

ISSN 2414-3820

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

**КОНСТРУЮВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
МАШИН**

Загальнодержавний міжвідомчий
науково-технічний збірник

Випуск 53

Кропивницький • 2023

ISSN 2414-3820

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Central Ukrainian National Technical University

**DESIGN, PRODUCTION
AND EXPLOITATION
OF AGRICULTURAL MACHINES**

National Interagency Scientific
and Technical Collection of Works

Issue 53

Kropyvnytskyi • 2023

УДК 631.3.001.1 (082)

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2023. Вип. 53. 320 с.

В збірнику викладені питання конструювання, розрахунку, удосконалення, створення і дослідження нових робочих органів сільськогосподарських машин, засобів механізації, електрифікації та автоматизації сільськогосподарського виробництва. Наведені результати досліджень в галузі технологій виробництва і експлуатації машин та забезпечення їх надійності і довговічності. Викладені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в сільськогосподарській і інших галузях машинобудування. Збірник розрахований на наукових та інженерно-технічних працівників науково-дослідних установ, ВНЗ, конструкторських організацій та промислових підприємств.

Рекомендовано до друку Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол від 27 грудня 2023 року № 4.

Редакційна колегія:

Черновол М.І., д.т.н., проф. – головний редактор;
Сало В.М., д.т.н., проф. – заст. головного редактора;
Лещенко С.М., к.т.н., доц. – відповідальний секретар;
Алієв Е.Б., д.т.н., ст. докл.;
Алфьоров О.І., д.т.н., доц.;
Аулін В.В., д.т.н., проф.;
Васильковська К.В., к.т.н., доц.;
Васильковський О.М., к.т.н., проф.
Дідух В.Ф., д.т.н., проф.;
Кірчук Р.В., к.т.н., проф.;
Кириченко А.М., д.т.н., проф.;
Коваленко О.В., д.т.н., доц.;
Кропівний В.М., к.т.н., проф.;
Мацуї А.М., д.т.н., проф.;

Мелешко Є.В., д.т.н., проф.;
Мороз М.М., д.т.н., проф.;
Надикто В.Т., д.т.н., проф.;
Осадчий С.І., д.т.н., проф.;
Петренко Д.І., к.т.н., доц.;
Сайчук О.В., д.т.н., проф.;
Степаненко С.В., д.т.н., с.н.с.;
Харченко С.О., д.т.н., доц.;
Шепеленко І.В., д.т.н., проф.;
Anas M. Al-Oraiqat, D.Sc. (Королівство Саудівська Аравія);
Iurie Melnic, Ph.D., Associate Professor (Молдова);
Juozas Padgurskas, Dr., Professor;
Pošta Jozef, Ph.D., Professor (Чехія);
Predrag Dašić, Hon.D.Sc. (Serbia);
Andrii Yatskul, Ph.D., Associate Professor (Франція).

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кропивницький, проспект Університетський, 8,
Центральноукраїнський національний технічний університет, тел.: +380 (522) 390-581, +380 (522) 390-472, +380 (522) 55-10-49.

Офіційний сайт: <http://zborniksgm.kntu.kr.ua>

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Заснований у 1971 р.

Включений до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних наук (бюлетень ВАК №5 від 2010р., накази Міністерства освіти і науки України від 21 грудня 2015 року №1328, від 07 листопада 2018 року №1218, від 02 липня 2020 року № 886).

Категорія «Б»

Збірник наукових праць зберігається в загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського та представлений у міжнародних наукометричних базах даних *Index Copernicus, Word Cat, CrossRef, Open Ukrainian Citation Index, ResearchBib, Google Scholar*

Реєстраційне свідоцтво: серія КВ №23511 - 13351 ПР від 13.07.2018 р.
2414-3820 (Print) 2664-9136 (e) DOI: 10.32515/2414-3820

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.5

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.294-304>**О.І. Кепко**, доц., канд. техн. наук, **І.О. Лісовий**, доц., канд. техн. наук,**Ю.О. Ковальчук**, доц., канд. техн. наук*Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна**e-mail: piop@udau.edu.ua*

Структурно-логічна схема автоматичної системи управління замкнутою системою опалення та вентиляції теплиць

В процесі проектування автоматичної системи управління замкнутою системою опалення та вентиляції теплиць з регенерацією повітря було обґрунтовано та розроблено структурно-логічну схему управління, яка передбачає управління технологічними параметрами (температурою, вологістю, концентрацією CO₂, освітленістю). Структурно-логічна схема була створена на основі технологічної карти вирощування гливи звичайної з урахуванням зміни температури, вологості, концентрації CO₂ та освітленості у функції часу.

замкнута система вентиляції, регенерація повітря, структурно-логічна схема, вирощування грибів

Постановка проблеми. Інтерес до автоматизації теплиць зараз досяг значного рівня. Впровадження цифрових технологій в аграрне виробництво дозволило запровадити нові технології, технічну інформацію та зручність управління, зробивши рослинництво керованим на основі таких технологій [1].

Характер і тривалість перехідних процесів в теплицях при великих обсягах виробництва [2, 3] вимагає моделювання цих процесів для оцінки об'єкта на будь-якій ділянці перехідного процесу [4, 5]. Це питання особливо актуальне для замкнутих систем вентиляції, через їх складність.

Точності і надійності автоматичного управління при наявності систематичної і випадкової похибки покладають на дослідника відповідальну задачу, а їх оцінка проводиться з використанням методів теорії ймовірностей і математичної статистики [6].

Сучасні промислові штами гриба глива розроблялися з метою отримання найвищих врожаїв плодової маси при найменших витратах на їх виробництво.

Як це часто буває, штучно створені сорти пред'являють більш жорсткі вимоги в технології вирощування, ніж їх "дикі предки". Тому створення і підтримування мікроклімату на високому рівні є вимогою обов'язковою [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянемо типову технологію вирощування гливи. Найчастіше гливу вирощують на субстраті з соломи злакових культур або з відходів кукурудзи, які подрібнюють до частинок 2–4 см, після чого зволожують до 75% протягом кількох днів. Реакція середовища повинна бути близькою до нейтральної (рН близько 6,5). Змочений та добре перемішаний матеріал розміщують в камері для пастеризації, де пастеризують насиченою парою, яку пускають в камеру при температурі 65–70°C з постійною циркуляцією повітря. Пастеризація продовжується

12 годин. Далі субстрат охолоджують до 24...25°C, і змішують з міцелієм (2–5% маси субстрату), потім укладають в мішки і розміщують на стелажах в камері пророщування [8].

Камерою пророщування може бути камера пастеризації або спеціальна камера, яка має систему вентиляції та циркуляції повітря. Міцелій росте протягом 15–20 днів при відносній вологості повітря 90–95%. Температуру повітря в цей період підтримують в межах 18–20°C. Під час росту міцелій гіфами з'єднує частини субстрату, який після звільнення ємкостей залишається у вигляді блоків.

Процес плодоутворення у гливи починається після досягання міцелію і продовжується 3 тижні при температурі 20–22°C. В цей період культуру не поливають, але забезпечують добре провітрювання приміщення. Після чого субстрат виймають з мішків і блоки розміщують в плівкові або скляні теплиці штабелями (з проходами для догляду за культурою). Штабелі укривають плівкою і приміщення охолоджують до 10–12°C. Через 2–3 дні поверхня субстрату стає кремовою від появи зародків плодкових тіл. Плівку зі штабелів знімають. В період плодоношення підтримують температуру повітря 12...14°C, відносну вологість 95%, проводять вентиляцію. Приміщення для вирощування гливи повинно мати світлопроникну покрівлю або штучне освітлення. Догляд в період плодоношення складається з підтримання оптимальної температури, вологості, концентрації CO₂ та освітленості.

Постановка завдання та виклад основного матеріалу. Виходячи з вищенаведеного, процес вирощування гливи можна розбити на три основні фази: перша фаза – вегетативний ріст, друга – перехід від вегетативного росту до плодоношення, третя фаза – плодоношення. Очевидно, що фази росту – це є функція часу, тобто $\Phi = f(T)$. Виходячи з цього, складемо технологічну карту процесу вирощування культури, опускаючи при цьому процес підготовки субстрату (табл. 1).

Таблиця 1 – Технологічна карта вирощування гливи звичайної

Фази	Період	Процес	Строк виконання
I	1	Пророщування міцелію	15–20 днів
II	2	Процес плодоутворення	3 тижні
	3		2–3 тижні
III	4	Період плодоношення	до кінця плодоношення

Джерело: розроблено автором

Складемо технологічну карту зміни температури, вологості, концентрації CO₂ та освітленості у функції часу (табл. 2).

Таблиця 2 – Параметри вирощування гливи звичайної

Фази	Період	Температура, t, °C	Вологість, H, %	Концентрація CO ₂ , C, %	Освітлення, E, лк
I	1	18–20	90–95	–	–
II	2	20–22	90	0,08–0,1	500
	3	10–12	90	0,08–0,1	500
III	4	12–14	90	0,08–0,1	500

Джерело: розроблено автором

Аналогічно розглядаються культури, які вирощуються в інших приміщеннях трайдему.

Обґрунтування параметрів та режимів роботи пристрою автоматичного керування ЗСВ. Починаючи проектування, потрібно визначити вид автоматичного керуючого пристрою (АКП). Процес вирощування розбито на кілька мініпроцесів (табл. 2), які слідує один за одним, паралельно один одному, і пов'язані між собою функцією часу. Наприклад, режим опалення в першому періоді переходить в режим опалення другого періоду, а той – в режим третього періоду. Такий процес буде відповідати АКП типу “автомат”.

Для зручності складено узагальнюючу модель об'єкта управління у вигляді “чорного ящика” (рис. 1).

Згідно технології вирощування можна виділити 4 керовані величини: Y_1 – температура; Y_2 – вологість; Y_3 – концентрація CO_2 ; Y_4 – освітлення.

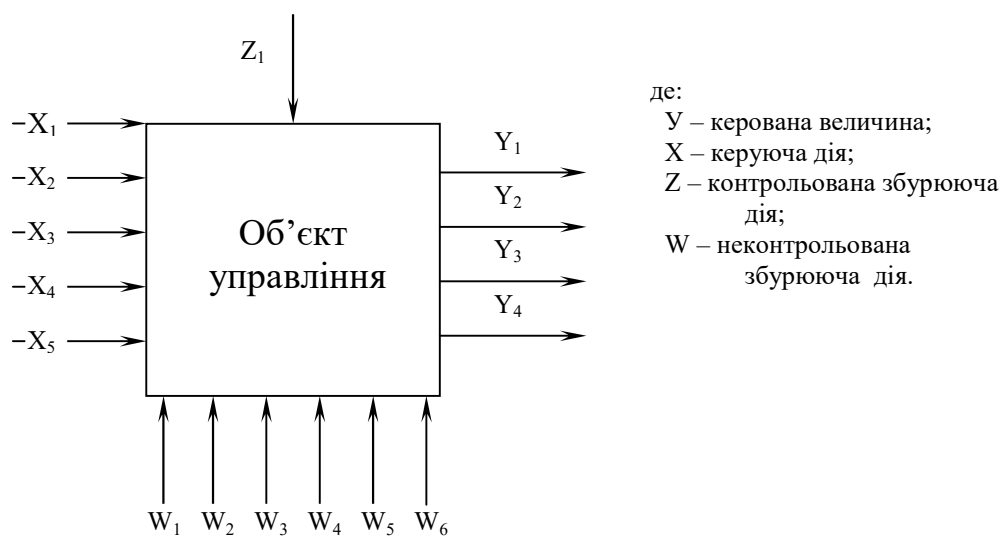


Рисунок 1 – Модель об'єкту управління

Джерело: розроблено автором

Визначимо керуючу дію. Щоб забезпечити заданий рівень температури в культивацийному приміщенні, потрібні – опалення приміщення в зимовий період та вентиляція в літній період. В першому випадку керуючою дією буде температура води в системі опалення X_1 , а в другому величина повітрообміну системи вентиляції X_2 . Для забезпечення заданої вологості необхідно або видаляти зайву вологу за допомогою вентиляції, або зволожувати приміщення (при нестачі вологи). Технологія вирощування гливи передбачає підтримання вологості повітря в першому і четвертому періодах (табл. 2) вище за атмосферну, а в другому та третьому – на рівні атмосферної. В зв'язку з цим, для першого і другого періодів як керуючу дію виберемо продуктивність установки зволоження повітря X_3 . В процесі дихання грибів виділяється значна кількість CO_2 , для видалення зайвої вуглекислоти застосуємо вентиляцію, тому за керуючу дію приймаємо величину повітрообміну вентиляційної установки X_4 . Для забезпечення режиму освітлення за керуючу дію виберемо час роботи освітлювальної установки X_5 .

Керуючі дії X_2 та X_4 однакові, тому вибираємо з них одну за принципом “диктуючої” шкідливості. Вибір між керуючими діями X_2 та X_4 буде мати, в основному, сезонний характер. Так, літом перевагу буде мати повітрообмін X_2 в зв'язку

з підвищенням температури навколишнього середовища, а взимку, навпаки, вентиляція буде проводитись тільки для видалення CO_2 .

Визначимо збурюючі дії, які впливають на об'єкт керування. Їх необхідно розбити на дві групи: контрольовані (які можливо і бажано вимірювати) та неконтрольовані (які вимірювати неможливо або не потрібно). На параметри мікроклімату в культивацийному приміщенні впливають контрольовані фактори (зовнішня температура Z_1) і неконтрольовані (швидкість вітру W_1 , відкривання дверей і воріт W_2 , вологість зовнішнього повітря W_3 , концентрація CO_2 в зовнішньому повітрі W_4 , природне освітлення W_5 , теплота, яка надходить від освітлювальних приладів та технологічного обладнання W_6).

Очевидно, що дана система керуючих дій передбачає попереднє визначення статичних та динамічних характеристик приміщення, в якому буде проводитись вирощування грибів.

Сформулюємо алгоритм функціонування і управління.

Замкнута система опалення та вентиляції в певний період доби працює як система із двох приміщень [9], тому модель об'єкту управління з деякими внутрішніми зв'язками буде мати вигляд (рис. 2).

Графічно алгоритм управління можна зобразити у вигляді блок-схеми (рис. 3).

Блок 2 передає управління 3 при виборі автоматичного режиму управління мікрокліматом в системі теплиць. У Блоці 3 формується завдання на роботу системи, вводяться вихідні дані по технологічних параметрах мікроклімату: t_{b1} , t_{b2} , t_{b3} , – температурі внутрішнього повітря, відповідно, в грибниці, світлиці та темниці; C_{b1} , C_{b2} , C_{b3} , – концентрації CO_2 в грибниці, світлиці та темниці; W_{b1} , W_{b2} , W_{b3} , – вологості внутрішнього повітря в грибниці, світлиці та темниці; E_{b1} , E_{b2} , – освітленості, відповідно, в грибниці та темниці; x – кількості повторів у циклах повтору (затримка).

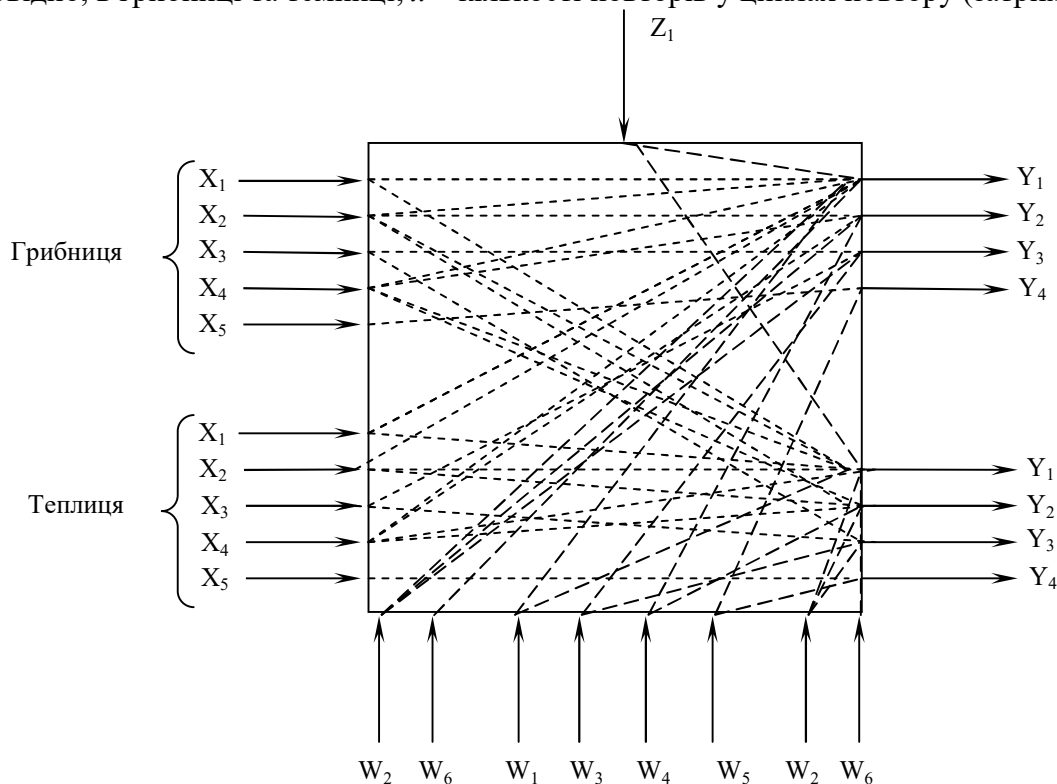
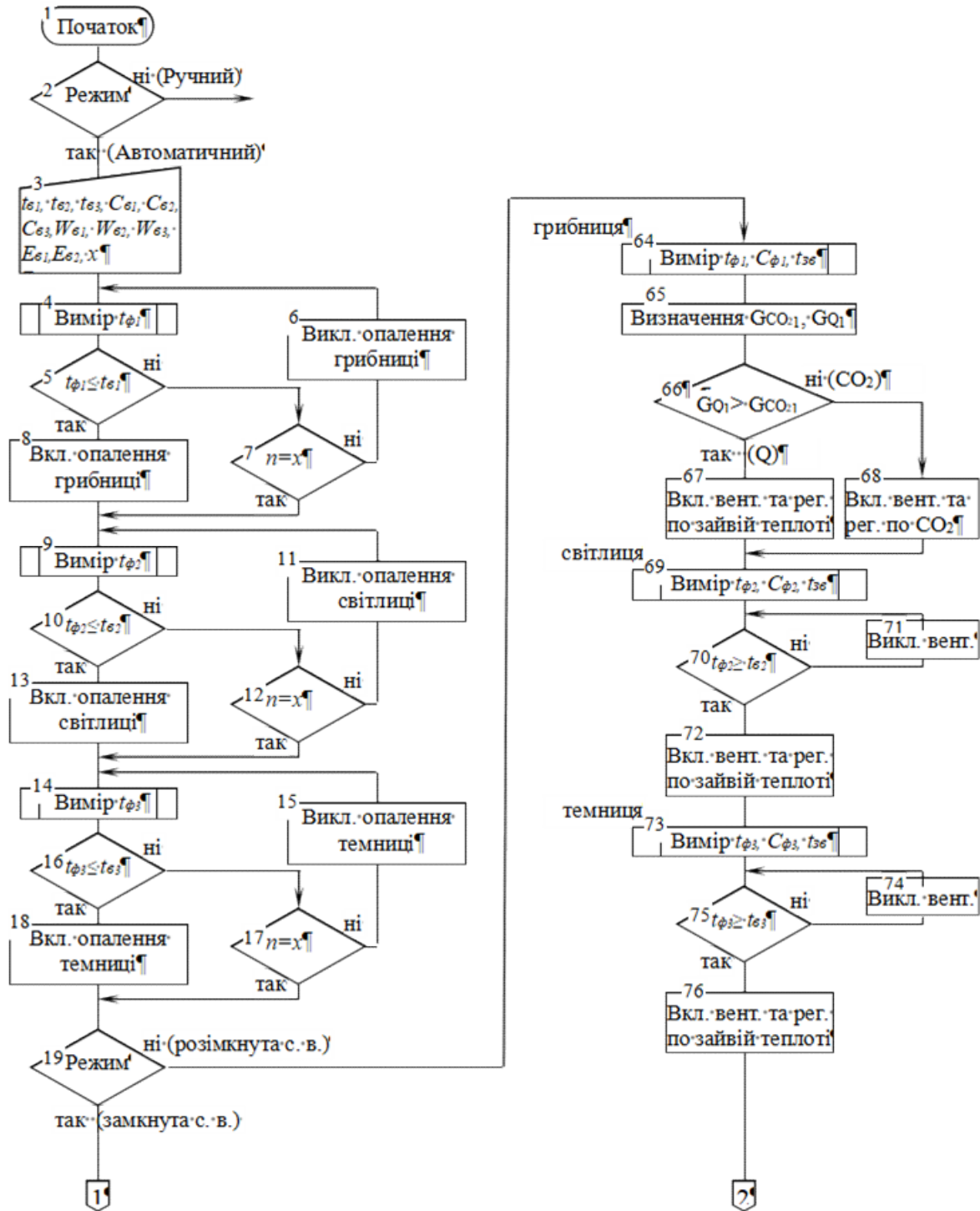


Рисунок 2 – Модель об'єкту управління

Джерело: розроблено автором



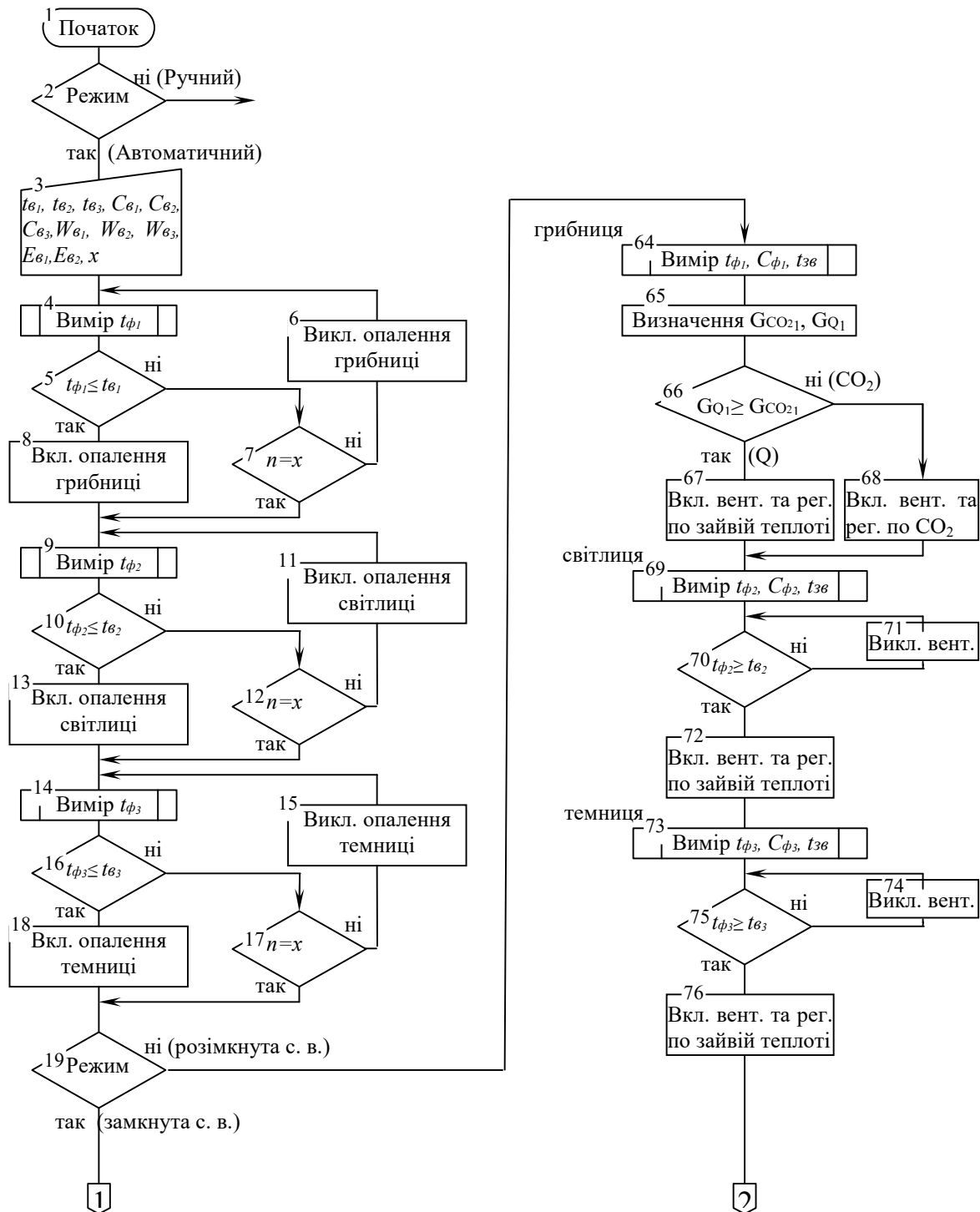


Рисунок 3.1 – Структурно-логічна схема замкнутої системи вентиляції

Джерело: розроблено автором

4-й блок вимірює фактичне (поточне) значення внутрішньої температури у грибниці та посилає його у 5, де відбувається порівняння із заданим значенням температури t_{e1} . При $t_{\phi 1} \leq t_{e1}$, блок 5 включає опалення грибниці, а при $t_{\phi 1} > t_{e1}$, проходячи через блок затримки 7, – включає його (блок 6). Аналогічними є алгоритми управління опаленням світлиці (блоки 9–13) та темниці (блоки 14–18).

У блоці 19 відбувається вибір способу управління вентиляцією теплиць –

„Розімкнута система вентиляції” або „Замкнута система вентиляції”. При виборі останньої, управління передається логічному блоку 20, де відбувається вибір пари приміщень „грибниця–світлиця” або „грибниця–темниця” в залежності від пори доби.

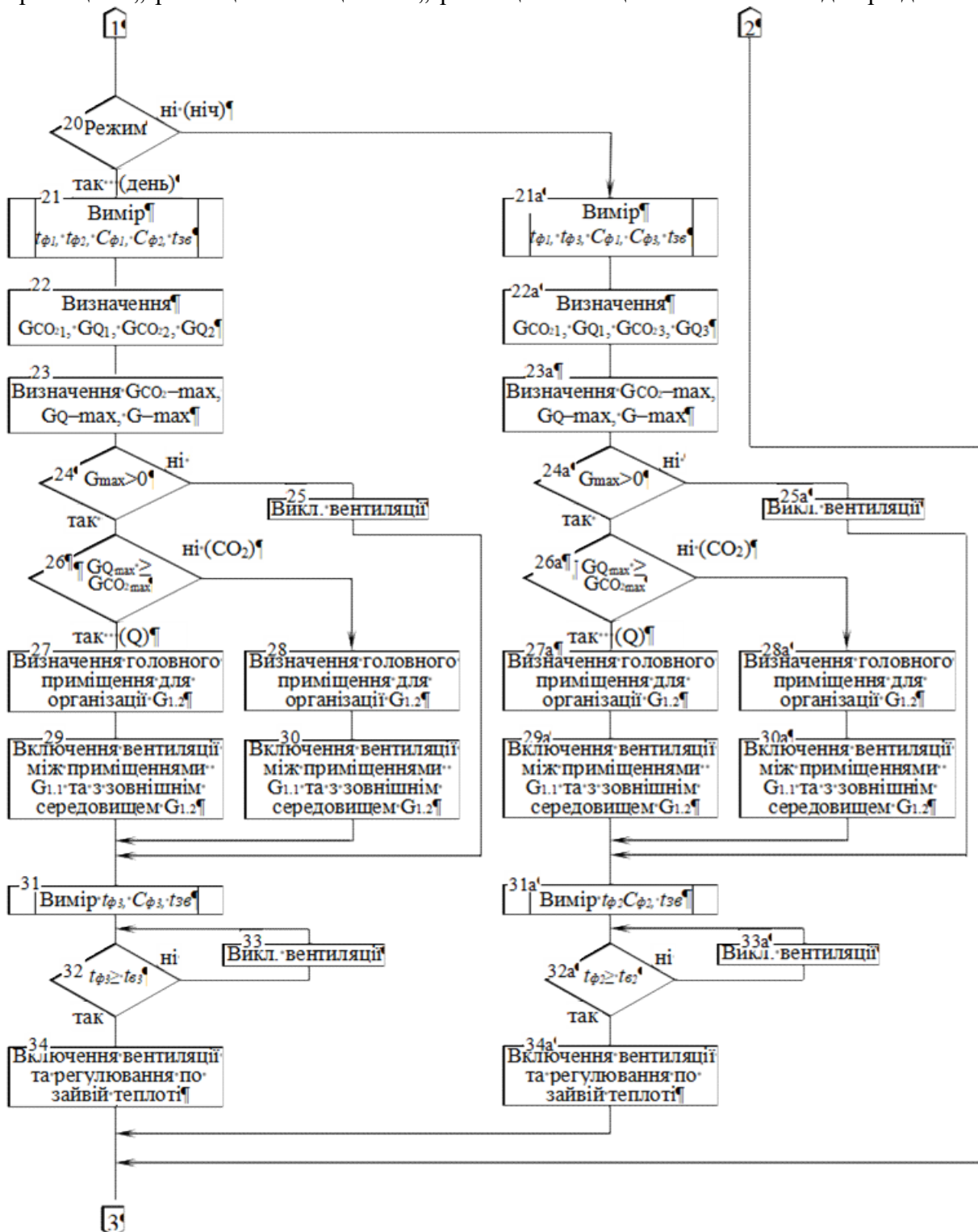


Рисунок 3.2 – Структурно-логічна схема замкнутої системи вентиляції (продовження)

Джерело: розроблено автором

В світлу частину доби при виборі пари „грибниця–світлиця” управління

передається блоку 21, в якому відбувається вимірювання поточних значень внутрішніх температури повітря і концентрації CO_2 в обох приміщеннях $t\phi_1, t\phi_2, C\phi_1, C\phi_2$ та температури зовнішнього повітря $t_{зв}$. 22-й блок розраховує величини повітрообмінів по зайвій теплоті та $CO_2 - GCO_{21}, GCO_{22}, GQ_1, GQ_2$.

В 23-му блоці визначається максимальний з повітрообмінів по вуглекислоті GCO_{2max} та максимальний по зайвій теплоті GQ_{max} , а також максимальний з них – G_{max} . Далі управління передається блоку 24, в якому G_{max} порівнюється з нулем і при відсутності повітрообміну система вентиляції не вмикається 25. При $G_{max} > 0$ в блокові 26 відбувається вибір повітрообміну по шкідливості (зайвій теплоті або CO_2).

При $GQ_{max} \geq GCO_{2max}$ повітрообмін відбувається по надлишковій теплоті і управління передається блоку 27, де відбувається вибір головного приміщення з пари „грибниця–світлиця” по найбільшому з них повітрообміну. Повітрообмін цього приміщення розділяється на два повітрообміни: 1-й організовується між парою приміщень, 2-й – між головним приміщенням і зовнішнім повітрям [9]. Блок 29 включає вентилятори замкнутої системи вентиляції та проводить регулювання їх продуктивності. При $GQ_{max} < GCO_{2max}$ управління відбувається аналогічно (блоки 28, 30). У цей час в темниці вентилявання проводиться незалежно від пари „грибниця–світлиця” (блоки 31–34).

При виборі, у блоці 20, пари „грибниця–темниця” (нічний час) управління передається 21а і далі – аналогічно денному варіанту (блоки 21а – 34а).

При виборі розімкнутої автоматичної системи (блок 19) управління передається блоку 64, в якому вимірюється поточні значення $t\phi_1, C\phi_1, t_{зв}$ грибниці. 65-й блок розраховує повітрообмін по CO_2 та Q . У 66-му логічному блоці порівнюються розраховані у 65-му, тобто визначається шкідливість, по якій проводиться вентилявання грибниці. При $GQ_1 \geq GCO_{21}$ управління передається 67, який вмикає вентиляційну установку і проводить вентилявання по зайвій теплоті. При $GQ_1 < GCO_{21}$ управління передається блоку 68 який вмикає вентиляційну установку і проводить регулювання вже по концентрації CO_2 в приміщенні. Далі управління передається блоку 69, де вимірюються поточні значення температури повітря в світлиці $t\phi_2$, концентрації $CO_2 - C\phi_2$ та зовнішньої температури повітря $t_{зв}$. У 70 відбувається порівняння фактичного значення температури в світлиці $t\phi_2$ із заданим $t_{\phi 2}$. При $t\phi_2 \geq t_{\phi 2}$ управління передається 62 для включення вентиляційної установки і регулювання повітрообміну по зайвій теплоті, при $t\phi_2 < t_{\phi 2}$ 61 включає вентиляційну установку. Вентилювання темниці відбувається аналогічно світлиці (блоки 73–76).

Алгоритм регулювання вологості в грибному приміщенні починається з блока 35, який вимірює фактичне значення вологості повітря в приміщенні $W\phi_1$ і передає управління на логічний блок 36, тут фактичне поточне значення вологості порівнюються з даним $W_{в1}$. При $W\phi_1 < W_{в1}$, після затримки у 37, вмикається установка зволоження 38. При $W\phi_1 \geq W_{в1}$ зволожувальна установка вмикається 39. Алгоритм регулювання вологості в світлиці та темниці аналогічні алгоритму грибного приміщення, відповідно, блоки 40–44 та 45–49.

Алгоритм регулювання освітлення починається з блоку 50, який вимірює поточне значенні освітленості в грибниці і передає управління на логічний блок 52. При зменшенні освітлення в приміщенні грибниці нижче 1500 лк включається 50% ламп (блок 50). При $E\phi_1 > 1500$ лк після блоку затримки 53 передається команда на виключення освітлення 51. Після вимірювання поточного значення освітленості у блоці 57 $E\phi_1$ порівнюється із заданим значенням освітленості в 1000 лк. При $E\phi_1 \leq 1000$ лк блок 59 включає 100% ламп системи освітлення при $E\phi_1 > 1000$ лк. після блоку 58 управління передається на блок 56 відключення 50% ламп освітлювальної системи.

Управління освітленням в темниці проводиться по погодинній програмі, яка включає в себе блок 60 порівняння фактичного часу доби із заданим часом вмикання освітлення темниці (21.00) і блока 62 із часом вимикання. Включення і виключення освітлення проводиться блоками 61 і 63.

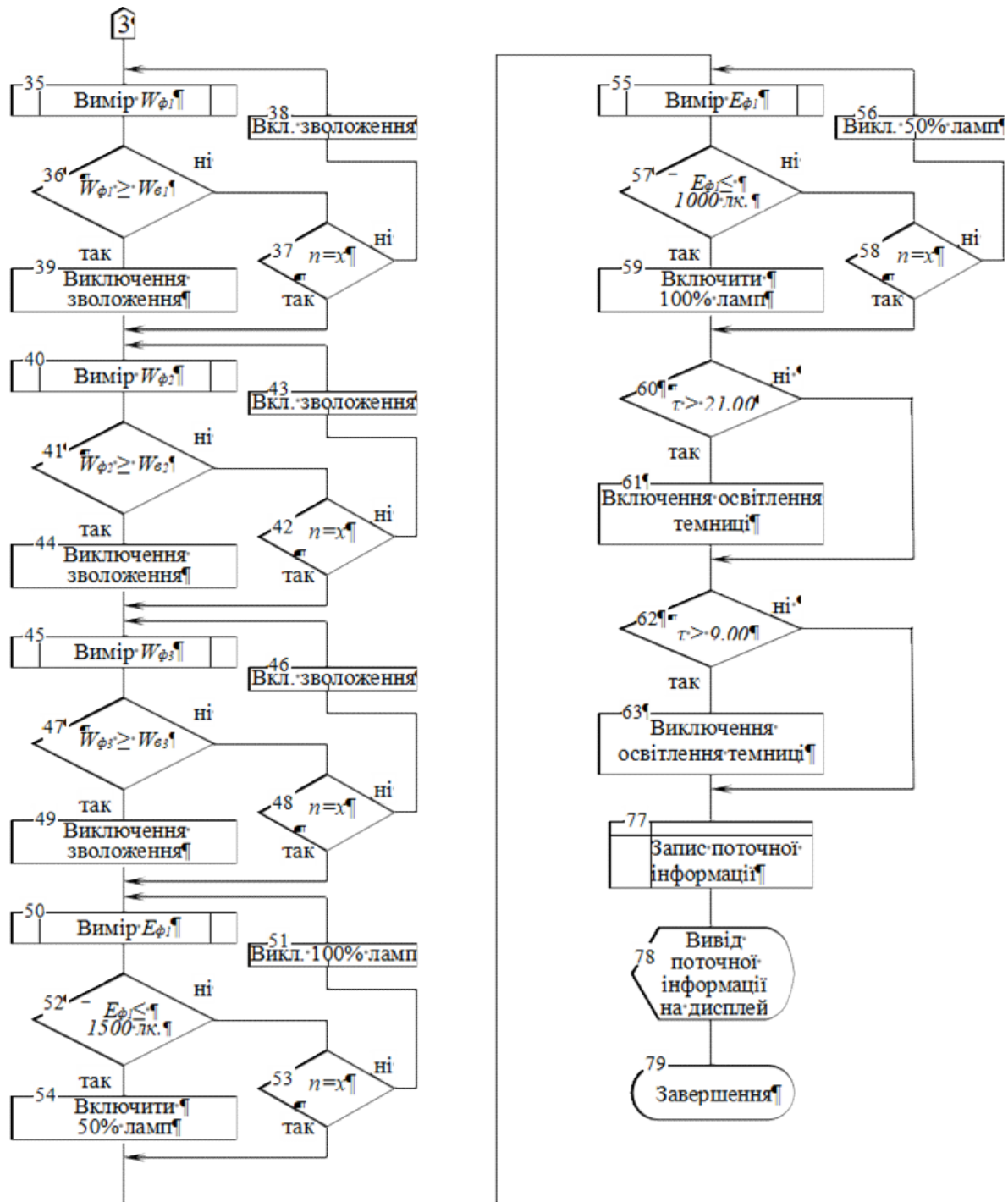


Рисунок 3.3 – Структурно-логічна схема замкнутої системи вентиляції (закінчення)
Джерело: розроблено автором

Блоки 77 і 78 реалізують алгоритм запису поточної інформації на пристрій запам'ятовування та вивід інформації на пристрій індикації (монітор).

Алгоритм управління є основою для подальшого проектування.

Для вибору типу регулятора визначаємо, що $\tau/T_1 = 0,11$ і $\tau/T_{2a} = 44,8$ [10].

При відношенні $\tau/T > 0,2$ вибираємо регулятор безперервної дії.

Всі прилади та виконавчі пристрої працюють на електроенергії.

Як видно з алгоритму управління, автомат повинен мати пам'ять. Протягом всього технологічного циклу пристрій повинен пам'ятати значення температури, вологості, концентрації CO₂ та освітленості в кожному приміщенні та інші.

По виду пам'яті, яка використовується, пристрій буде синхронним, так як зміна параметрів автоматичного пристрою управління (АПУ) буде відбуватися в момент надходження синхронізуючих імпульсів.

В зв'язку з тим, що деякі перехідні процеси не є стабільними, і мають коливальний характер, за винятком, у нашому випадку, освітленості, то виникає необхідність ввести в алгоритм управління затримку для реагування системи на тривалість імпульсів.

Висновки:

1. Встановлено, що з точки зору автоматичного управління температурою субстрату та повітря, система „культиваційне приміщення – теплиця” з водяною системою опалення являє собою двоємнісний об'єкт.

2. Обґрунтовано та розроблено структурно-логічну схему управління замкнутою системою опалення та вентиляції, яка передбачає управління технологічними параметрами (температурою, вологістю, концентрацією CO₂, освітленістю) в системі.

Список літератури

1. Achour Yasmine, Ouammi Ahmed, Zejli Driss, Technological progresses in modern sustainable greenhouses cultivation as the path towards precision agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 147(3). pp.111251
2. Sethi V.P., Sumathy K., Lee C., Pal D.S. Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: A review on heating technologies. *Solar Energy*. 2013. Vol. 96. pp. 56–82.
3. Costantino A., Comba L., Sicardi G., Bariani M., Fabrizio E. Energy performance and climate control in mechanically ventilated greenhouses: A dynamic modelling-based assessment and investigation. *Applied Energy*. 2021. Vol. 288. Pp. 116583.
4. Gorobec V., Yatsenko O. Development and heating systems mathematical model of heat and mass transfer in the greenhouse with alternative energy sources. *Energy and automation*. 2014. Vol. 1.
5. Dudnyk A. O. Synthesis and research of mathematical models of energy consumption for heating greenhouses in winter. *Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Technology and energy of agricultural industry*. 2014. Vol. 194 (3). Pp. 218–222.
6. Шелестовський Б.Г., Габрусев Г.В., Габрусєва І.Ю. Вища математика: теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посібник. Тернопіль : СМП "Тайп", 2023. 142 с.
7. Achour Yasmine, Ouammi Ahmed, Zejli Driss Technological progresses in modern sustainable greenhouses cultivation as the path towards precision agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 147(3). pp.111251.
8. Голуб Г.А., Кепко О.І. Вибір структури цехів по виробництву субстратів та вирощуванню грибів. *Наук. вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. № 251. 2016. С. 183–192.
9. Golub G., Kepko O. Modelling the work of closed system of heating and ventilation of greenhouses. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 52, № 2. Pp. 85–90.
10. Golub G., Kepko O., Pushka O., Kovtuniuk Z., Kotliar T. Modeling of substrate and air temperature dynamics in the mushroom greenhouse. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2023. Vol. 69, № 1. Pp. 315–324.

References

1. Achour, Yasmine; Ouammi, Ahmed & Zejli, Driss. (2021). Technological progresses in modern sustainable greenhouses cultivation as the path towards precision agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147(3). pp.111251. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111251> [in English].

2. Sethi, V. P., Sumathy, K., Lee, C. & Pal, D. S. (2013). Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: A review on heating technologies. *Solar Energy*, 96, pp. 56–82 [in English].
3. Costantino, A., Comba, L., Sicardi, G., Bariani, M. & Fabrizio, E. (2021). Energy performance and climate control in mechanically ventilated greenhouses: A dynamic modelling-based assessment and investigation. *Applied Energy*, 288 [in English].
4. Gorobec, V. & Yatsenko, O. (2014). Development and heating systems mathematical model of heat and mass transfer in the greenhouse with alternative energy sources. *Energy and automation*, 1 [in English].
5. Dudnyk, A. O. (2014). Synthesis and research of mathematical models of energy consumption for heating greenhouses in winter. *Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Technology and energy of agricultural industry*, 194 (3), pp. 218–222 [in English].
6. Shelestovskiy B.H., Habrusiev H.V. & Habrusieva I.Iu. (2023) Vyshcha matematika: teoriia ymovirnosti ta matematychna statystyka [Higher mathematics: probability theory and mathematical statistics]. Navchalnyi posibnyk. Ternopil: SMP "Taip" [in Ukrainian].
7. Achour, Yasmine; Ouammi, Ahmed & Zejli, Driss. (2021). Technological progresses in modern sustainable greenhouses cultivation as the path towards precision agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147147(3). pp.111251 [in English].
8. Holub, H.A. & Kepko, O.I. (2016). Vybir struktury tsekhiv po vyrobnytstvu substrativ ta vyroshchuvanniu hrybiv [The choice of the structure of workshops for the production of substrates and the cultivation of mushrooms]. *Nauk. visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK – Science Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: agribusiness technology and energy, № 251*, 183–192 [in Ukrainian].
9. Golub, G. & Kepko, O. (2017). Modelling the work of closed system of heating and ventilation of greenhouses. *INMATEH – Agricultural Engineering, Vol.52, 2*, 85-90 [in English].
10. Golub G., Kepko O., Pushka O., Kovtuniuk Z. & Kotliar T. (2023). Modeling of substrate and air temperature dynamics in the mushroom greenhouse. *INMATEH – Agricultural Engineering, Vol.69, 1*, 315–324. doi:DOI: <https://doi.org/10.3563> [in English].

Oleg Kepko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Lisovyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yuriy Kovalchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Structural and Logic diagram of the Automatic Control System of the Closed Heating AND Ventilation System of Greenhouses

In the process of designing an automatic control system for a closed system of heating and ventilation of greenhouses with air regeneration, a structural and logical control scheme was substantiated and developed, which provides control of technological parameters (temperature, humidity, CO₂ concentration, lighting).

The structural-logical scheme was created on the basis of the technological map of the cultivation of common oyster mushrooms taking into account changes in temperature, humidity, CO₂ concentration and illumination as a function of time. As a result of the study, controlled quantities, control actions, controlled disturbing actions and uncontrolled disturbing actions were determined. The parameters and modes of operation of the device for automatic control of the closed ventilation system are substantiated. The proposed control algorithm must have memory. During the entire technological cycle, the device must remember the values of temperature, humidity, CO₂ concentration and lighting in each room and others. According to the type of memory used, the device will be synchronous, as the parameters of the automatic control device (APU) will change at the moment of arrival of synchronizing pulses. Due to the fact that some transient processes are not stable and have an oscillatory character, with the exception of illumination in our case, it is necessary to introduce a delay into the control algorithm for the response of the system to the duration of pulses. All devices and executive devices work on electricity.

Conclusions: 1. It was established that from the point of view of automatic control of the temperature of the substrate and air, the system "cultivation room – greenhouse" with a water heating system is a two-volume object. 2. The structural and logical control scheme of the closed heating and ventilation system, which provides for the control of technological parameters (temperature, humidity, CO₂ concentration, illumination) in the system, is substantiated and developed.

closed ventilation system, air regeneration, structural and logical scheme, mushroom cultivation

Одержано (Received) 13.11.2023

Прорецензовано (Reviewed) 30.11.2023

Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023

ЗМІСТ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Д.Ю. Артеменко, В.А. Онопа, О.А. Кислун, К.А. Муленко</i> Теоретичне обґрунтування конструктивних особливостей котка для передпосівного обробітку ґрунту	3
<i>М. Л. Заєць</i> Вплив параметрів дискових сошників на передавальну здатність прорізання пожнивних решток у системі нульового обробітку ґрунту	16
<i>В.М. Булгаков, О.М. Троханяк</i> Дослідження та вдосконалення запобіжних механізмів шнекових конвеєрів	23
<i>Igor Beshlyage, Leonid Malay, Victor Popescu</i> Comprehensive evaluation of synthetic motor oil.....	32
<i>С.П. Степаненко, О.П. Гриценко</i> Математичне моделювання стійкості руху асиметричної дискової борони	39

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

<i>Г.В. Теслюк, Е.Б. Алієв, Ю.В. Теслюк</i> Техніко-економічне обґрунтування геометричних параметрів біонічних культиваторних лап на основі морфології риб.....	51
<i>Г.М. Калетнік, В.М. Яропуд</i> Експериментальні дослідження ефективності функціонування систем забезпечення мікроклімату від'ємного тиску в тваринницьких приміщеннях.....	66
<i>В.О. Шейченко, С.П. Коропченко, І.А. Дудніков, Ю.Б. Скоряк, Я.М. Сало</i> Техніко-технологічні рішення інтенсифікації перероблення конопляної сировини.....	85
<i>В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко</i> Щодо надійності технологічного процесу подрібнення пожнивних решток.....	93
<i>Р.В. Кісільов, В.М. Кропівний, П.Г. Лузан, О.В. Нестеренко</i> Вдосконалення конструкції бітерів дозатора кормів порційної дії.....	110
<i>В.Ю. Дудін, В.Б. Говоруха</i> Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів стрічково-гвинтового змішувача сипких кормів.....	112
<i>Е.Б. Алієв, В.Ю. Дудін, М. О. Лінко</i> Результати експериментальних досліджень малогабаритного експандера кормів	121
<i>К.В. Васильковська, О.О. Андрієнко, В.О. Малаховська</i> Аналіз ефективності агродронів для внесення технологічних матеріалів в системі точного землеробства.....	131

<i>С.П. Степаненко, Д.А. Волик</i> Математичне моделювання та результати експериментальних досліджень процесу вібропневмоімпульсного поділу насіння за густиною	138
<i>В.Ф. Дідух, І.Є. Цизь, В.В. Тарасюк, С.М. Хомич</i> Дослідження процесу формування у ґрунті вологоутримуючого шару	149
<i>Ruslan Kirchuk, Lyudmila Zabrodotskaya, Taras Haponiuk, Ruslan Ferents</i> Experimental studies and mathematical model of the rapeseed seed drying process	158
<i>О.А. Бурлака, А.О. Келемеш, О.В. Горбенко</i> Елементи організації операційних технологій в рослинництві з урахуванням аграрних ризиків	166
<i>В.В. Кравченко, А.В. Войтік, І.О. Лісовий</i> Застосування мехатронних систем в системі машин для тваринництва	176
<i>О.І. Біловод, В.В. Падалка, О.А. Бурлака</i> Оновлення тракторного парку Полтавської області, аналіз та перспективи	186
<i>С.М. Лещенко, В.М. Сало, Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, В. Мельніченко</i> Дослідження впливу параметрів глибокорозпушувача та комбінації робочих органів на ефективність обробітку ґрунту	196
<i>В.І. Ребенко, В.С. Хмельовський, В.М. Туринський</i> Обґрунтування форми споруди для промислового утримання кіз	208
<i>В.А. Дейкун, В.М. Кропівний, Р.В. Москальченко</i> Аналіз способів посіву, перспективи вдосконалення	218
<i>А.В. Бабій, І.В. Головецький, Ю.Б. Гладьо</i> Дослідження кінематичних параметрів вібраційного лемеша картоплекопача з використанням комп'ютерної програми	227
<i>О. Задорожній, С.М. Мороз, О.М. Васильковський</i> Аналіз конструкцій очисних пристроїв гравітаційних решіт з коливальним рухом решітного стану зерноочисних машин загального призначення	237
<i>С.П. Степаненко, С.П. Тримбач</i> Математичне моделювання процесу утворення гранул із сипких матеріалів в грануляторах з кільцевою матрицею	247
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО	
<i>М.М. Студент, С.І. Маркович, В.М. Гвоздецький, Х.Р. Задорожна</i> Вплив складу шихти порошкових дротів на механічні властивості та корозійну стійкість електродугових покриттів	256

А.В. Рутковський, С.І. Маркович, С.О. Магопець, В.С. Маркович
Дослідження залежності мікротвердості модифікованих поверхонь титанових сплавів від глибини насичення азотом при вакуумному іонному плазмовому азотуванні в термоциклічному режимі 264

М.І. Денисенко
Відновлення та зміцнення деталей і робочих органів сільськогосподарських машин, працюючих в абразивному середовищі..... 271

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

А.О. Сергєєв, В.М. Боков, В.М. Шмельов
Удосконалення електроерозійної головки розмірної обробки дугою на базі настільного свердлувального верстата з ручною подачею електрода-інструмента..... 285

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

О.І. Кепко, І.О. Лісовий, Ю.О. Ковальчук
Структурно-логічна схема автоматичної системи управління замкнутою системою опалення та вентиляції теплиць 294

О.О. Пархомовський, Д.В. Трушаков, М.О. Федотова, О.А. Козловський
Модернізація та дослідження системи керування процесом ферментації опари 305

CONTENT

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING

<i>Dmytro Artemenko, Volodymyr Onopa, Oleh Kyslun, Kostiantyn Mulenko</i>	
Theoretical Substantiation of the Design Features of the Roller for Pre-sowing Tillage.....	3
<i>Maksym Zayets</i>	
Influence of Parameters of Disc Coulters on the Transmission Capacity of Cutting Crop Residues in the System of Zero Tillage	16
<i>Volodymyr Bulgakov, Oleksandra Trokhanyak</i>	
Research and Improvement of Safety Mechanisms of Screw Conveyors	23
<i>Igor Beshlyage, Leonid Malay, Victor Popescu</i>	
Comprehensive Evaluation of Synthetic Motor Oil	32
<i>Serhii Stepanenko, Oleksandr Hrytsenko</i>	
Mathematical Modeling of the Stability of Movement of Asymmetric Disc Harrow	39

AGROENGINEERING

<i>Hennadii Tesliuk, Elchyn Aliiev, Yuliia Tesliuk</i>	
Technical and Economic Justification of Geometric Parameters of Bionic Cultivation Tines Based on Fish Morphology	51
<i>Hryhorii Kaletnik, Vitalii Yaropud</i>	
Experimental Studies of the Effectiveness of Systems for Providing Negative Pressure Microclimate in Livestock Premises	66
<i>Viktor Sheychenko, Serhii Koropchenko, Ihor Dudnikov, Yuliia Skoryak, Yaroslav Salo</i>	
Technical and Technological Solutions for the Intensification of the Processing of Hemp Raw Materials	85
<i>Vasyl Salo, Dmytro Bohatyrov, Serhii Leshchenko</i>	
Regarding the Reliability of the Technological Process of Shredding Crop Residues	93
<i>Ruslan Kisilov, Volodymyr Kropivny, Petro Luzan, Olexsander Nesterenko</i>	
Design Improvement of Beaters Portioned Feed Dispenser	101
<i>Volodymyr Dudin, Volodymyr Govorukha</i>	
Justification of the Structural and Technological Parameters of the Belt-screw Mixer of Loose Fodder.....	112
<i>Elchyn Aliiev, Volodymyr Dudin, Mykola Linko</i>	
Results of Experimental Studies of a Small-sized Fodder Expander.....	121

<i>Kateryna Vasytkovska, Olha Andriienko, Valentyna Malakhovska</i> Analysis of the Energy Efficiency of Agricultural Drones in the System of Precision Agriculture.....	131
<i>Serhii Stepanenko, Daryna Volyk</i> Mathematical Modeling and the Results of Experimental Research of the Process of Density-Based Seed Separation Using Vibro-Pneumatic-Impulse Technology.....	138
<i>Volodymyr Didukh, Igor Tsiz, Victor Tarasyuk, Serhii Khomych</i> Research of the Process of Formation of a Moisture-retaining Layer in the Soil.....	149
<i>Ruslan Kirchuk, Lyudmila Zabrodotskaya, Taras Haponiuk, Ruslan Ferents</i> Experimental studies and mathematical model of the rapeseed seed drying process.....	158
<i>Oleksii Burlaka, Anton Kelemesh, Oleksandr Gorbenko</i> Elements of the Organization of Operational Technologies in Crop Production Considering Agrarian Risks	166
<i>Vasyl Kravchenko, Andrii Voitik, Ivan Lisovyi</i> Application of Mechatronic Systems in the System of Machines for Animal Husbandry	176
<i>Oleksandra Bilovod, Viacheslav Padalka, Oleksii Burlaka</i> Update of the Tractor Park of the Poltava Region, Analysis and Perspectives	186
<i>Serhii Leshchenko, Vasyl Salo, Dmytro Petrenko, Olexiy Vasytkovskiy, Viktor Melnychenko</i> Research on of the Influence of Deep Tiller Parameters and Combination of Operating Parts on Soil Cultivation Efficiency	196
<i>Victor Rebenko, Vasyl Khmelovskiy, Vasyl Turinskyi</i> Substantiation of the Building Form for Industrial Goat Keeping.....	208
<i>Viktor Deikun, Volodymyr Kropivnyy, Roman Moskalchenko</i> Analysis of Sowing Methods, Prospects for Improvement.....	218
<i>Andrii Babii, Ivan Holovetskyi, Yurii Hlado</i> Research of Kinematic Parameters of the Vibrating Ploughshare of a Potato Digger Using a Computer Program.....	227
<i>Oleksii Zadorozhnii, Serhii Moroz, Oleksii Vasytkovskiy</i> Analysis of Designs the Cleaning Devices of Gravity Sieves With Oscillating Movement of the Sievestate of General-Purpose Graincleaning Machines.....	237
<i>Serhii Stepanenko, Serhii Trimbach</i> Mathematical Modeling of the Process of Forming Granules From Bulk Materials in Ring Matrix Granulators	247

MATERIALS SCIENCE

- Mykhailo Student, Sergiy Markovych, Volodymyr Hvozdetkii, Khrystyna Zadopozna*
 Research on the Dependence of the Microhardness of Modified Surfaces of Titanium Alloys on the Depth of Nitrogen Saturation During Vacuum Ion Plasma Nitriding in the Thermocyclic Mode 256
- Anatoly Rutkovskiy, Sergiy Markovych, Sergiy Magopec, Viktor Markovych*
 Research on the Dependence of the Microhardness of Modified Surfaces of Titanium Alloys on the Depth of Nitrogen Saturation During Vacuum Ion Plasma Nitriding in the Thermocyclic Mode 264
- Mykola Denysenko*
 Restoration and Strengthening of Parts and Tool of Agricultural Machinery Operating in an Abrasive Environment..... 271

APPLIED MECHANICS

- Anton Sergeev, Viktor Bokov, Vitaly Shmelov*
 Improvement of the EDM Head for Dimensional Processing With an Arc on the Basis of a Desktop Drilling Machine With Manual Feeding of the Electrode-Tool..... 285

**AUTOMATION AND COMPUTER
INTEGRATED TECHNOLOGIES**

- Oleg Kepko, Ivan Lisovyi, Yuriy Kovalchuk*
 Structural and Logic Diagram of the Automatic Control System of the Closed Heating AND Ventilation System of Greenhouses 294
- Oleksandr Parkhomovskyi, Dmytro Trushakov, Marianna Fedotova, Oleksandr Kozlovskyi*
 Modernization and Research of the Control System of the Process of Dough Fermentation..... 305

**Конструювання, виробництво та експлуатація
сільськогосподарських машин**

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник

Заснований у 1971 році

Випуск 53

За загальною редакцією М.І. Черновола

Відповідальний за випуск С.М. Лещенко

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво про реєстрацію № 05720-ПП-1 від 10.12.1996.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53*

Здано в набір 22.12.2023. Підписано до друку 27.12.2023. Формат 60x84 1/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Умов. друк. арк. 40

Обл. вид. арк. 37,7. Наклад 300 прим. Замовлення № 0846