

УДК 004.94(075.8)

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2\(33\).222-230](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2(33).222-230)

Д.М. Лужков, асп., С.І. Осадчий, проф., д-р техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна
e-mail: srg2005@ukr.net

Імітаційне моделювання роботи холодильного устаткування фірми Danfoss у складі оптимальної двоканальної системи стабілізації температури повітря у холодильній камері супермаркету

Мета статті полягає у розробці алгоритму оцінювання характеристик холодильного коефіцієнту обладнання фірми Danfoss, яке функціонує у складі оптимальної двоканальної системи стабілізації повітря при наявності випадкових корисних сигналів збурень та завад. Алгоритм складається з двох етапів. На першому етапі на основі результатів структурної ідентифікації та синтезу оптимальної системи стабілізації виконується імітаційне моделювання роботи холодильного устаткування. На другому етапі, на основі результатів імітаційного моделювання у вигляді кривої зміни холодильного коефіцієнту оцінюється ефективність холодильного устаткування.

хладагент, холодильний коефіцієнт, імітаційна модель, передаточна функція, ефективність

Д.М. Лужков, асп., С.І. Осадчий, проф., д-р техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Имитационное моделирование работы холодильного оборудования фирмы Danfoss в составе оптимальной двухканальной системы стабилизации температуры воздуха в холодильной камере супермаркета

Цель статьи заключается в разработке алгоритма оценки характеристик холодильного коэффициента оборудования фирмы Danfoss, которое функционирует в составе оптимальной двухканальной системы стабилизации воздуха при наличии случайных полезных сигналов возмущений и помех. Алгоритм состоит из двух этапов. На первом этапе на основе результатов структурной идентификации и синтеза оптимальной системы стабилизации выполняется имитационное моделирование работы холодильного оборудования. На втором этапе, на основе результатов имитационного моделирования в виде кривой изменения холодильного коэффициента оценивается эффективность холодильного оборудования.

хладагент, холодильный коэффициент, имитационная модель, передаточная функция, эффективность

Постановка проблеми. Європейським стандартом EN 16001: 2009, прийнятим в більшості країн Євросоюзу, затверджені вимоги до енергоспоживання усіх використовуваних та розроблювальних машин, приладів, устаткування, в тому числі, холодильних установок. Тому актуальним стає завдання оцінки ефективності холодильної техніки, яка входить до складу автоматичної системи керування та функціонує в умовах непередбачуваної зміни температури продуктів, що зберігаються, та параметрів оточуючого середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення публікацій [1, 2, 3, 4] показало, що ефективність функціонування холодильного обладнання традиційно визначають з допомогою холодильного коефіцієнту ϵ_k . Алгоритм визначення цього

коєфіцієнту залежить від класу холодильної машини та зворотного теплового циклу, який реалізовано у ній. Розгляд розповсюджених алгоритмів розрахунку холодильного коєфіцієнту, показав, що всі вони коректно визначають зазначений коєфіцієнт в умовах постійних температур холодоагенту, охолоджуваного середовища та оточуючого середовища.

З іншого боку у статті [5] доведено, що при функціонуванні холодильного обладнання фірми Danfoss в умовах супермаркету усі користі сигнали, збурення та завади належать до нестационарних випадкових процесів. В таких умовах холодильний коєфіцієнт являє собою приклад випадкової функції, числові характеристики якої необхідно визначати методами математичної статистики [6].

Постановка завдання. Стаття присвячена представленню результатів дослідження, спрямованого на розробку нового алгоритму оцінювання характеристик холодильного коєфіцієнту обладнання фірми Danfoss, яке функціонує у складі оптимальної двоканальної системи стабілізації повітря при наявності випадкових корисних сигналів збурень та завад.

Як доведено у роботах [7, 8], структурна схема оптимальної двоканальної системи стабілізації температури повітря у холодильній камері з допомогою апаратури Danfoss (рис. 1) має два багатовимірних входи та один багатовимірний вихід.

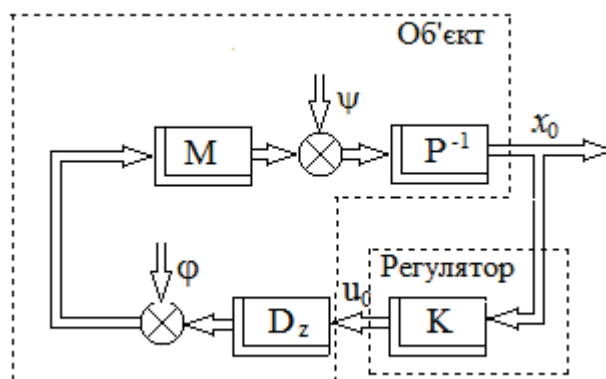


Рисунок 1 – Структурна схема системи стабілізації температури

Джерело: [7, 8]

На входах діють двовимірні вектори збурень ψ та шумів перетворення ϕ , а на виході вектор x_0 вигляду

$$x_0 = [x_1 \quad x_2]^T, \quad (1)$$

x_1 – відхилення температури повітря у холодильній камері від заданого значення;

x_2 – відхилення температури холодоагенту на виході випарника від заданого значення;

індекс / позначає транспонування.

Динаміку збурень та шумів, що виникають при роботі устаткування в умовах супермаркету, вектори яких приведені до одного входу ψ , характеризує [8] двовимірний формувальний фільтр [9] з матрицею передаточних функцій Ψ_0 , яка дорівнює

$$\Psi_0 = \begin{bmatrix} 2.17(s + 6.2 \cdot 10^{-4}) - 0.027(s + 6.2 \cdot 10^{-4}) & \\ 0 & 0.0032(s + 7 \cdot 10^{-4}) \end{bmatrix} \frac{1}{s^2 + 6.8 \cdot 10^{-4}s + 8.4 \cdot 10^{-7}}, \quad (2)$$

де s – комплексна змінна ($s=j\omega$).

Під дією зазначених збурень та шумів відбувається зміна компонентів вектору x_0 , які з допомогою цифрових датчиків температури вимірюються та передаються на вхід регулятора з матрицею дискретних передаточних функцій K вигляду [7]

$$W = \left[\frac{0.085(z-1.05)(z^2-1.47z+0.62)}{(z^2-1.91z+0.91)(z^2-1.73z+0.88)} \quad \frac{0.81(z-0.94)(z^2-1.56z+0.69)}{(z^2-1.91z+0.91)(z^2-1.73z+0.88)} \right], \quad (3)$$

де z – комплексна змінна ($z=e^s$).

На виході регулятора виникає сигнал керування u_0 та подається на керований вхід об'єкта керування. Об'єкт керування складається з двох частин [8]. Перша частина – це ланка чистого запізнення з передаточною функцією D_z

$$D_z = e^{-164s}. \quad (4)$$

Друга частина включає [10] терморегулювальний вентиль, випарник, холодильну камеру з продуктами, динаміку яких характеризує наступна лінеаризована система звичайних диференціальних рівнянь у відхиленнях

$$Px_0 = Mu + \psi, \quad (5)$$

де P – поліноміальна матриця [7], яка характеризує власну динаміку другої частини об'єкта керування, та дорівнює

$$P = \begin{bmatrix} 5.69 \cdot 10^{-7} & 0 \\ 0 & 4.51 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix} (s+0.0012)(s+0.136); \quad (6)$$

M – поліноміальна матриця, яка характеризує вплив зміни пропускної здатності вентиля на компоненти вектору x_0 , та дорівнює

$$M = \begin{bmatrix} -1.76 \cdot 10^{-9}(s-0.44)(s-0.0067) \\ 8.51 \cdot 10^{-9}(s+0.002)(s+0.1) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

У підручнику [2] показано, що для оцінки ефективності холодильного обладнання доцільно та можливо розраховувати холодильний коефіцієнт з рівняння

$$\varepsilon_k = \frac{x_2}{T_0 - x_2}, \quad (8)$$

де T_0 – температура повітря, яке оточує конденсатор.

Аналіз роботи структурної схеми (рис.1) доводить, що в умовах випадкової зміни збурень та шумів, яка є характерною для роботи холодильного устаткування у супермаркеті, холодильний коефіцієнт (8) також змінюється випадковим чином. Отже проблема дослідження полягає у наступному.

За відомими матрицями (2)-(7) та структурною схемою (рис. 1) розробити процедури оцінювання математичного сподівання та дисперсії холодильного коефіцієнту ε_k , а також визначити величини зазначених числових характеристик для обладнання фірми Danfoss в умовах функціонування у супермаркеті.

Виклад основного матеріалу. Оскільки вираз (8) вказує на нелінійний характер зв'язку між значенням коефіцієнту ε_k та коливаннями температур x_2 , T_0 , то розв'язання поставленої задачі доцільно здійснити у два етапи.

Мета першого етапу методом імітаційного моделювання [11] роботи оптимальної двоканальної системи стабілізації температури (рис. 1) отримати реалізацію випадкового процесу зміни холодильного коефіцієнту.

Мета другого етапу – здійснити оцінювання математичного сподівання m_ϵ та дисперсії D_ϵ холодильного коефіцієнту.

Виконання першого етапу здійснене з допомогою інструменту SIMULINK середовища Matlab. В основу імітаційної моделі покладені структурні перетворення схеми, представленої на рис. 1, з метою виключення з імітаційної моделі елементів з передаточними функціями, порядок поліномів-чисельників яких перевищує порядок поліномів-знаменників. Зазначені перетворення ілюструють рисунки рис. 2 та рис. 3.

В результаті першого кроку структурних перетворень (рис. 2) обернена матриця P винесена за коло стабілізації та утворена матриця передаточних функцій об'єкта керування W_u , яка дорівнює

$$W_u = P^{-1}M.$$

На другому кроці структурних перетворень (рис. 3) здійснено заміну кола стабілізації еквівалентним дискретним об'єктом з матрицею передаточних функцій F_x , яка задана виразом

$$F_x = \frac{1}{f_0} \begin{bmatrix} \frac{(z-0.91)(z+0.2)(z-6.03 \cdot 10^{-5})(z^2-1.93z+0.93)(z^2-0.2z+0.046)(z^2-1.73z+0.87)}{(z-7.7 \cdot 10^{-5})(z^2+1.1 \cdot 10^{-4}z+6 \cdot 10^{-9})(z^2-1.1 \cdot 10^{-4}z+6.96 \cdot 10^{-9})} \\ \frac{1.27 \cdot 10^{-3}(z-1.05)(z-0.86)(z-6.03 \cdot 10^{-5})(z^2-1.47z+0.62)}{(z-7.7 \cdot 10^{-5})(z^2+1.1 \cdot 10^{-4}z+6 \cdot 10^{-9})(z^2-1.1 \cdot 10^{-4}z+6.96 \cdot 10^{-9})} \\ \frac{4.45 \cdot 10^{-3}(z+9 \cdot 10^{-5})(z-0.94)(z-1.88)(z^2-1.56z+0.69)}{(z-9.7 \cdot 10^{-5})(z^2+8.5 \cdot 10^{-5}z+2.8 \cdot 10^{-9})(z^2-6.4 \cdot 10^{-5}z+6 \cdot 10^{-9})} \\ \frac{(z-0.94)(z+0.089)(z+9 \cdot 10^{-5})(z^2-1.88z+0.89)(z^2-0.088z+8.88 \cdot 10^{-3})(z^2-1.73z+0.88)}{(z-9.7 \cdot 10^{-5})(z^2+8.5 \cdot 10^{-5}z+2.8 \cdot 10^{-9})(z^2-6.4 \cdot 10^{-5}z+6 \cdot 10^{-9})} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де f_0 – поліном від комплексної змінної z вигляду

$$f_0 = (z+0.2)(z-0.94)(z-0.92)(z^2-1.9z+0.9)(z^2-0.2z+0.048)(z^2-1.73z+0.87).$$

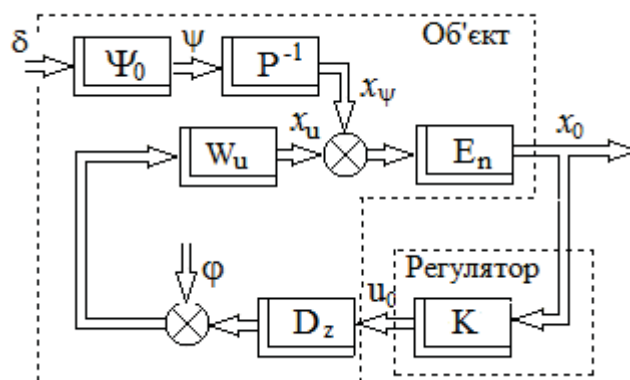


Рисунок 2 – Результат першого етапу структурних перетворень

Джерело: розроблено автором

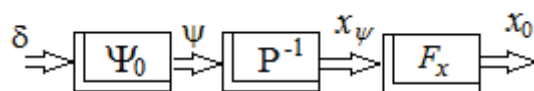


Рисунок 3 – Результат другого етапу структурних перетворень

Джерело: розроблено автором

На вході структурної схеми (рис. 3) діє вектор некорельованих білих шумів одиничної інтенсивності δ , а на виході вектор відхилень температури повітря у холодильній камері та температури хладагену на виході випарника x_0 .

Отриманий таким чином результат дозволив розробити імітаційну модель системи стабілізації температури повітря у холодильній камері, структура якої у позначеннях інструменту SIMULINK представлена на рис. 4. Ця схема має декілька входів та виходів. Перші два входи утворюють генератори білого шуму, які приєднані до підсилювачів Gain, Gain1, та формують на виходах останніх випадкові процеси δ_1 , δ_2 , які утворюють вектор δ (рис. 4)

$$\delta = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix}$$

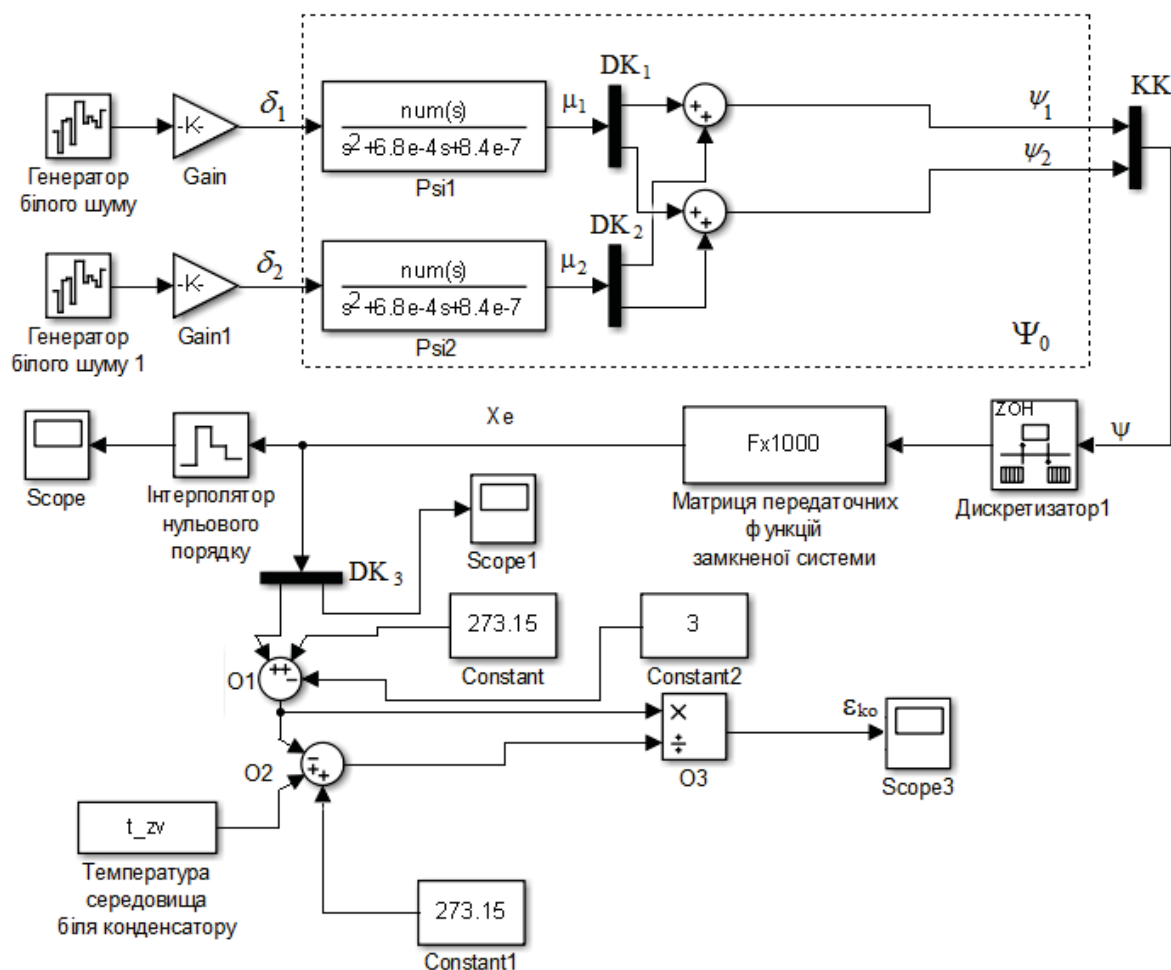


Рисунок 4 – Структурна схема імітаційної моделі

Джерело: розроблено автором

Випадкові процеси δ_1 , δ_2 подаються на входи формувального фільтру. Моделювання матриці передаточних функцій даного фільтру Ψ_0 здійснене з допомогою блоків передаточних функцій (Transfer Fcn) позначених на схемі (рис. 4) як Psi1, Psi2. На вході блоку Psi1 діє випадковий процес δ_1 , а на виході вектор сигналів μ_1 . Вектор μ_2 формується на виході блоку Psi2 за аналогічними до блоку Psi1 правилами. З допомогою блоків деконкатенації (Demux) DK₁ та DK₂ вектори μ_1 , μ_2 розділяються на компоненти. Компоненти подаються на входи блоків складання, на виходах яких визначаються сигнали збурень ψ_1 та ψ_2 . Блок конкатенації (Mux) KK формує вектор збурень ψ .

Вектор збурень подається на вхід пристрою зміни часу моделювання (Rate Transition), позначеного на схемі рис. 4 як Дискретизатор 1, де відбувається перетворення аналогового сигналу на дискретний. Дискретне збурення подається на вхід блоку «Матриця передаточних функцій замкненої системи». Зазначена матриця реалізована з допомогою блоку LTI System, який зв'язано з об'єктом Fx1000, що зберігає матрицю (9) та знаходиться у робочому просторі Matlab. Використання цього об'єкту для моделювання роботи замкненої системи керування з допомогою SIMULINK запобігає виникненню арифметичних циклів накопичення похибок інтегрування, як це доведено у книзі [12].

На виході об'єкту Fx1000 виникає вектор X_e , який через інтерполятор нульового порядку подається на вхід осцилографу Scope, а також на вхід блоку деконкатенації DK₃, де відбувається розділення вектору X_e на компоненти. Перший компонент, відхилення температури повітря у холодильній камері від заданого значення, передається до осцилографу Scope1. Другий компонент, зміна температури хладагенту поступає на входи блоку складання O1.

Блок O1 призначено для обчислення абсолютної температури хладагенту у оптимальній системі стабілізації. Для здійснення цієї операції на його вхід подаються другий компонент вектору X_e , середня температура хладагенту 3°C та температура абсолютного нуля -273.15°C. Знайдена абсолютна температура подається на входи обчислювачі O2 та O3.

Обчислювач O2 призначений для розрахунку знаменника виразу (8) для оптимальної системи, тому на його виходах окрім абсолютної температури хладагенту діють температура повітря навколо конденсатору холодильної установки та температура абсолютного нуля. Температура повітря формується з допомогою блоку From Workspace, позначеного «Температура середовища біля конденсатору» за даними з матриці t_{zv} , яка повинна знаходитись у робочому просторі Matlab. Обчислювач O3 призначений для розрахунку холодильного коефіцієнту оптимальної системи алгоритмом (8). Розраховане значення ϵ_{ko} подається на вхід осцилографу Scope3 та зберігається у робочому просторі Matlab у вигляді матриці Y , перший стовпчик якої зберігає відмітки часу, а другий відповідні значення ϵ_k . Кількість рядків n матриці Y відповідає часу моделювання роботи системи.

Оцінювання математичного сподівання та дисперсії холодильного коефіцієнту на другому етапі необхідно здійснювати з допомогою відомих [9] співвідношень

$$m_\epsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y(i,2), \quad (10)$$

$$D_\epsilon = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} [Y(i,2) - m_\epsilon]^2. \quad (11)$$

В результаті моделювання роботи оптимальної системи стабілізації температури повітря з допомогою імітаційної моделі (рис. 4) та відтворення графіку

зміни холодильного коефіцієнту існуючої системи отримано криві, які представлені на рис.5.

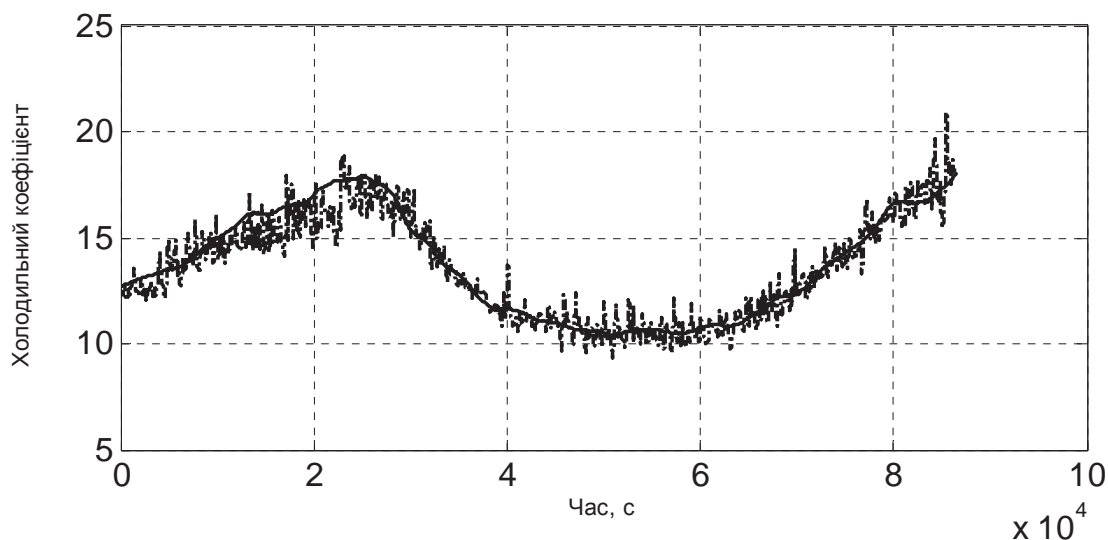


Рисунок 5 – Графіки зміни холодильних коефіцієнтів у оптимальній (лінія) та реальній (пунктир) системах

Джерело: розроблено автором

Вигляд зазначених графіків доводить, що під час роботи холодильного устаткування відбуваються випадкові коливання холодильного коефіцієнту, які виникають внаслідок випадкових коливань температур холодоагенту та повітря навколо конденсатору. Отже ефективність цього класу обладнання змінюється.

Застосування рівнянь (10), (11) до результату моделювання, представленому на рис. 5, дозволило визначити що математичне сподівання зміни холодильного коефіцієнту складає 14,83 одиниці, а дисперсія – 2,7.

Таким чином, поставлена задача розв'язана.

Висновки. Новий алгоритм оцінювання характеристик холодильного коефіцієнту обладнання фірми Danfoss, яке функціонує у складі оптимальної двоканальної системи стабілізації повітря при наявності випадкових корисних сигналів збурень та завад, складається з виконання двох взаємозв'язаних етапів: розробка імітаційної моделі системи, оцінювання числових характеристик отриманої кривої зміни холодильного коефіцієнту.

Імітаційне моделювання роботи оптимальної системи стабілізації температури повітря у холодильній камері супермаркету, яка обладнана устаткуванням фірми Danfoss, дозволяє оцінити ефективність такого холодильного устаткування за рахунок формування кривої зміни холодильного коефіцієнту.

Порівняння графіків зміни холодильних коефіцієнтів у оптимальній системі стабілізації та у системі, яка існує, в однакових умовах функціонування доводить, що впровадження оптимального закону керування дозволяє суттєво зменшити високочастотну складову коливань холодильного коефіцієнту та як наслідок підвищити ефективність обладнання.

Список літератури

1. Катраев М.Ю. Повышение эффективности работы холодильной установки. Выбор алгоритма управления терморегулирующим вентилем. *Холодильная техника*. 2011. №4. С.4-5.

2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шендлин А.Е. Техническая термодинамика: учебник для вузов. Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. 496 с.
3. Циклы холодильных машин и методы анализа их эффективности: учебн. пособие / Г.Н. Злотин, Е.А. Захаров, А.А. Бурков и др. Волгоград: ВолгГТУ, 2006. 49с.
4. Эрлихман В.Н. Разработка принципов повышения эффективности технологических процессов холодильных производств: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.18.04, 05.18.12. Калининград, 2005. 49с.
5. Лужков Д.М., Осадчий С.І., Дідик О.К. Ідентифікація лінеаризованої моделі динаміки контролера та терморегулювального вентиля фірми Danfoss за даними пасивного експерименту. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КНТУ*. 2018. Вип. 31. С. 150-158.
6. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. Москва: Фигматгиз, 1968. 463 с.
7. Осадчий С.І., Березюк І.А., Златопольский Ф.Й., Лужков Д.М. Оптимальна стабілізація температури повітря та холодоагенту холодильної установки з одним терморегулювальним вентиляем. *Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: матеріали між нар. наук. конф., с. Залізний Порт, 21-25 травня 2019р., Херсон: Вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2019. С. 132-133*
8. Осадчий С.І., Березюк І.А., Лужков Д.М. Дослідження динаміки холодильної камери в реальних умовах функціонування. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2019. Вип. 2(69), ч.2. С. 103-109.
9. Статистична динаміка систем управління: підручник / Л.М. Блохін, М.Ю. Буриченко, Н.В. Білак та ін. Київ: НАУ. 2014. 300с.
10. Контроллер испарителя АК-СС 550 для управления холодильными установками. Руководство пользователя. Danfoos – RS.8E.N1.50. 44с.
11. Томашевський В.М. Моделювання систем: підручник. Київ: Видавнича група ВНУ. 2005. 352 с.
12. Дж.Дэбни, Т.Харман. Simulink 4. Секреты мастерства. Издательство: Бином. Лаборатория знаний. 2003. 404с

References

1. Katraev, M.Ju. (2011). Povyshenie jeffektivnosti raboty holodil'noj ustanovki. Vybor algoritma upravlenija termoregulirujushhim ventilem [*Improving the refrigeration unit efficiency. The choice of control algorithm for thermostatic valve*]. *Holodil'naja tehnika – Refrigeration equipment*. 4, 4-5 [in Russian].
2. Kirillin, V.A., Sychev, V.V. & Shendlin, A.E. (2016). *Tehnicheskaja termodinamika [Technical thermodynamics]*. Moskow: Izdatel'skij dom MJeI [in Russian].
3. Zlotin, G.N., Zaharov, E.A., Burkov, A.A. & et al. (2006). *Cikly holodil'nyh mashin i metody analiza ih jeffektivnosti [Cycles of chillers and methods for analyzing their effectiveness]*. Volgograd: VolgGTU [in Russian].
4. Jerlihman, V.N. (2005). Razrabotka principov povyshenija jeffektivnosti tehnologicheskikh processov holodil'nyh proizvodstv [*Development of principles for improving the efficiency of technological processes of refrigeration*]. *Candidate's thesis*. Kaliningrad [in Russian].
5. Luzhkov, D.M., Osadchij S.I. & Didyk, O.K. (2018). Identifikatsiia linearyzovanoi modeli dynamiky kontrolera ta termorehuliuval'noho ventyliu firmy Danfoss za danymy pasyvnoho eksperymentu [*Identification of the Linearized Model of Controller Dynamics and Danfoss Temperature Control Valve According to the Passive Experiment*]. *Tekhnika v sil'skohopodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia. Zbirnyk naukovykh prats' KNTU – Machinery in agricultural production, industry machine building, automation. Collected works of KNTU. Vol. 31*, 150-158 [in Ukrainian].
6. Sveshnikov, A.A. (1968). *Prikladnye metody teorii sluchajnyh funkcij [Applied methods of the random functions theory]*. Moscow: Figmatgiz [in Russian].
7. Osadchij, S.I., Bereziuk, I.A., Zlatopol'skyj, F.J. & Luzhkov, D.M. (2019). Optymal'na stabilizatsiia temperatury povitria ta kholodoahentu kholodyl'noi ustanovky z odnym termorehuliuval'nym ventylem [*Optimal stabilization of air temperature and refrigerant of the refrigeration unit with one thermostatic valve*]. *Intelligent decision-making systems and problems of computational intelligence: Mizhnar. nauk. konf. (21-25 travnia 2019 r.) – International Scientufic Conference (pp. 132-133)*. Zaliznyj Port, Kherson [in Ukrainian].
8. Osadchij, S.I., Berezok, I.A. & Luzhkov, D.M. (2019). Doslidzhennia dynamiky kholodyl'noi kamery v real'nykh umovakh funktsionuvannia [*Investigation of the dynamics of the refrigeration chamber in real*

- conditions of operation]. *Visnyk Khersons'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu –Vol. 2(69), isse.2, 103-109* [in Ukrainian].
9. Blokhin L.M., Burychenko, M.Yu., Bilak, N.V. & et al. (2014). *Statystychna dynamika system upravlinnia: pidruchnyk [Statistical dynamics of control systems: a textbook]*. Kyiv: NAU [in Ukrainian].
 10. Kontroller isparitel'ja AK-SS 550 dlja upravlenija holodil'nymi ustanovkami [AK-SS 550 evaporator controller for control of refrigeration units]. *Rukovodstvo pol'zovatel'ja*. Danfoos – RS.8E.N1.50 [in Russian].
 11. Tomashevs'kyj, V.M. (2005). *Modeliuvannia system [Model System]*. Kyiv: Vydavnycha hrupa BHV [in Ukrainian].
 12. Djebni, D., Harman, T. (2003). *Simulink 4. Sekrety masterstva [Simulink 4. Secrets of Mastery]*. Izdatel'stvo: Binom. Laboratorija znanij [in Russian].

Dmytro Luzshkov, postgraduate, **Sergiy Osadchy**, Prof., DSc.

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine

Simulation the Danfoss Refrigeration Equipment Work as a Part of an Optimal Two-channel Air Temperature Stabilizing System in a Supermarket Refrigeration Chamber

The article purpose is to develop an algorithm for assessing the refrigeration coefficient characteristics of the Danfoss equipment, which operates as a part of an optimal two-channel air stabilization system in the presence of random useful signals, disturbances and interferences.

It is developed an algorithm that consists of two stages to achieve this goal in the article. The stabilization system structural scheme was converted to a convenient form for modeling under the algorithm's first stage performing process. Based on the converted block diagram using the Simulink tool, a simulation model of the refrigeration coefficient changing process is developed. The algorithm second step purpose is to obtain estimates of the mathematical expectation and variance of the refrigeration coefficient change. The initial data for its implementation is the simulation result, namely, changes in the refrigeration coefficient's graphic.

A new algorithm for assessing the refrigeration coefficient characteristics of the Danfoss equipment, which operates as a part of an optimal two-channel air temperature stabilization system in the presence of random useful signals, disturbances and interferences, consists of performing two interrelated steps: development of a system simulation model and the resulting refractive curve numerical characteristics estimation.

Comparison of refrigeration coefficients change graphics in the optimal stabilization system and in the existing system in the same operating conditions proves that the implementation of the optimal control law allows to reduce significantly the high-frequency component of the refrigeration coefficient fluctuations and as a consequence to improve the equipment efficiency.

refrigerant, refrigeration coefficient, simulation model, transfer function, efficiency

Одержано (Received) 21.11.2019

Прорецензовано (Reviewed) 29.11.2019

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2019