Amendment 1. (Electronic source) Date of access: 03 October2018. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:23953:-2:ed-2:v1:en>
2. Ecodesign for commercial refrigeration. Technical Proposals. (2013). (Electronic source) P. 108. Date of access: 03 October2018. Available at: http://susproc.jrc.ec.europa.eu/comrefrig/docs/COMM_REFRIG_PUBLISHED_BKG_DOC%20-%202014%20August%2026.pdf
3. Juka. (Electronic source). Date of access: 03 October2018. Available at: <https://juka.ua/>

Отримана в редакції 19.09.2018, прийнята до друку 04.12.2018

Field measurements and analysis of supermarket refrigeration low temperature units

I. Konstantinov[✉], M. Khmelniuk, O. Yakovleva

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatna st., Odessa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: ikonstantinov9@gmail.com

Conventional cooling technologies are energy intensive, which makes supermarkets the most electricity-intensive type of commercial building, which causes the greater part of their greenhouse gas emissions. Making refrigeration sustainable, as a result, demands a system approach that not only fast-tracks the move from HFCs to natural refrigerants, but

also considers and prioritize the energy. Designers, manufacturers, contractors and operators of refrigeration systems must think through the skills required to not only install new technology, adopting to the customer needs but to maintain it in the future dynamic environment. This study is based on field measurements which were carried out in LLC "JUKA-Invest" laboratory. A number of experiments are carried out over pilot units and the detected temperatures were validated. The research site is developed by specifications, guidelines or characteristics that can be used consistently to ensure that materials, products, processes and services are fit for their purpose in accordance with ISO 23953-2: 2015 (E). Pilot Units are equipped with a modern data monitoring system. All equipment has been certified and complies with international standards. This part of the study investigates the performance of the freezer compartment M400S+. Using the field measurements, low temperature level cooling demands and COPs are calculated for peak loads, filtered and averaged to monthly values. The temperature fields are determined taking into account the features of the unit structure, revealing the disadvantages and advantages for tested pilot unit. The obtained study results make it possible to determine the thermal fields for commercial refrigeration equipment, to determine the places of excessive thermal load and the ability to collect the input data to start the creation of a single model for calculating the commercial refrigeration equipment for low temperature units.

Key words: *Low Temperature Units for Supermarkets; Temperature; Heat Inflows; Peak Loads; Power.*

References

1. ISO 23953-2:2015(E) Refrsgerated display cabinetes - Part 2: Classification, raquirements and test conditions - Amendment 1. (Electronic source) Date of access: 03 October2018. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:23953:-2:ed-2:v1:en>
2. Ecodesign for commercial refrigeration. Technical Proposals. (2013). (Electronic source) P. 108. Date of

access: 03 October2018. Available at: http://susproc.jrc.ec.europa.eu/comrefrig/docs/comm_refrig_published_bkg_do%20-%202014%20august%2026.pdf

3. Juka. (Electronic source). Date of access: 03 October 2018. Available at: <https://juka.ua/>

Received 19 September 2018
Approved 04 December 2018
Available in Internet 30 December 2018