МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Грищенко Володимир Олександрович

УДК 681.5:621.57:631.24:635

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ В ПЛОДООВОЧЕСХОВИЩАХ

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Кіровоград – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І. І. Мартиненка Національного університету біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Борис Іванович Котов,
Вінницький національний аграрний університет,
м. Вінниця, професор кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гончаренко Борис Миколайович,
Національний університет харчових технологій,
м. Київ, професор кафедри автоматизації та інтелектуальних систем керування;

кандидат технічних наук, доцент
Шефер Олександр Віталійович,
Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, м. Полтава, доцент кафедри автоматики та електроприводу.

Захист відбудеться "7" жовтня 2016 року о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 23.073.02 у Кіровоградському національному технічному університеті за адресою: 25030, м. Кіровоград, пр. Університетський, 8.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Кіровоградського національного технічного університету за адресою: 25030, м. Кіровоград, пр. Університетський, 8.

Автореферат розіслано "06" вересня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Дідик О. К.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасною аграрною політикою в Україні визначено за доцільне зберігати плодоовочеву продукцію у місцях її безпосереднього виробництва. Це дозволяє значно знизити втрати продукції після збирання в результаті швидкого охолодження в місцевих сховищах з машинними системами охолодження. Використання штучного холоду в плодоовочесховищах забезпечує створення і підтримання в холодильній камері умов, які гарантують сталість біохімічних властивостей продукції, збереження її товарного вигляду і маси протягом всього періоду зберігання. У камері повинні підтримуватись в достатньо вузькому діапазоні значення температури і вологості повітря, значення котрих визначаються видом продукції. Забезпечення сталості цих параметрів в камерах сховища можна досягти ефективним тільки, як ми показали, при використанні систем автоматичного керування роботою холодильного обладнання на базі агрегатів з регульованою холодопродуктивністю. Необхідність зміни продуктивності холодильного обладнання обумовлена тим, що холодильні агрегати, розраховані на максимальне теплове навантаження, при сезонних коливаннях температури і сонячної радіації практично (20–35 % часу) не функціонують при повному навантаженні. Малі навантаження компенсують застосуванням повторно-короткочасного режиму роботи компресора, що призводить до перевитрат електроенергії. Аналіз показав, що задачу керування продуктивністю холодильного обладнання за поточним тепловим навантаженням ускладняються відсутністю даних про динамічні властивості холодильної камери сховища з продукцією. Незважаючи на прогрес у автоматизації холодильного обладнання, потенційні можливості її вдосконалення ще не вичерпано. Таким чином, дослідження в сфері мінімізації витрат енергії на процес зберігання плодоовочевої продукції шляхом керування ним за тепловим навантаженням є актуальними, необхідними і своєчасними.

Основу для виконання досліджень складають роботи таких відомих фахівців: В. В. Вичужаніна, Н. Б. Алехина, В. В. Голікова, А. І. Коханського, О. А. Онищенко, С. Г. Чукліна, В. С. Ужанський, В. З. Жадана, І. І. Мартиненка, М. Л. Гірника, П. І. Дячека, В. О. Пухкала, В. А. Хобина, B. Johnson, M. Herregods, R. T. Toledo та ін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами: робота виконувалась відповідно до державної науково-технічної програми 3.12 «Енерго- та ресурсозберігаючі технології в сільськогосподарському виробництві» та науково-дослідної роботи «Обґрунтування методів і засобів підвищення ефективності післязбиральної обробки і зберігання рослинної продукції в місцях виробництва» (номер державної реєстрації 0107U010514, 2005–2007 р. виконання).

Мета і задачі дослідження – підвищення енергетичної і технологічної ефективності системи створення технологічного мікроклімату в холодильних

камерах (ССТМХК) шляхом реалізації енергоощадних режимів і автоматизації керування ними.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі основні задачі:

- провести аналіз процесів холодильного зберігання плодоовочевої продукції, як об'єкта керування, визначити шляхи вдосконалення системи автоматичного керування (САК);
- експериментально дослідити режими охолодження плодоовочевої продукції, виявити та кількісно оцінити вплив основних режимних параметрів (температура, вологість і швидкість руху (питомі витрати) повітря) на втрати маси продуктом;
- розробити математичні моделі окремих елементів та загальну математичну модель холодильної установки та камери з продуктом; розробити та дослідити імітаційну модель (теплових процесів) холодильної установки для керування її режимами;
- застосувати апарат нечітких множин для створення нейромережевої системи і алгоритму керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах;
- розробити автоматичну систему і комплекс технічних та програмних засобів, для забезпечення раціональних тепловологісних режимів в холодильній камері;
- перевірити ефективність функціонування розробленої САК ССТМХК у виробничих умовах.

Об'єктом дослідження є теплові та масообмінні процеси в елементах холодильної установки плодоовочесховища та система керування ними.

Предметом дослідження є динамічні режими холодильного устаткування, включаючи камеру з продуктом, і процес керування режимами (моделі, алгоритми, властивості системи керування).

Методи досліджень. Для розв'язання поставлених задач у роботі застосовувалися:

- методи теорії тепломасообміну і термодинаміки, апроксимація числових даних і графічних характеристик аналітичними виразами – для побудови статичної і динамічної моделей ССТМХК;
- методи оптимізації – для побудови САК ССТМХК;
- методи теорії автоматичного керування – для розробки системи автоматичного регулювання режимів роботи ССТМХК;
- методи числового моделювання на ЕОМ – для аналізу статичних і динамічних характеристик елементів ССТМХК і саме локальної системи керування в ССТМХК.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі:

- вперше розв'язана задача синтезу структури інтелектуальної системи керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищі, на основі нейромережевої моделі для визначення відповідної продуктивності компресора тепловому навантаженню камери з продуктом і реалізації керувальних дій;

- вперше одержано нові аналітичні залежності, що описують статичні закономірності формування керувальних впливів з боку технологічного агрегату на компенсацію зовнішніх і внутрішніх збурень, які відрізняються від відомих врахуванням параметрів продукту, будівлі та холодильного агрегату, що дозволяє науково обґрунтувати метод автоматичної стабілізації режиму роботи холодильної установки на базі нечітких правил;
- вперше розроблено вдосконалену динамічну математичну модель теплових режимів замкненої системи холодозабезпечення камери зберігання, що на відміну від відомих враховує теплові виділення і випаровування вологи продуктом, змінення вологовмісту охолоджувального повітря, теплову інерційність елементів обладнання і зовнішні збурення;
- вперше отримана структура нейронної мережі, що дозволяє забезпечити короткотермінове прогнозування основних параметрів технологічного процесу холодильного зберігання (технологічних та енергетичних);
- удосконалено структуру, технічне і програмне забезпечення САК компресорно-конденсаторним агрегатом з використанням принципів нечіткої логіки.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено структуру, алгоритмічне, технічне та програмне забезпечення автоматизованої системи процесу керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах з метою підвищення їх технологічної та енергетичної ефективності.

Виробничі дослідження в дослідному господарстві "Мелітопольське" Мелітопольської дослідної станції садівництва імені М. Ф. Сидоренка інституту садівництва національної академії аграрних наук України показали підвищення енергоефективності керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі національного університету біоресурсів і природокористування України на кафедрі автоматики та робототехнічних систем для підготовки фахівців ОКР "Магістр".

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні, практичні та експериментальні результати досліджень, що містяться у дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать наступні результати: досліджено тепло і масоперенесення при зберіганні плодоовочевої продукції [1]; експериментально досліджено та зроблено аналіз чинників які впливають на усушку при зберіганні плодоовочевої продукції [3]; розроблено математичні моделі тепло- і масоперенесення при зберіганні плодоовочевої продукції [4]; досліджено шляхи зниження питомих витрат електроенергії при зберіганні плодоовочевої продукції [6]; досліджено зволожувач повітря з використанням електростатичного поля [7]; проведено

моделювання перехідних режимів системи автоматичного керування процесами в холодильній камері [8]; проведено моделювання динамічних режимів камер холодильного зберігання [9]; розроблено систему автоматичного керуванням з використанням нечіткої логіки [10]; досліджено енергозберігаючий алгоритм керування технологічним мікрокліматом [11]; здійснено моделювання динаміки зволожувача повітря [12]; досліджено динамічні режими насипу рослинної сировини [13]; здійснено експериментальні дослідження зволожувача повітря [14]; досліджено використання математичних моделей примусового вентилювання насипу плодів та овочів [15]; здійснено узагальнений аналіз системи керування холодильним агрегатом [16]; проведені дослідження нечіткого регулятора [17]; проведено імітаційне моделювання з використанням математичних моделей температурно-вологісних режимів в холодильній камері [19].

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались та обговорювались на наступних конференціях: наукових конференціях Національного університету біоресурсів і природокористування України впродовж 2001–2015 рр.; IX міжнародній науково-технічній конференції "Технічний прогрес в сільськогосподарському виробництві" (ННЦ "ІМЕСГ", смт. Глеваха, 19–22 серпня 2001 р.); X міжнародній науково-технічній конференції "Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві" (ННЦ "ІМЕСГ", смт. Глеваха, 19–22 серпня 2002 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми електрифікації та автоматизації сільського господарства" (м. Київ, 19–21 грудня 2002 р.); XI Міжнародній науково-технічній конференції "Технічний прогрес в сільськогосподарському виробництві" (ННЦ "ІМЕСГ", смт. Глеваха, 19–22 серпня 2003 р.); IV міжнародній науково-технічній конференції "Механізація і енергетика сільського господарства" MOTROL 2003 (НУБіП, м. Київ, 21–23 травня 2003 р.); XII міжнародній науково-технічній конференції "Технічний прогрес в АПК" (ХНТУСГ, м. Харків, 20–21 березня 2014 р.); 9-й международной научно-технической конференции "Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве" (ГНУ ВИЭСХ, г. Москва, 21–22 мая 2014 г.).

Публікації. Основні положення дисертації викладено у 19 опублікованих працях, з яких 15 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до наукометричної бази даних, 3 тези наукових доповідей.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота викладена на 212 сторінках машинописного тексту, у тому числі обсяг основного тексту – 159 сторінок друкованого тексту. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Робота ілюстрована 8 таблицями та 74 рисунками. Список використаних джерел містить 200 найменувань, з них 174 кирилицею та 26 латиною.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи для вдосконалення автоматизації керування мікрокліматом в камерах холодильного зберігання плодоовочевої продукції. Сформульовані мета і задачі досліджень, наукова новизна та практична цінність отриманих результатів та наведені відомості про їх апробацію та кількість публікацій за матеріалами дисертації. Визначено особистий внесок пошукача.

У **першому розділі** розглянуто особливості процесу зберігання плодоовочевої продукції в приміщеннях з машинним способом підготовки повітря, технологічні та теплоенергетичні аспекти побудови систем створення технологічного мікроклімату холодильних камер. Проаналізовано існуючі системи повітряного охолодження та математичні моделі, які використовують для керування температурно-вологісними режимами плодоовочесховищ. Відзначено необхідність створення удосконалених математичних моделей процесів тепло- і масообміну в приміщеннях для холодильного зберігання "дихаючої" продукції.

З аналізу робіт вчених, які займалися охолодженням і зберіганням продукції, показано, що існуючі системи керування технологічним мікрокліматом в камерах холодильного зберігання плодоовочевої продукції за якістю зберігання продукції і нормами енергозбереження не задовольняють сучасним вимогам і потребують вдосконалення. Найбільш перспективними системами керування мікрокліматом є системи на базі нечіткої логіки, які ще не знайшли широкого використання в технології холодильного зберігання плодоовочевої продукції.

Сформульовано постановку завдання досліджень і визначено напрямки вдосконалення системи автоматичного керування холодильним обладнанням та мікрокліматом в плодоовочесховищах.

Другий розділ присвячено експериментально-аналітичним дослідженням холодильної установки, як об'єкта керування температурно-вологісним режимом в плодоовочесховищах.

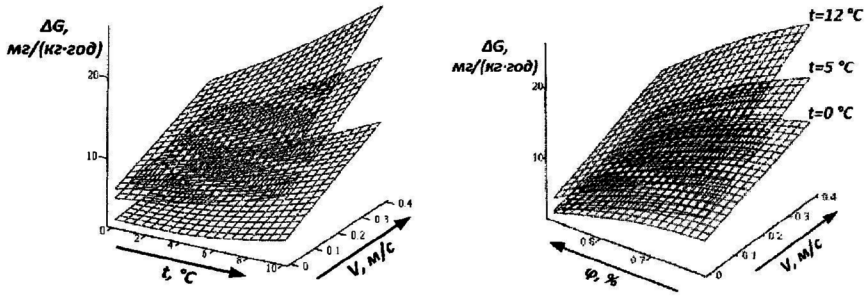
Розроблено методику експериментальних досліджень на натурних об'єктах, аналітичного моделювання температурно-вологісного режиму плодоовочесховищ та створення системи керування (обґрунтування принципу керування). Складено математичні моделі, що характеризують влив температурно-вологісного режиму на стан продукту зберігання, і його зв'язок з параметрами процесу і холодильного обладнання.

За даними експериментальних досліджень отримана адекватна (з ймовірністю 0.95) регресійна модель, що відображує залежність втрат продукції від зміни основних параметрів повітряного середовища камери: температури, вологості і швидкості руху повітря:

$$\begin{aligned}\Delta G(t,\varphi,V) = &-5.3938 + 1.6683\cdot t + 38.7316\cdot V + \\ &+ 40.0053\cdot\varphi + 1.4887\cdot t\cdot V - 1.9517\cdot t\cdot\varphi - 40.1167\cdot V\cdot\varphi + \\ &+ 0.0294\cdot t^2 - 0.2096\cdot V^2 - 34.9448\cdot\varphi^2,\end{aligned} \quad (1)$$

де t, φ – осереднені ("вхід-вихід") значення температури та вологості повітря в камері, °С та ум.од.; V – швидкість руху повітря в камері, м/с.

Результати моделювання наведено на рис. 1.



а) б)

Рис. 1. Залежність втрати маси плодів від: а – температури та швидкості повітря; б – вологості та швидкості повітря.

Розкриваючи значення вологості повітря через вологовміст і температуру, лінеаризуючи рівняння (1) в межах малих відхилень регульованих параметрів, отримано залежність втрат продукції від температури на виході з камери (вході в повітроохолоджувач) t_{k2}:

$$\Delta G = \frac{0.5 \cdot G_v}{(a \cdot t_{k2} + b) \cdot G_v - 500 \cdot b_2 \cdot k} \begin{bmatrix} (2 \cdot a \cdot b_3 \cdot t_{k2} + 2 \cdot b \cdot b_3) \cdot G_v + \\ + a \cdot b_1 \cdot t_{k2}^2 + (2 \cdot B \cdot a + b \cdot b_1) \cdot t_{k2} + \\ + 2 \cdot B \cdot b + b_2 \cdot k \cdot d_{k1} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де G_v – витрати повітря, кг/с; $B = b_0 + 0.5 \cdot b_1 \cdot t_{k1} + 0.5 \cdot b_2 \cdot \varphi_{k1}$; t_{k1}, t_{k2} – температури повітря на вході та виході камери охолодження відповідно, °С; φ_{k1} – вологість повітря на вході камери, ум.од; b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти лінеаризації регресійного рівняння, $b_0 = 0.0178912$, $b_1 = 0.0001656$, $b_2 = -0.0185947$, $b_3 = 0.0068056$; $k = 10^5/622$; a, b – коефіцієнти лінеаризації регресійного рівняння.

З теплового балансу елементів холодильного обладнання в статичному режимі отримано рівняння, що визначають залежність температури на виході камери від режимних і конструктивних параметрів холодильної установки:

$$t_{k2} = \frac{m_{np} \cdot c_1 + k_z \cdot F_z \cdot \left(t_a + \frac{J \cdot \sigma}{\alpha_z} \right)}{G_v \cdot c_p + 0.5 \cdot (k_z \cdot F_z - m_{np} \cdot a_1)} + \frac{G_v \cdot c_p - 0.5 \cdot (k_z \cdot F_z - m_{np} \cdot a_1)}{G_v \cdot c_p + 0.5 \cdot (k_z \cdot F_z - m_{np} \cdot a_1)} t_{k1}, \quad (3)$$

$$t_{v2} = -0.5 \frac{k_o \cdot F_o - 2 \cdot G_v \cdot c_p}{G_v \cdot c_p \cdot k_o \cdot F_o} \left[\frac{1}{\xi} N_k \left[\frac{273 + t_0}{273 + t_{kond}} + b'_k \cdot t_0 \right] \cdot \eta_{mex} \cdot \frac{q_0}{l_0} \right] + t_0, \quad (4)$$

де $t_{k1} = f(\varphi) t_{v2}$; m_{np} – маса продукції в камері охолодження, кг; c_p – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К); t_a – температура атмосферного повітря, °С; J – тепловий потік від сонячного випромінювання, Вт/м^2; σ – коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання поверхнею огородження, $\sigma = 0.8 \ldots 0.95$; α_z – коефіцієнт теплообміну зовнішньої поверхні огородження з повітрям, Вт/(м^2·°С); a_1, c_1 – коефіцієнти апроксимації, $a_1 = 0.0969$, $c_1 = 11.853$; $k_z \cdot F_z$ – теплопередача крізь огородження камери, Вт/°С; $k_o \cdot F_o$ – теплопередача від випарника, Вт/°С; ξ – коефіцієнт, що враховує втрати при транспортуванні холоду, $\xi = 1.07$; N_k – потужність компресора, кВт; t_0 – температура кипіння холодоагенту, °С; t_{kond} – температура конденсації холодоагенту, °С; b'_k – коефіцієнт, для фреонових компресорів, $b'_k = 0.0025$; η_{mex} – ККД компресора; q_0 – холодопродуктивність 1 кг холодоагенту; l_0 – теоретична робота стиснення за цикл.

За результатами аналізу залежностей (2 – 4) виходить, що величина вихідної температури t_{k2} є найбільш інформативним параметром про стан продукту, вплив зовнішніх збурень та внутрішніх теплопритоків, і їх доцільно використати в якості основного регульованого параметра системи керування холодильним обладнанням.

Для компенсації негативного впливу збурювальних факторів запропоновано енергоощадний алгоритм керування системою створення технологічного мікроклімату, і схема його реалізації (рис. 2), що передбачає зміну холодопродуктивності (потужності) компресора (шляхом змінення частоти обертання валу компресора) у функції температури повітря на виході камери за умови одночасної стабілізації температури на вході в камеру t_{k1}. Для компенсації зневоднення повітря у випарнику передбачено регулювання вологості повітря на вході в камеру φ_{k1}. Таким чином виконується основна умова енергозберігаючого керування: відповідність холодопродуктивності компресорної установки змінному в часі тепловому навантаженню холодильної камери (яке є змінним чинником).

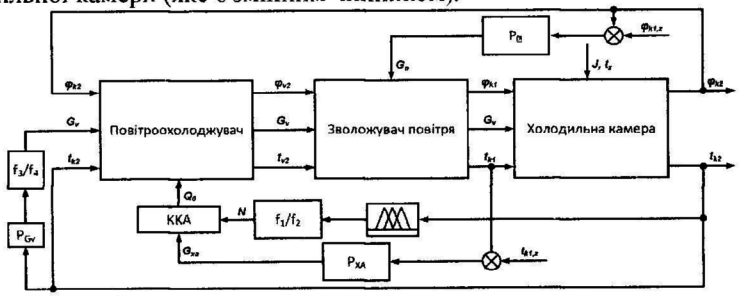


Рис. 2. Схема узагальненої САК холодильного обладнання в плодоовочесховищі з використанням нечіткого регулятора.

Для моделювання процесу керування холодильною установкою отримано числовим експериментом рівняння, що описує залежність регульованої потужності (холодопродуктивності) компресора від зовнішніх збурень: теплового навантаження, подання повітря і температури повітря на виході камери:

$$t_{k2} = 9.1872 - 18.9193 \cdot G_v + 1.0507 \cdot t_z - 0.0081 \cdot N_k + \\ + 0.0029 \cdot Q_k + 10.5499 \cdot G_v^2 - 0.0501 \cdot G_v \cdot t_z + 0.0086 \cdot G_v \cdot N_k + \\ + 0.0049 \cdot G_v \cdot Q_k, \quad (5)$$

де Q_k – теплове навантаження в камері, кВт.

Отримане рівняння використовується для створення нейро-нечіткої системи керування.

У **третьому розділі** розглянуті питання математичного моделювання динамічних режимів основних елементів об'єкта керування: холодильної камери з продуктом, повітроохолоджувача, повітрозволожувача.

Математичні моделі динаміки тепловологісних режимів розроблено на основі аналізу рівнянь нестаціонарних теплових і матеріальних балансів, з використанням загальноприйнятих для таких об'єктів припущень: теплові процеси описано відповідно до закону теплообміну Ньютона, а масообмінні за законом Дальтона; усі види складного тепло- і масообміну враховуються у коефіцієнтах тепло- і масообміну які в часі не змінюються і дорівнюють середнім за процес значенням; теплофізичні характеристики носіїв (пара, повітря, фреон) та елементів обладнання в часі не змінюються; усі елементи системи розглянути як об'єкти з зосередженими параметрами.

З урахуванням прийнятих допущень математичний опис динаміки елементів об'єкту керування представлено диференціальними рівняннями у вигляді:

– для холодильної камери з продуктом зберігання:

$$0.5 \cdot m_{vk} \cdot c_p \frac{dt_{k2}}{d\tau} = A_1 \cdot t_{k1} + B_1 \cdot t_{k2} + C_1 \cdot \theta_{np} + D_1 \cdot \theta_c + \\ + E_1 \cdot d_{k1} + F_1 \cdot d_{k2} + I_1, \quad (6)$$

$$m_{np} \cdot c_{np} \frac{d\theta_{np}}{d\tau} = A_2 \cdot t_{k1} + B_2 \cdot t_{k2} + C_2 \cdot \theta_{np} + E_2 \cdot d_{k1} + \\ + F_2 \cdot d_{k2} + I_2 + m_{np} \cdot q_{np}(\theta_{np}), \quad (7)$$

$$m_c \cdot c_c \frac{d}{d\tau}\theta_c = A_3 \cdot t_{k1} + B_3 \cdot t_{k2} + D_3 \cdot \theta_c + G_3 \cdot t_z + H_3 \cdot J, \quad (8)$$

$$m_{vk} \frac{d}{d\tau} d_{k2} = C_4 \cdot \theta_{np} + E_4 \cdot d_{k1} + F_4 \cdot d_{k2} + I_4, \quad (9)$$

– для повітроохолоджувача:

$$0.5 \cdot m_{vv} \cdot c_p \frac{dt_{v2}}{d\tau} = A_1' \cdot t_{v1} + B_1' \cdot t_{v2} + C_1' \cdot \theta_{ox} + E_1' \cdot d_{v1} + F_1' \cdot d_{v2} + I_1', \quad (10)$$

$$m_{ox} \cdot c_{ox} \frac{d\theta_{ox}}{d\tau} = A_2' \cdot t_{v1} + B_2' \cdot t_{v2} + C_2' \cdot \theta_{ox} + D_2' \cdot t_{xa} + \\ + E_2' \cdot d_{v1} + F_2' \cdot d_{v2} + G_2' \cdot t_0 + I_2', \quad (11)$$

$$\frac{m_{xa} \cdot c_{xa}}{\rho_{nx}} \frac{dt_{xa}}{d\tau} = C_3' \cdot \theta_{ox} + D_3' \cdot t_{xa} + G_3' \cdot t_0 + H_3' \cdot G_g + I_3' \cdot V_k, \quad (12)$$

$$m_{vv} \frac{dd_{v2}}{d\tau} = E_3' \cdot d_{v1} + F_4' \cdot d_{v2} + I_4', \quad (13)$$

– для повітрозволожувача:

$$\frac{m_{vn}}{G_v} \frac{di_2}{d\tau} = \frac{G_n}{G_v} \cdot i_n - i_2 + i_1, \quad (14)$$

$$\frac{m_{vn}}{G_v} \frac{dd_{vn2}}{d\tau} = \frac{G_n}{G_v} \cdot 10^3 - d_{vn2} + d_{vn1}, \quad (15)$$

де $A_1 = -0.5 \cdot \alpha_{c.v}' \cdot f_{c.v} - 0.5 \cdot \alpha_{np} \cdot f_{np} - G_v \cdot c_p$;

$B_1 = -0.5 \cdot \alpha_{c.v}' \cdot f_{c.v} - 0.5 \cdot \alpha_{np} \cdot f_{np} + G_v \cdot c_p$; $C_1 = \alpha_{np} \cdot f_{np} + r_0 \cdot \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot a$;

$D_1 = \alpha_{c.v}' \cdot f_{c.v}$; $E_1 = F_1 = -0.5 \cdot r_0 \cdot \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot b$; $I_1 = -r_0 \cdot \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot c$;

$A_2 = B_2 = 0.5 \cdot \alpha_{np} \cdot f_{np}$; $C_2 = -r_0 \cdot \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot a - \alpha_{np} \cdot f_{np}$;

$E_2 = F_2 = 0.5 \cdot r_0 \cdot \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot b$; $I_2 = -r_0 \cdot \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot c$; $A_3 = B_3 = 0.5 \cdot \alpha_{c.v}' \cdot f_{c.v}$;

$D_3 = -\alpha_{c.v}' \cdot f_{c.v} - \alpha_{c.z}' \cdot f_{c.z}$; $G_3 = \alpha_{c.z}' \cdot f_{c.z}$; $H_3 = F_{sv}\varphi_v$; $C_4 = \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot a$;

$E_4 = -0.5 \cdot \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot b + G_v$; $F_4 = -0.5 \cdot \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot b - G_v$; $I_4 = \beta \cdot f_u \cdot \varepsilon_u \cdot c$;

$A_1' = G_v \cdot c_p - 0.5 \cdot \alpha_{oz} \cdot F_{oz}$; $B_1' = -G_v \cdot c_p - 0.5 \cdot \alpha_{oz} \cdot F_{oz}$; $C_1' = \alpha_{oz} \cdot F_{oz}$;

$E_1' = F_1' = -0.5 \cdot r_0 \cdot \sigma_0 \cdot F_{in}$; $I_1' = r_0 \cdot \sigma_0 \cdot F_{in} \cdot d_{ox}''(\theta_{ox})$; $A_2' = B_2' = 0.5 \cdot \alpha_{oz} \cdot F_{oz}$;

$C_2'' = -\alpha_{oz} \cdot F_{oz} - \alpha_{ov} \cdot F_{ov}$; $D_2' = G_2' = 0.5 \cdot \alpha_{ov} \cdot F_{ov}$; $E_2' = F_2' = 0.5 \cdot r_0 \cdot \sigma_0 \cdot F_{in}$;

$I_2' = -r_0 \cdot \sigma_0 \cdot F_{in} \cdot d_{ox}''(\theta_{ox})$; $C_3' = \frac{\alpha_{ov} \cdot F_{ov}}{\rho_n}$; $D_3' = G_3' = -0.5 \frac{\alpha_{ov} \cdot F_{ov}}{\rho_n}$;

$H_3' = -10^3 \cdot q_v$; $I_3' = -10^3 \cdot q_0$; $E_4' = G_v - 0.5 \cdot \sigma_0 \cdot F_{in}$; $F_4' = -G_v - 0.5 \cdot \sigma_0 \cdot F_{in}$;

$I_4' = \sigma_0 \cdot F_{in} \cdot d_{ox}''(\theta_{ox})$;

θ_{np} – середньооб'ємна температура продукції в камері охолодження, °С; θ_c – температура огородження (середня за товщиною), °С; d_{k1}, d_{k2} – вологовміст повітря на вході та виході камери охолодження, г/кг$_{ср}$; $q_{np}(\theta_{np})$ – теплоприток від продукту за рахунок самозігрівання, Вт/кг; t_z – зовнішня температура повітря, °С; m_{vk} – маса повітря в камері охолоджування, кг; c_{np} – питома теплоємність продукції, що зберігається, Дж/(кг·К); m_c – маса огородження, кг; c_c – питома теплоємність матеріалу огородження, Дж/(кг·К); $\alpha_{c.v}'$ – сумарний коефіцієнт теплопередачі внутрішньої поверхні огородження, Вт/(м^2·К); $\alpha_{c.z}'$ – сумарний коефіцієнт теплопередачі зовнішньої поверхні огородження, Вт/(м^2·К); α_{np} – коефіцієнт теплообміну продукції та повітря, Вт/(м^2·К); $f_{c.z}$ – зовнішня поверхня огородження, м^2; $f_{c.v}$ – внутрішня

поверхня огородження, м^2; G_v – витрати повітря, кг/с; F_{sv} – частина зовнішньої поверхні, яка сприймає сонячну радіацію, м^2; φ_v – кут між напрямком випромінювання та нормаллю до опромінюваної поверхні; r_0 – питома теплота пароутворення, кДж/кг; β – коефіцієнт масовіддачі, кг/(м^2·с); f_u – поверхня продукції, м^2; ε_u – коефіцієнт випарувальної здатності; a,b,c – коефіцієнт апроксимації функції $P_n''(\theta_{np})$; t_{v_1}, t_{v_2} – температура повітря на вході та виході повітроохолоджувача, °С; θ_{ox} – температура поверхні повітроохолоджувача, °С; d_{v_1}, d_{v_2} – вологовміст повітря на вході та виході повітроохолоджувача, г/(кг$_{с.р}$); t_{xa_2}, t_0 – температура холодоагенту та температура його кипіння, °С; G_g – витрати рідкого холодоагенту, кг/с; V_k – об'ємна продуктивність компресора, м^3/с; m_{ox}, m_{vv} – маса охолоджувача та повітря в його об'ємі, кг; m_{xa} – маса холодоагенту в об'ємі повітроохолоджувача, кг; ρ_{nx} – густина парової фази холодоагенту, кг/м^3; c_{ox}, c_{xa} – питома теплоємність матеріалу випарника та холодоагенту, Дж/(кг·°С); α_{oz} – коефіцієнт теплопередачі від зовнішньої поверхні повітроохолоджувача до повітря, Вт/(м^2·°С); α_{ov} – коефіцієнт теплопередачі від внутрішньої поверхні повітроохолоджувача до холодоагенту, Вт/(м^2·°С); F_{oz} – зовнішня поверхня повітроохолоджувача, м^2; F_{ov} – внутрішня поверхня повітроохолоджувача (трубки), м^2; σ_0 – коефіцієнт масовіддачі при конденсації (інеюутворенні), кг/(м^2·°С); F_{in} – поверхня інею, м^2; $d_{ox}''(\theta_{ox})$ – насичений вологовміст повітря на поверхні охолоджувача при температурі поверхні, г/(кг$_{с.р}$); q_v – питома теплота пароутворення, кДж/кг; i_1, i_2 – питома ентальпія повітря на вході та виході парозволожувача, $i_{1,2} = r_0 \cdot d_{vn1,vn2} \cdot 10^{-3} + c_p \cdot t_{1,2}$, кДж/кг; d_{vn1}, d_{vn2} – питомий вологовміст повітря на виході та виході парозволожувача, г/кг$_{сп}$; m_{vn} – маса повітря (сухого) в об'ємі зволожувача, кг; G_n – витрата водяної пари, кг/с; i_n – ентальпія водяної пари, Дж/кг.

Система рівнянь (6 – 15) відрізняється від відомих врахуванням теплових виділень і випаровування вологи продуктом, зміненням вологовмісту охолоджувального повітря, теплової інерційності елементів будівлі і зовнішніх збурень, зміни маси випарника при інеюутворенні. Для аналізу динамічних режимів холодильної установки використано імітаційне моделювання в системі MATLAB/Simulink. На рис. 3. наведено структурну схему рівнянь (6 – 9), які описують динаміку холодильної камери з продуктом зберігання, на імітаційній моделі в системі MATLAB/Simulink, а на рис. 4 зміну температури в часі при подачі охолодженого повітря в камеру (А) і припинені подання (Б).

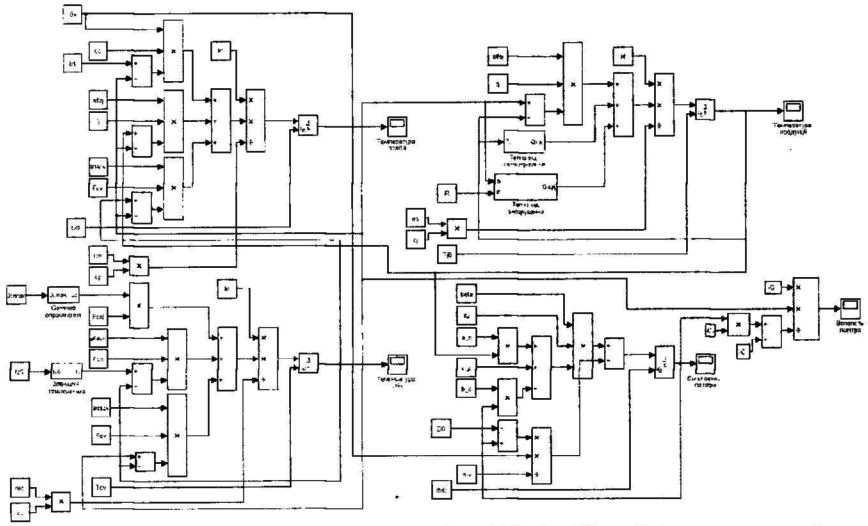
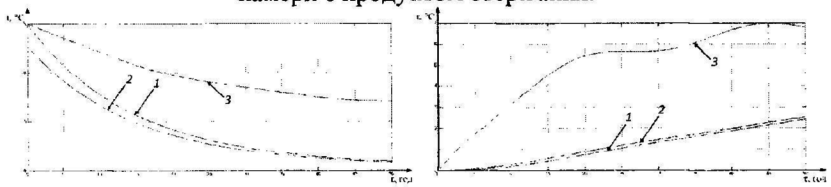


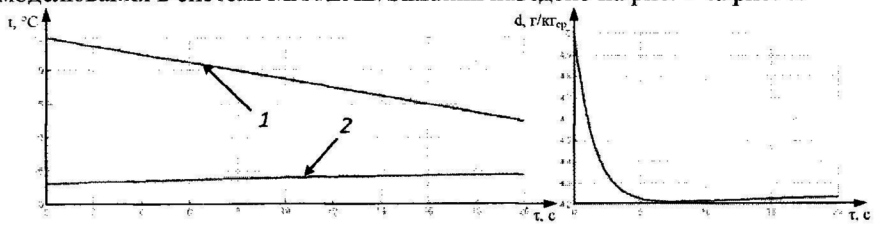
Рис. 3. Імітаційна модель в системі MATLAB/Simulink холодильної камери з продуктом зберігання.



А) Б)

Рис. 4. Зміна температури холодильної камери з продуктом зберігання в часі: А – охолодження (подача охолодженого повітря в камеру); Б – розігрів (вимкнена холодильна машина); 1 – температура продукції; 2 – температура повітря; 3 – температура огорожі (стін та даху).

Аналогічні моделі створено для дослідження динаміки повітроохолоджувача (10 – 13) і повітрозволожувача (14 – 15), а результати моделювання в системі MATLAB/Simulink наведено на рис. 5 та рис. 6.



А) Б)

Рис. 5. Графічні залежності зміни температури повітря (А – 1) та холодоагенту (А – 2) та вологовмісту повітря (Б).

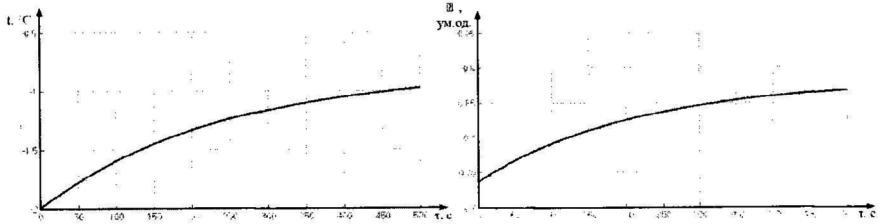


Рис. 6. Графічні залежності зміни температури повітря (А) та вологості повітря (Б).

Адекватність моделей оцінена порівнянням максимального відхилення параметрів, отриманих розрахунком, з даними експериментів; абсолютна похибка не перевищує 3.8 – 4 %.

Рівняння динаміки окремих елементів холодильної установки після перетворень за Лапласом дозволили побудувати передавальні функції та визначити параметри регуляторів температури повітря локальних САР. Характеристики САР досліджуваних об'єктів за якістю відповідають технологічним вимогам.

Але математична модель, складена для одного апарату, не дає достовірну інформації про теплові процеси, що відбуваються в ньому без врахування режимних параметрів інших елементів, які входять у загальну схему холодильної установки і в контури регулювання. Тому для аналізу динаміки холодильної установки розроблена її узагальнена математична модель, як об'єкта автоматичного керування (рис. 7).

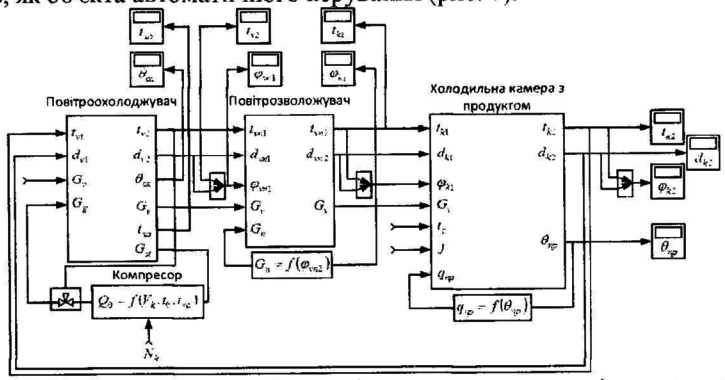


Рис. 7. Схема математичної моделі моделювання динамічних режимів холодильної установки.

За результатами досліджень математичної моделі, встановлено, що динамічні властивості локальних об'єктів містять "керувальний" чинник – витрату холодоносіїв (повітря, холодоагенту) які в процесі керування можуть змінюватись в часі, що призводить до нелінійності динамічних характеристик об'єкта керування. При цьому традиційний підхід до побудови САК вимагає коригування коефіцієнтів передавальних функцій для

компенсації збурень в усіх елементах об'єкту необхідно змінювати витрати холодоносіїв, що призводить до змінювання ефективної або дійсної сталої часу, про що повна інформація відсутня.

Виходячи з цього, є доцільним створення енергоефективної САК холодильною установкою із застосуванням апарату нечітких множин та нейронних мереж, що забезпечить ефективне функціонування технологічного обладнання і якість стабілізації параметрів мікроклімату при холодильному зберіганні навіть при відсутності повної інформації.

У **четвертому розділі** наведено матеріали, щодо створення нейромережевої системи керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах на основі апарату нечітких нейронних мереж. Створено нейроінформаційну систему керування холодильним обладнанням, що забезпечує регламентовані режими повітряного середовища в камері плодоовочесховища.

Налаштування параметрів нейромережевої системи на регулювання холодопродуктивності у відповідності до поточного холодоспоживання здійснюється шляхом експертного ітераційного навчання системи на набори вхідних даних, діапазони яких відповідають умовам технологічного функціонування у виробничих об'єктів: $t_z = 1...25$ °С; $G_v = 0.1...1.5$ кг/с; $t_{k2} = -1...5$ °С; $Q_k = 1...4$ кВт.

Створено нейроінформаційну експертну систему (ЕС) керування тепловологісними режимами в камері для зберігання плодоовочевої продукції з використанням машинного охолодження. Для створення ЕС використано графічний інтерфейс гібридних нейронних мереж реалізований у пакеті прикладних програм ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) системи MATLAB (рис. 8). Для моделювання взяли чотирифакторний експеримент з 27 наборів експериментальних даних. Для покращення якості ЕС використали контрольні данні (Testing data). При створенні ANFIS-моделі використовувалось рівняння (5).

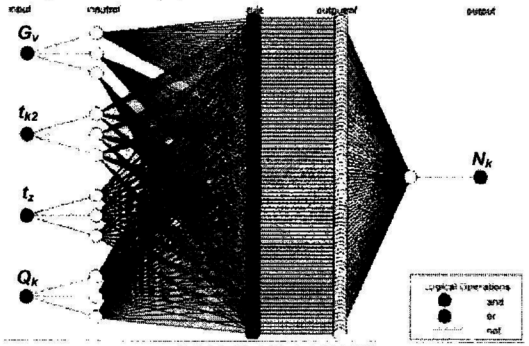


Рис. 8. Вікно середовища MATLAB/ ANFIS стурктури розробленої нейромережевої моделі енергоефективного керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах.

Для навчання експертної системи з використанням навчальної вибірки (Training data) було встановлено 100 циклів (Epochs), для підвищення якості ЕС використали контрольну вибірку (Testing data). Якість роботи гібридної нейронної мережі оцінили, подавши на вхід, дані для перевірки (Checking data) які підтвердили якість створення ЕС.

З використанням отриманих правил FIS проведено дослідження системи локального регулювання температури в повітроохолоджувачі в порівнянні з ПІД регулюванням в системі MATLAB/Simulink.

Розроблено САК температурно-вологісними режимами в плодоовочесховищах з використанням SCADA системи Трейс Моуд (рис. 9). В якості вимірювального комплексу використовувався мікропроцесорний блок ТМ-16 на базі мікропроцесора Atmel AVR. Для керування використовувався блок ICP-CON I-7043. Для обміну даними між пристроями використовувався протокол MODBUS RTU.

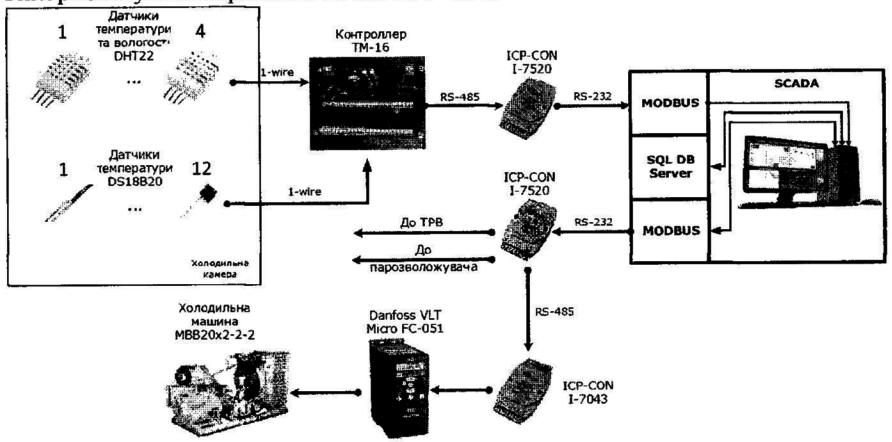


Рис. 9. Схема реалізації системи автоматизованого керування технологічним мікрокліматом в холодильній камері з використанням СКАДА системи Трейс Моуд.

Результатами виробничої експлуатації розробленої САК температурно-вологісними режимами в плодоовочесховищах визначено: втрата маси продуктом склала 0.052 кг/год з 20 т маси яблук, що у перерахунку на середній строк зберігання 6 місяців складатиме 1.14 % і відповідає діючим нормам природного убутку. Затрати енергії знижено на 18.5 % при зниженні втрат на 1.7 %.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання підвищення енергетичної ефективності системи забезпечення температурно-вологісного режиму в сховищі для зберігання плодової продукції з машинним

охолодженням шляхом автоматизації керування основними елементами обладнання.

1. Встановлено, що існуючі системи автоматизації холодильних установок для зберігання плодоовочевої продукції не забезпечують ефективність керування для підтримання регламентованих параметрів технологічного мікроклімату; основною умовою енергоефективного керування визначено забезпечення відповідності холодопродуктивності установки тепловому навантаженню камери.
2. Проведеними експериментальними і теоретичними дослідженнями взаємодії охолоджувального повітря з об'єктом зберігання встановлено визначальний вплив температури на динаміку втрат продукту та визначено основний параметр регулювання.
3. Запропоновано новий підхід до автоматизації керування холодильною установкою, який базується на тому, що температура циркулюючого в камері повітря на вході в повітроохолоджувач є мірою впливу комплексного збурювального чинника – часових внутрішніх і зовнішніх теплонадходжень, який можна компенсувати зміною подання повітря і потужності компресора, за умови стабілізації температури повітря на вході в камеру.
4. Розроблено математичні моделі для розрахунку параметрів процесу, через які здійснюється керування режимом холодильної установки, (формування керувальних дій на компенсацію внутрішніх і зовнішніх збурень), що відрізняються врахуванням зв'язків між параметрами об'єкту зберігання і холодопостачання, і дозволяють обгрунтувати спосіб стабілізації режиму зберігання на базі нечітких нейронних мереж отримати лінгвістичної бази правил для нечіткої логіки.
5. Розроблено і реалізовано в пакеті Simulink системи MATLAB імітаційну модель (теплових процесів) холодильної установки для зберігання плодоовочевої продукції, що базується на отриманих аналітичним шляхом диференціальних рівнянь тепломасообмінних процесів окремих елементів обладнання, замкнених в загальну математичну модель.
6. Розроблено алгоритми використання нечітких нейронних мереж для визначення енергоефективних режимів функціонування холодильного обладнання плодоовочесховища.
7. Запропоновано комплекс технічних засобів та розроблено програмне забезпечення для реалізація САК ССТМХК з використанням SCADA.
8. За даними виробничої перевірки (і техніко-економічних розрахунків) встановлено, що практична реалізація вдосконаленої САК режимами зберігання плодоовочевої продукції (на прикладі яблук) дає змогу зменшити втрати продукції на 3 – 4 % при зменшені затрат енергії на 20 %.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Ідентифікація закономірностей тепло- і масоперенесення у процесах термічної обробки і зберігання рослинної сировини / [Котов Б. І., **Грищенко В. О.**, Калініченко Р. А., Лісецкий В. О.] // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. – 2003. – Вип. 11. – С. 59–68.

2. Грищенко В. О. Застосування примусового вентилювання при зберіганні плодоовочевої продукції / В. О. Грищенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2004. – Вип. 34. – С. 80–83.

3. Котов Б. І. Визначення втрат плодоовочевої продукції на основі моделі тепло- і масоперенесення / Котов Б. І., **Грищенко В. О.**, Толстолік Л. Н. // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – 2004. – Вип. 19. – С. 29–35.

4. Котов Б. І. Ідентифікація закономірностей тепло- і масоперенесення в процесах охолодження і зберігання рослинної сировини / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // Збірник наукових праць Кіровоградського державного університету. – 2004. – Вип. 14. – С. 19–24.

5. Грищенко В. О. Затрати електроенергії на охолодження і зберігання плодоовочевої продукції в залежності від режимів роботи охолоджуючих і вентиляційних систем / В. О. Грищенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2005. – Вип. 35. – С. 240–244.

6. Грищенко В. О. Енергоспоживання системами створення мікроклімату в плодоовочесховищах та напрямки зниження питомих витрат електроенергії / **В. О. Грищенко**, Б. І. Котов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – 2005. – Вип. 31. – С. 12–18.

7. Котов Б. І. Інтенсифікація випаровування води з відкритої поверхні при використанні електростатичного поля / Котов Б. І., **Грищенко В. О.**, Нєдєлку І. Г. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2007. – Вип. 58 «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв». – С. 95–102.

8. Котов Б. І. Моделювання перехідних режимів обладнання холодильної камери та структури системи автоматичного керування (САК) температурно-вологісним режимом / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2009. – Вип. 39. – С. 62–68.

9. Котов Б. І. Моделювання та автоматизація керування динамічними режимами камер холодильного зберігання плодоовочевої продукції / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2009. – Вип. 93. – С. 277–283.

10. Котов Б. І. Нечітка автоматична система керування охолоджувачем повітря / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2010. – Вип. 103. «Механізація сільськогосподарського виробництва та переробки сільськогосподарської продукції». – С. 116–121.

11. Котов Б. І. Енергозберігаючий алгоритм управління технологічним мікрокліматом / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2011. – Вип. 166. – Ч. 4. – С. 147–156.

12. Котов Б. І. Моделювання динамічних режимів роботи системи зволоження повітря і автоматизація керування ними / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2011. – Вип. 107. – Том 1. «Механізація сільськогосподарського виробництва». – С. 101–108.

13. Котов Б. І. Моделювання динамічних режимів насипу рослинної продукції при фільтрації повітря, як об'єкта автоматизації з розподіленими параметрами / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2012. – Вип. 42. – Ч. 2. – С. 65–71.

14. Котов Б. І. Математичні моделі динаміки електричних зволожувачів повітря / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2013. – Вип. 43. – Ч. 1. – С. 71–76.

15. Котов Б. И. Математическое моделирование динамических режимов принудительного вентилирования плодов и овощей в плотном слое / Б. И. Котов, **В. А. Грищенко** // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2014. – Вип. 148. «Механізація сільськогосподарського виробництва». – С. 382–388.

16. Грищенко В. О. Автоматизація керування системою створення мікроклімату в камері плодоовочесховищ / В. О. Грищенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 194. – Ч. 2 – С. 206–209. *(Входить до наукометричної бази російського наукового індексу цитування (РІНЦ)).*

Опубліковані праці апробаційного характеру:

17. Котов Б. И. Разработка системы автоматического управления системой создания микроклимата в камере плодоовощехранилища / Б. И. Котов, **В. А. Грищенко** // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: 9 международная научно-техническая конференция, 21–22 мая 2014 г.: тезисы доклада. – М., 2014. – Ч. 5. – С. 219–223.

18. Котов Б. І. Тепло- і масопереносні процеси при зберіганні плодоовочевої продукції / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // MOTROL'03 міжнародна наукова конференція, 21–23 травня 2003 р.: матеріали конференції. – К., 2003. – Том 14. – С. 266–272.

19. Котов Б. І. Моделювання динамічних характеристик виробних приміщень з біологічними об'єктами, як управляємої частини САУ мікрокліматом / Б. І. Котов, **В. О. Грищенко** // Міжнародна наукова конференція: праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2011. – Вип. 11. – Т. 5. – С. 138–142.

АНОТАЦІЯ

Грищенко В. О. Автоматизація процесу керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград, 2016.

Дисертацію присвячено обґрунтуванню і реалізації науково-прикладної задачі, яка полягає в енергоефективному керуванні холодильним обладнанням в плодоовочесховищах. За результатами досліджень встановлено, що існуючі системи керування технологічним мікрокліматом в камерах холодильного зберігання плодоовочевої продукції за якістю зберігання продукції і нормами енергозбереження не задовольняють сучасним вимогам і потребують вдосконалення, з використанням системи на базі нечіткої логіки.

У роботі викладено результати теоретичного і експериментального дослідження мікроклімату з урахуванням раніш неврахованих факторів: динамічних властивостей продукту, будівлі та впливу зовнішнього середовища.

Створено та перевірено на адекватність нейромережеву систему керування холодильним обладнанням, що забезпечує регламентовані режими повітряного середовища в камері плодоовочесховища.

Розроблено алгоритмічно-програмна реалізація системи автоматичного керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищі з використанням SCADA системи з нечітким регулятором.

Основні результати, отримані в дисертації, апробовані на камері дослідного господарства "Мелітопольське" Мелітопольської дослідної станції садівництва імені М. Ф. Сидоренка інституту садівництва національної академії аграрних наук України".

Ключові слова: автоматизація процесу керування холодильним обладнанням, зберігання плодоовочевої продукції, математичне моделювання, температурно-вологісні режими, енергоефективність.

АННОТАЦИЯ

Грищенко В. А. Автоматизация процесса управления холодильным оборудованием в плодоовощехранилищ. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. Кировоградский национальный технический университет, Кировоград, 2016.

Диссертация посвящена обоснованию и реализации научно-прикладной задачи, которая заключается в энергоэффективном управлении холодильным оборудованием в плодоовощехранилищах, предусматривающая переход от позиционных к непрерывным алгоритмам управления и реализацию новых функций управления, обеспечивающих режимы работы при минимизации потерь продукции и затрат энергии.

По результатам исследований установлено, что существующие системы управления технологическим микроклиматом в камерах холодильного хранения плодоовощной продукции по качеству хранения продукции и нормами энергосбережения не удовлетворяют современным требованиям и нуждаются в совершенствовании, с использованием систем на базе нечеткой логики.

В работе изложены результаты теоретического и экспериментального исследования микроклимата с учетом ранее неучтенных факторов: динамических свойств продукта, здания и воздействия внешней среды. Проведено имитационное моделирование в системе MATLAB/Simulink, и доказана необходимость создания обобщенной схемы холодильной установки, для получения достоверной информации о тепловых процессах в плодоовощехранилищах. По результатам исследований обобщенной схемы холодильной установки, установлено, что динамические свойства локальных объектов содержат "управляющих" фактор – расход холодоносителей (воздух, хладагент), который в процессе управления может изменяться во времени, что приводит к нелинейности динамических характеристик объекта управления, поэтому целесообразно создание энергоэффективной системы автоматического управления холодильной установкой с применением аппарата нечетких множеств и нейронных сетей, что обеспечит эффективное функционирование технологического оборудования и качество стабилизации параметров микроклимата при холодильном хранении даже при отсутствии полной информации.

Создана и проверена на адекватность нейросетевая система управления холодильным оборудованием, обеспечивающая регламентированные режимы воздушной среды в камере плодоовощехранилищах.

Разработана алгоритмическая и программная реализация системы автоматического управления холодильным оборудованием в плодоовощехранилищах с использованием SCADA системы с нечетким регулятором.

Основные результаты, полученные в диссертации, апробированы в камере опытного хозяйства "Мелитопольское" Мелитопольского опытной станции садоводства имени М. Ф. Сидоренко "Института садоводства Национальной академии аграрных наук Украины".

Ключевые слова: автоматизация процесса управления холодильным оборудованием, хранение плодоовощной продукции, математическое моделирование, температурно-влажностный режимы, энергоэффективность.

ABSTRACT

Gryschenko V. O. Refrigeration equipment automation control in fruits and vegetables storage. – Manuscript.

The dissertation for the degree of Ph.D, specialty 05.13.07 – automation of control. National University of Life and Environmental Sciences, Kyiv, 2016.

The dissertation is devoted to substantiation and realization of the concept of energy saving refrigeration systems management processing and storage of fruits and vegetables, which provides for a transition from continuous positional control algorithms and implementation of new management features that ensure modes while minimizing loss products and energy.

This work presents the results of theoretical and experimental research microclimate considering earlier not investigated factors: the dynamic properties of the product, the building and the external environment.

A ACS operational variables chiller using fuzzy logic rules.

The main results obtained in the dissertation tested in the camera experimental farm "Melitopol" Melitopol horticulture research station named after MF Sidorenko Horticulture Institute of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine."

Keywords: automation process control refrigeration equipment, storage of fruits and vegetables, mathematical modeling, temperature-humidity modes, energy efficiency.

Підписано до друку 5.09.2016 р. Формат 60x90¹/16. Папір офс.
Друк офс. Автор. арк. 0,9. Тираж 100 екз. Замовл. № 45.

Видавництво та друк – ТОВ «Видавництво "Знання України"».
03680, м. Київ, вул. Велика Васильківська (Червоноармійська),
57/3, к. 314. Тел. 287-41-45, 287-30-97.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 217 від 11.10.2000 р.