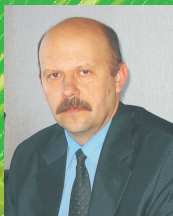




**ГОЛУБ Геннадій Анатолійович**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, директор НДІ техніки і технологій Національного університету біоресурсів і природокористування України. Лауреат премії УААН "За видатні досягнення в аграрній науці". Народився в селі Коломиїці Покровського району Дніпропетровської області. З відзнакою закінчив Нікопольський технікум гідромеліорації і механізації сільського господарства та Українську сільськогосподарську академію. До вступу в аспірантуру Українського НДІ механізації та електрифікації сільського господарства працював інженером у колгоспі. Після закінчення аспірантури працював на посадах молодшого, наукового та старшого наукового співробітника Українського НДІ механізації та електрифікації сільського господарства. Захистив кандидатську дисертацію на тему "Інтенсифікація обробки та утилізації активного мулу стічних вод свинокомплексів методом електроосмосу". Після закінчення докторантури при ННЦ "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства" УААН, працював провідним науковим співробітником лабораторії механізації застосування органічних добрив. У 2005 році захистив докторську дисертацію на тему "Механіко-технологічне обґрунтування технічних засобів для агропромислового виробництва їстівних грибів". У подальшому працював на посадах завідувача лабораторії інженерних проблем біотехнологічних процесів та завідувач відділу інженерних проблем виробництва і використання біопалив Національного наукового центру "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства" НААН України. Автор біля 215 опублікованих наукових праць, в тому числі 32 авторських свідоцтв і патентів на винаходи.



**Гайденко Олег Миколайович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доктор філософії в технічних науках, завідувач лабораторії маркетингу, економічного аналізу та захисту інтелектуальної власності Кіровоградського інституту агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України. Народився в селі Коритно-Забузьке Вільшанського району Кіровоградської області. У 2000 році з відзнакою закінчив Кіровоградський державний технічний університет за спеціальністю "Механізація сільського господарства" та здобув кваліфікацію інженера-механіка. У 2003 році, у цьому ж ВУЗі, здобув другу вищу освіту за кваліфікацією спеціаліста з "Обліку і аудиту". З 2004 по 2007 рр. навчався в аспірантурі Національного наукового центру "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства" УААН. У 2009 році захистив кандидатську дисертацію на тему "Обґрунтування параметрів поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи". Трудовий шлях розпочав у 2003 році, працюючи на посадах наукового співробітника лабораторії механізації Кіровоградської державної сільськогосподарської дослідної станції Української академії аграрних наук України, а в подальшому – завідувача лабораторії випробування, економічного обґрунтування та наукового супроводження інноваційних технологій Кіровоградського інституту агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України. За період роботи в науковій установі одноосібно та у співавторстві опублікував біля 80 наукових праць в Україні та за кордоном, у фахових, наукових та періодичних виданнях, в тому числі співавтор 4 патентів України на винаходи. З 2007 року є сільськогосподарським експертом-дорадником з питань механізації та економіки сільськогосподарського виробництва, а з 2012 року стипендіат Кабінету Міністрів України. За період наукової діяльності був нагороджений Почесними грамотами Президії Української академії аграрних наук (2008 р.) та Міністерства аграрної політики України (2009 р.); грамотою Державного департаменту інтелектуальної власності (2010 р.).



**КЕПКО Олег Ігорович**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри прикладної інженерії Уманського національного університету садівництва. Народився в місті Нова Каховка Херсонської області. З відзнакою закінчив Новокаховський технікум гідромеліорації, механізації і електрифікації сільського господарства та Українську сільськогосподарську академію. До вступу в аспірантуру Українського НДІ механізації та електрифікації сільського господарства працював старшим інженером КВПІА у Ітахорядгоосі. Після закінчення аспірантури працював на посаді асистента кафедри тракторів і автомобілів Уманського державного аграрного університету. Захистив кандидатську дисертацію на тему "Енергозберігаючі режими роботи замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць". Після захисту дисертації працював доцентом кафедри енергетичних засобів технологічних процесів та обладнання. З 2006 року очолює кафедру прикладної інженерії Уманського НУС. Автор біля 50 опублікованих наукових праць, в тому числі 4 авторських свідоцтв і патентів на винаходи.

**Голуб Г. А.,  
Гайденко О. М., Кепко О. І.**

# ІНЖЕНЕРІЯ ВИРОБНИЦТВА ГЛИВИ

## ІНЖЕНЕРІЯ ВИРОБНИЦТВА ГЛИВИ

**Голуб Г. А.  
Гайденко О. М.  
Кепко О. І.**



**Національний університет біоресурсів і природокористування України**  
**Кіровоградський інституту агропромислового виробництва**  
**Національної академії аграрних наук України**

**Г. А. ГОЛУБ, О. М. ГАЙДЕНКО, О. І. КЕПКО**

# **ІНЖЕНЕРІЯ ВИРОБНИЦТВА ГЛИВИ**

**МОНОГРАФІЯ**

**Кіровоград**  
**Видавець Лисенко В.Ф.**  
**2012**

**ББК 42.349**

**Г 62**

**УДК 631.333.92:631.344.8**

**Рецензенти:**

**Сидорчук О. В.** – член-кореспондент НААН України, доктор технічних наук, професор;

**Фененко А. І.** – доктор технічних наук, професор;

**Сало В. М.** – доктор технічних наук, професор.

Монографію розглянуто й схвалено до друку на засіданнях вчених рад Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 9, від 25 квітня 2012 року) та Кіровоградського інституту агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (протокол № 3, від 27 лютого 2012 року).

**Голуб Г.А., Гайденок О.М., Кепко О.І.**

Г 62      Інженерія виробництва гливи. – Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012. – 448 с.

ISBN 978-966-2570-35-9

У монографії наведено основні принципи біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах із виробництвом істівних грибів, висвітлені наукові основи створення технічних засобів для агропромислового виробництва субстратів та грибів гливи. Значна увага приділена особливостям роботи технічних засобів та їх робочих органів, теоретичним основам їх розрахунку, застосуванню замкнутої системи опалення і вентиляції на основі теоретичних і експериментальних досліджень теплообмінних та газообмінних процесів в замкнутій системі вентиляції. У роботі використані результати власних досліджень, а також результати досліджень українських та зарубіжних вчених.

Монографія призначена для наукових співробітників, аспірантів, конструкторів сільськогосподарської техніки, студентів та фахівців сільського господарства.

ББК 42.349

ISBN 978-966-2570-35-9

© Голуб Г.А., Гайденок О.М., Кепко О.І., 2012

© Видавець Лисенко В.Ф., 2012

## ВСТУП

Ріст урожайності польових культур забезпечується як шляхом виведення нових сортів та гібридів, так і завдяки широкому використанню мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, стимуляторів росту та збільшенням інтенсивності обробітку ґрунту. Це призводить до зменшення родючості ґрунтів, а також періодичного перегляду та збільшення значень нормативних показників, що характеризують безпечність продуктів харчування. Високоякісну та екологічно безпечну продукцію сільського господарства можна отримати без використання синтетичних речовин при одночасному збереженні родючості ґрунтів, однак у цьому випадку резерви збільшення урожайності обмежені, що входить у протиріччя з потребами у сільськогосподарській продукції. Тому проблема виробництва високоякісних та екологічно безпечних продуктів харчування в кількості, достатній для забезпечення потреб населення з одночасним відтворенням родючості ґрунтів, є актуальною для агропромислового виробництва.

При еволюції систем обробітку ґрунту від стану, коли мінеральні добрива не використовувалися до системи з використанням тільки мінеральних добрив кількість виробленої продукції збільшувалася, а її екологічна безпечність зменшувалася.

Зниження родючості ґрунтів у результаті зменшення в них умісту гумусу, а також використання примітивних методів біологічної конверсії наявних органічних ресурсів в агроценозах є однією з причин низької ефективності сільськогосподарського виробництва. В умовах інтенсивного використання земельних ресурсів спостерігається тенденція до зниження вмісту гумусних речовин у ґрунтах, яка поєднується з неефективним використанням органічної сировини агроценозів (соломи, посліду, гною та ін.), відсутністю концептуального взаємозв'язку окремих елементів біологічної конверсії з наявними ресурсами органічної сировини, а також відсутністю проектних, технологічних та технічних

рішень для впровадження біологічної конверсії органічної сировини при існуючих формах організації сільськогосподарського виробництва.

Використання сучасних методів біологічної конверсії органічної сировини дозволяє збільшити питомий вихід продукції та економічну ефективність сільськогосподарського виробництва. Роботи в цьому напрямку в Україні проводяться в Інститутах механізації тваринництва й овочівництва та баштанництва Національної академії аграрних наук України, Українському науково-дослідному інституті прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва ім. Л. Погорілого, Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Інституті ботаніки Національної академії наук України.

В даний час відсутні економічно обґрунтовані технологічні процеси та технічні засоби, які б забезпечували інтенсифікацію в штучних умовах існуючого природного кругообігу органічної сировини в агроценозах. Упровадження біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах шляхом розробки та використання у виробництві механізованих технологій та технічних засобів для виробництва субстратів та їстівних грибів дозволить підтримувати баланс гумусу та від 1,6 до 2,5 разів збільшити питомий прибуток у господарствах за рахунок отримання додаткової білкової продукції під час біологічної трансформації органічної сировини.

Незважаючи на достатню сировинну базу для виробництва їстівних грибів в Україні, забезпеченість населення грибною продукцією вітчизняного виробництва знаходиться в межах від 0,9 до 1,1 кг/рік на одну людину, що значно менше, ніж в країнах Європейського Союзу. Із загального об'єму вироблених грибів глива звичайна займає лише 10 %, хоча харчова і дієтична цінність її завдяки наявності ряду антиоксидантних властивостей є беззаперечною. Останнім часом набувають розвитку технології біологічної конверсії органічної сировини, спрямовані на переробку соломи, органічних відходів у субстрати, компости та високоякісні органічні добрива. Але впровадження у виробництво даних технологій потребує розробки нових та удосконалення існуючих технічних засобів для виробництва

субстратів. Існує необхідність створення технічних засобів для ущільнення та пакування субстратів з робочими органами, які б забезпечували виконання технологічних операцій з заданими показниками якості при мінімальних питомих енергетичних витратах.

В даний час недостатньо досліджень щодо фізико-механічних властивостей субстрату та параметрів ущільнювачів для вирощування гливи, які забезпечують одночасно з ущільненням пакування субстрату в мішки. Це стримує подальше підвищення ефективності виробництва субстрату для вирощування гливи на основі удосконалення технічних засобів для ущільнення та пакування субстрату. Недостатньо також науково-обґрунтованих даних про енергетичні та якісні показники процесу ущільнення субстрату та їх взаємозв'язку з параметрами технічних засобів для ущільнення та пакування субстрату, у зв'язку з цим, удосконалення процесу ущільнення та пакування субстрату і створення ефективного ущільнювача субстрату для вирощування гливи є актуальним.

Окрім цього, однією з проблем в сільськогосподарському виробництві в Україні є зменшення енергоємності виробництва сільськогосподарської продукції. Особливо гостро ця проблема стоїть у овочівництві закритого ґрунту при вирощуванні білкової та вітамінної продукції. Застосування замкнутої системи опалення та вентиляції (ЗСВ) теплиць для вирощування грибів і рослин дозволяє організувати подачу повітря насиченого  $\text{CO}_2$  в теплицю, а збагаченого  $\text{O}_2$  в грибницю, і за рахунок цього зменшити витрати енергії на опалення та вентиляцію.

Впровадження замкнутих систем потребує визначення теплоенергетичного балансу та динамічних характеристик споруд закритого ґрунту. Газове середовище, в якому вирощуються овочеві рослини та гриби, повинно відповідати їх біологічним особливостям, та вимогам енергозбереження. Крім того, цикл відновлення кисню вирощуваною овочевою культурою повинен погоджуватись з потребами грибів в культивацийному приміщенні. Замкнуті системи опалення та вентиляції повинні бути економічно вигідними, а викиди в навколишнє середовище – мінімальними.

В нашій країні проведені значні дослідження в плані вивчення питання вентиляції та опалення приміщень закритого ґрунту, а їх результати створили основу для постановки задач досліджень про замкнуту систему опалення та вентиляції приміщень закритого ґрунту, однак питання утилізації теплової енергії та регенерації кисню в приміщеннях закритого ґрунту вивчені не достатньо.

Враховуючи актуальність проблеми, мета досліджень полягала в:

- підвищенні ефективності біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах при одночасному підтриманні родючості ґрунтів шляхом удосконалення технічних засобів для агропромислового виробництва їстівних грибів.

- зниженні енергомісткості виробництва та підвищенні якості субстрату для вирощування гливи шляхом оптимізації конструкційно-режимних параметрів поршневого ущільнювача з одночасним пакуванням субстрату у мішки.

- зменшенні витрат теплової та електричної енергії в теплицях шляхом застосування запропонованої замкнутої системи опалення і вентиляції на основі теоретичних і експериментальних досліджень теплообмінних та газообмінних процесів в замкнутій системі вентиляції.

Результати досліджень можуть бути використані при обґрунтуванні параметрів та проведенні дослідно-конструкторських робіт по створенню та модернізації технічних засобів для виробництва субстратів та грибів гливи.

# **ЧАСТИНА I БІОЛОГІЧНА КОНВЕРСІЯ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ АГРОЦЕНОЗІВ У ШТУЧНИХ УМОВАХ ІЗ ВИРОЩУВАННЯМ ГЛИВИ**

## **РОЗДІЛ 1 СТАН БІОЛОГІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ В АГРОЦЕНОЗАХ**

### **1.1. Загальні положення**

У країнах із високим рівнем розвитку сільського господарства наявні ресурси соломи широко застосовуються для виробництва їстівних грибів [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. При цьому біологічна конверсія органічної речовини соломи проходить не в польових умовах за рахунок діяльності ґрунтової мікрофлори, а в штучних умовах. Це дозволяє регулювати процеси біологічної конверсії та проводити їх в умовах, наближених до оптимальних для кожного виду мікрофлори, а також отримувати додатково білкову продукцію. Плодові тіла грибів багаті білковими речовинами, вміщують всі незамінні для харчування людини амінокислоти, велику групу вітамінів та інші цінні речовини, що в значній мірі впливає на вирішення проблеми забезпечення населення високоякісним білком. Найновішими дослідженнями встановлено, що гриби мають лікувальні властивості, виводять з організму людини важкі метали, канцерогенні речовини, шлаки [13]. Для прикладу, в сусідній Польщі виробництво грибів досягло останнім часом 60-80 тис. т на рік [14]. Поступово збільшується виробництво їстівних грибів і в Україні, в тому числі і на субстраті, імпортованому з Польщі [15].

Щорічно в сільськогосподарських підприємствах усіх форм власності накопичується біля 3 млн. т пташиного посліду – речовини з умістом азоту в межах від 2,5 до 5,5 %. Але безпосереднє використання пташиного посліду як органічного добрива неможливе із-за наявності високого вмісту насіння бур'янів та патогенної мікрофлори, а також вузького співвідношення вмісту вуглецю до азоту. Тому перед внесенням пташиний послід змішують із соломною та піддають

ферментації в аеробних умовах, що забезпечує його знезараження, інактивацію насіння бур'янів, в тому числі тих, що надходять із соломою, стабілізацію агрохімічного складу компостної суміші за рахунок додачі мінеральних добрив, а також зменшення норм внесення. Біологічна конверсія отриманого компосту з виробництвом їстівних грибів, проведена в межах агроценозу, із якого надходить солома та пташиний послід, дозволяє отримати додаткову білкову продукцію при забезпеченні підтримання балансу гумусу в ґрунтах сівозміни. Однак при виробництві компостів, субстратів та їстівних грибів не вирішено проблеми ліквідації самоущільнення компосту під дією власної ваги з використанням кузовних розкидачів органічних добрив, підтримання заданого рівня температури термофільного процесу ферментації у пастеризаційних камерах та інтенсивності її зміни при продуванні свіжим повітрям ущільненого під дією власної ваги компосту, ущільнення субстрату інокульованого міцелієм, що має пружні властивості за допомогою поршневих та стрічково-вальцевих ущільнювачів та енергозберігаючого підтримання газового й температурно-вологісного режиму під час вирощування грибів при зміні факторів зовнішнього середовища.

## **1.2. Суть біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах**

Загальновідомо, що основним джерелом накопичення біомаси рослин є процес фотосинтезу, в результаті чого утворюються вуглецеві компоненти рослинної тканини (целюлоза, геміцелюлоза, лігнін та інші). Для формування білкових речовин та жирів рослини потребують, як правило, амонійного або нітратного азоту, а також фосфору, калію та інших мінеральних речовин, які рослини за допомогою кореневої системи у вигляді водних розчинів поглинають із ґрунту. Ґрунт є основним середовищем для життєдіяльності мікроорганізмів. Це обумовлено тим, що на поверхню ґрунту надходить вся біомаса у вигляді відмерлих рослин та їх частин, які містять значну кількість вуглецевих сполук – основного енергетичного джерела для дихання мікроорганізмів. Для побудови власного організму мікроорганізми також потребують азоту, фосфору, калію та

інших мінеральних речовин. В зв'язку з цим, ґрунтова мікрофлора є конкурентом рослин у споживанні мінеральних речовин. На протязі еволюції сформувалася ситуація, коли мінеральні речовини ґрунту стають доступними для рослин після циклу перетворень, який включає їх поглинання мікроорганізмами, відмирання мікроорганізмів, формування стійких органо-мінеральних сполук ґрунту (гумусу) та їх послідууючої мінералізації. Поступово поглинаючи мінеральні речовини ґрунту та за рахунок фотосинтезу, рослини формують свою біомасу, яка після відмирання знову стає основним енергетичним джерелом для діяльності ґрунтової мікрофлори. Так завершується малий біологічний кругообіг органічної речовини.

В агроценозах утворюється значна кількість органічної сировини (незернова частина урожаю, гній та послід), яка безпосередньо не використовується для виробництва продуктів харчування та як сировина в харчовій і переробній промисловості. В той же час, вона має визначальне значення для підтримання родючості ґрунту.

В розкладі біомаси, яка поступає на поверхню ґрунту, є певна послідовність. Спочатку її переробляють бактерії, а потім актиноміцети та безшпаккові гриби [16], міцелій яких є матричною основою для синтезу гумінових кислот [17].

Процес біологічної трансформації органічної сировини від її початкового стану до ґрунтового гумусу проходить у декілька стадій. Основні з них:

- гідроліз – розклад полісахаридів на дисахариди, а в подальшому – моносахариди;
- синтез бактеріями колоїдних речовин на основі лігніну, який у цьому процесі участі не приймає, з утворенням лігніно-гумусного комплексу;
- синтез актиноміцетами та ґрунтовими мікроскопічними грибами залишків органічної сировини;
- полімеризація продуктів мікробіологічного синтезу з утворенням специфічних гумусових речовин, зв'язаних із мінеральними речовинами ґрунту;
- зміцнення зв'язків гумусових речовин із мінеральною частиною ґрунту й утворення ґрунтового гумусу [18, 19]. Новоутворений гумус ґрунту мінералізується і в подальшому використовується рослинами в процесі

життєдіяльності. Таким чином завершується кругообіг органічної сировини в агроценозах.

Уміст азоту в гумусі ґрунтів складає біля 5 % [20]. З урожаєм основної та побічної продукції виноситься від 50 до 60 % азоту з гумусу, тобто азоту ґрунтового походження, який утворюється під час мінералізації гумусу. З однієї тони підстилкового гною вологістю 75 % при коефіцієнті гуміфікації від 0,12 до 0,24 відносних одиниць утворюється від 30 до 60 кг гумусу, а з тонни соломи з добавкою від 8 до 12 кг азоту – від 102 до 204 кг гумусу [21]. Оскільки існує пряма залежність між умістом гумусу в ґрунті та урожайністю, при зміні вмісту гумусу в межах від 0 до 4 % необхідно зберігати досягнутий уміст і запас, а в деяких випадках здійснювати розширене відтворення існуючих запасів гумусу [22, 23].

Основною складовою для утворення первинного гумусу – лігніно-гумусного комплексу є лігнін, вміст якого в соломі змінюється від 10 до 20 % [24]. Цей фактор та значна його кількість є визначальними для використання соломи в якості джерела відтворення родючості ґрунтів у системі органічно-мінерального землеробства.

### **1.3. Проблеми інтенсифікації біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах**

Надмірне застосування мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, стимуляторів росту для одержання високих урожаїв сільськогосподарських культур призводить до втрати родючості ґрунту. Так, при збільшенні світового виробництва продуктів харчування у два рази, внесення азотних мінеральних добрив збільшилося в сім разів, а фосфорних – у три з половиною, при цьому, наприклад, в сільському господарстві Данії надлишок азоту в ґрунтах складає 145 кг/га, причому тільки третина внесеного азоту використовується рослинами, а запаси фосфору можуть підтримувати зернові культури без зменшення урожайності на протязі 20 років без їх внесення [25]. Довгостроковий

експеримент, проведений у Швейцарії, в якому порівнювався вплив на ґрунт органічних та мінеральних добрив, показав, що через 21 рік різниця між властивостями ґрунтів була суттєвою. На полях, де використовувалися тільки мінеральні добрива, ґрунт мав гладку поверхню, сформовану дрібними частинками, велику кількість тріщин та втратив водопроникливість. При використанні органічних добрив на полях малися бур'яни, у значній кількості земляні черв'яки, а також існувала кореляція між мікробною біомасою та урожаєм пшениці [26]. Потенційна небезпечність залишків пестицидів у поверхневих водах Швеції збільшилася за останні півсторіччя з 3 до 23 % [27]. Виробнича діяльність людини в агроценозах порушує принцип повернення в ґрунт органічної речовини й елементів живлення рослин, чим розривається малий біологічний кругообіг речовини й енергії. Систематичною оранкою знищується захисний шар мульчі з рослинних залишків. Наслідки цього негативного процесу дуже швидко проявляють свою дію: виникає прискорена (антропогенна) деградація і дегуміфікація, яка призводить до зниження й втрати родючості ґрунтів. Окрім того, інтенсивний механічний обробіток прискорює наростання зазначених процесів [28]. Відомо, що родючість ґрунту обумовлюється інтенсивністю кругообігу речовин і енергії у системі "ґрунт-рослина" і залежить від наявних запасів доступних рослинам речовин, динаміки ґрунтових процесів і режимів, які формуються під впливом зовнішніх умов. Гумус найбільше впливає на прискорення кругообігу, бо від його запасів залежить енергетичний рівень процесів, що проходять у ґрунті й рослині. Гумусові речовини спричиняють стимулюючу дію та сприяють надходженню в рослину елементів живлення, а також покращують водно-фізичні властивості верхнього шару ґрунту [29]. Гумусові сполуки більш стійкі до мікробної деструкції порівняно з рослинними рештками. Саме завдяки цьому, вони виконують функцію резервування поживних речовин і енергії у ґрунті [17]. З урахуванням загальновідомих закономірностей та результатів досліджень, приведених у [17], кругообіг органічної сировини та її трансформацію від початкового стану до ґрунтового гумусу можна представити у вигляді схеми (рис. І.1).

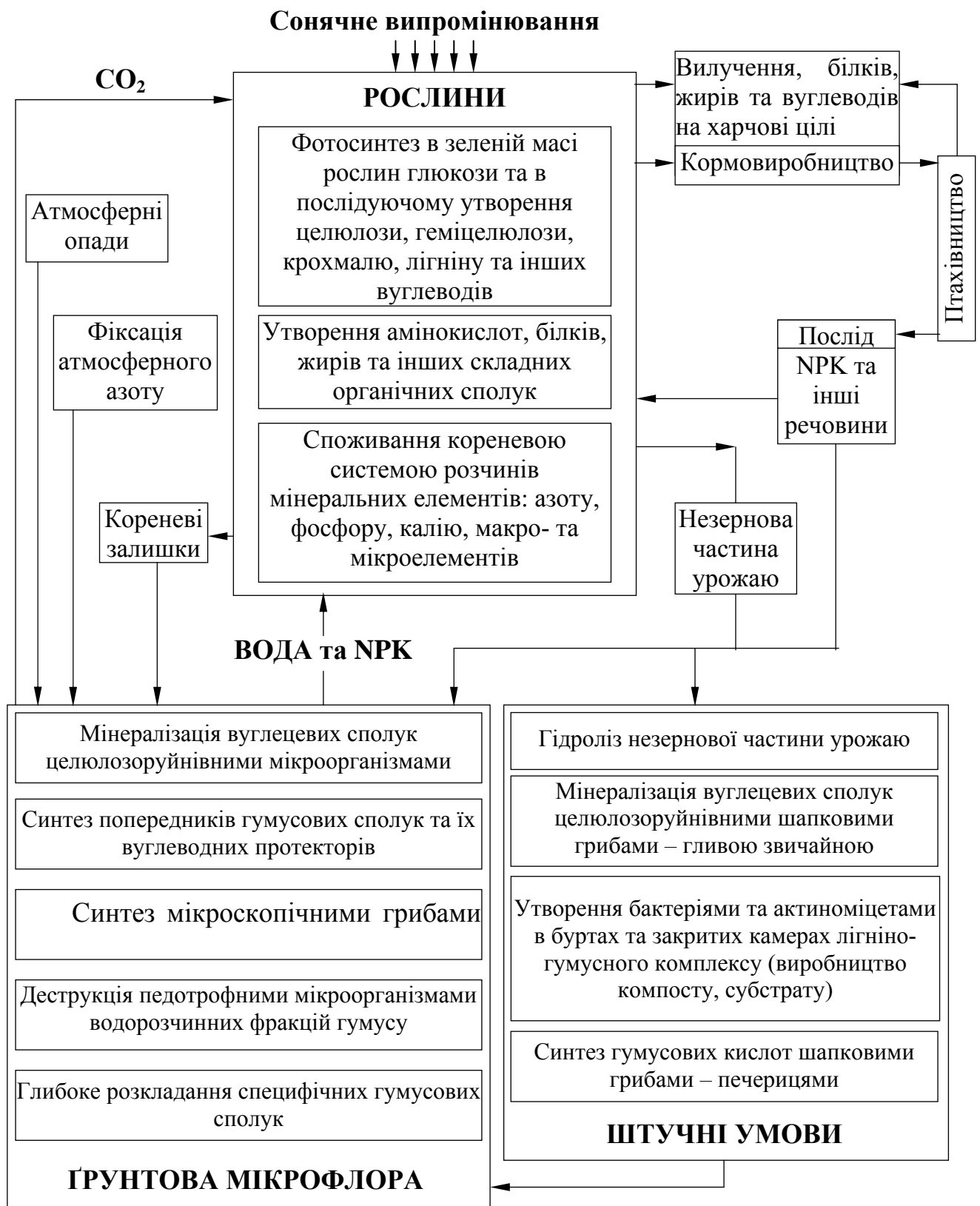


Рис. І.1 – Схема біологічної конверсії органічної сировини рослинами, ґрунтовою мікрофлорою та в штучних умовах із виробництвом їстівних грибів

Зі схеми видно, що антропогенний вплив на систему “рослина – ґрунтова мікрофлора” відбувається шляхом вилучення органічних речовин та внесенням органічних та мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, а також інших речовин.

Крім того, механічна система обробітку та меліорація мають суттєвий вплив на цю систему, оскільки змінюють структуру та водний режим ґрунту. Загальновідомо, що в залежності від внесення добрив, системи обробітку ґрунту схематично можна поділити на:

- без використання добрив, коли надходження азоту відбувається за рахунок життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, що фіксують азот;
- органічні, коли в ґрунт вносяться тільки органічні добрива;
- органо-мінеральні, коли на кожному тоні органічних добрив вноситься відповідна кількість мінеральних;
- мінеральні, коли в ґрунт вносяться тільки мінеральні добрива.

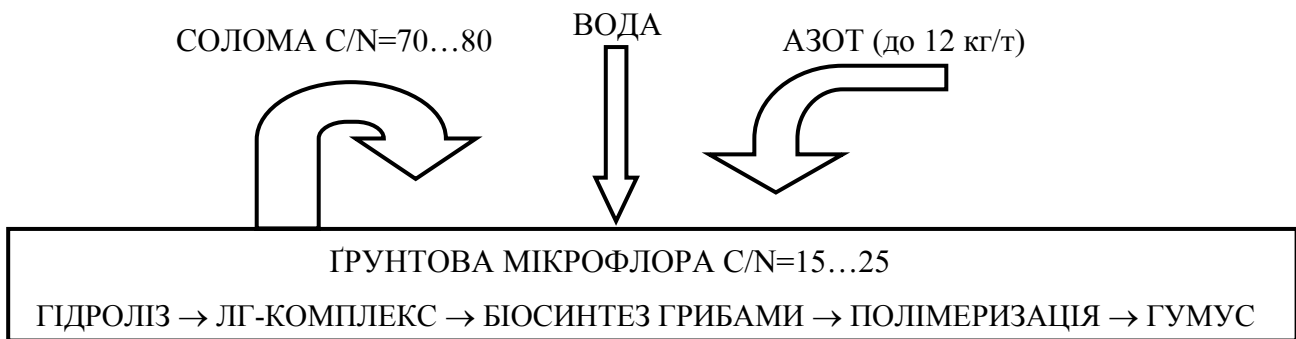
При еволюції систем обробітку ґрунту від системи без використання добрив до практично штучної – мінеральної (гідропонної) кількість виробленої продукції збільшувалася, а її безпечність зменшувалася, що призвело до погіршення показників здоров’я населення, а також надмірної мінералізації ґрунтового гумусу. Вирішення цієї проблеми вбачається в створенні такої системи обробітку ґрунту, яка б забезпечувала виробництво високоякісних, екологічно безпечних продуктів харчування в достатній кількості при одночасному підтриманні рівня родючості ґрунтів. Це можливо здійснити за рахунок використання механізованих технологічних процесів виробництва органічних добрив. При цьому норми внесення мінеральних добрив повинні визначатися відповідно до кількості внесених органічних. Прикладом такої системи є ґрунтозахисна біологічна система землеробства [30].

Найбільш простим методом поповнення запасів органічної речовини в ґрунті є залишення на полі подрібненої незернової частини урожаю з одночасним внесенням відповідних доз азотних добрив (рис. 1.2). У цьому випадку біологічна конверсія органічної сировини проходить за рахунок ґрунтової мікрофлори [31,

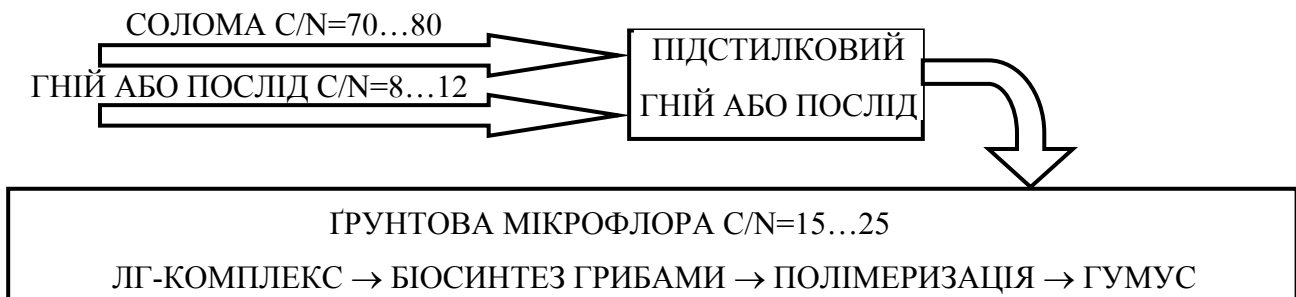
32], причому на перших стадіях процесу в ґрунті утворюється підвищена концентрація органічних кислот, що призводить до зниження схожості насіння [33]. При використанні такого методу біологічної конверсії необхідно вносити підвищені дози гербіцидів, а також важко витримати оптимальне співвідношення вуглецю до азоту в процесі мікробіологічної ферментації соломи. Це пов'язано з тим, що ґрунтова мікрофлора надзвичайно чутлива до надлишкової кількості азоту в ґрунті. Мається ряд мікробіологічних механізмів для видалення надлишкового азоту з ґрунту. При внесенні азотних добрив у дію вступають денітрифікатори та нітрифікатори, які швидко видаляють азот у повітря та ґрунтові води, причому ефективність їх діяльності в цьому відношенні надзвичайно велика [34, 35].

Традиційним, найбільш поширеним та ефективним є використання незернової частини урожаю, найчастіше соломи та лушпиння соняшника, в якості підстилки для тварин та птиці з послідуочим використанням суміші як органічного добрива. Перша стадія біологічної конверсії органічної речовини суміші – гідроліз проходить у тваринницьких приміщеннях та пташниках в умовах достатнього зволоження, а в подальшому підстилковий гній та послід накопичуються на протязі періоду вегетації і вносяться після збирання врожаю. Послідуочі стадії біологічної конверсії підстилкового гною та посліду проходять із залученням ґрунтової мікрофлори на протязі від 4 до 6 років, що обумовлює його післядію та внесення під одну з культур сівозміни. Кожна тонна внесеного в ґрунт підстилкового гною та посліду підвищує врожайність всіх культур сівозміни в середньому на один центнер у перерахунку на зерно. Оскільки в підстилковому гної та посліді часто відсутнє оптимальне співвідношення вуглецю та азоту (рис. 1.3) під впливом нерозкладеного соломистого гною та посліду, вміст засвоюваного рослинами азоту в ґрунті не тільки не збільшується, а скорочується. Це пояснюється тим, що нерозкладена органічна речовина сприяє швидкому росту ґрунтової мікрофлори, для живлення якої недостатньо розчинних форм азоту в підстилковому гної, і вона споживає азот із ґрунту [36].

## ВНЕСЕННЯ СОЛОМИ ПІД ЧАС ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ



## ВИРОБНИЦТВО ПІДСТИЛКОВОГО ГНОЮ АБО ПОСЛІДУ



## ВИРОБНИЦТВО КОМПОСТУ



## ВИРОБНИЦТВО ЇСТІВНИХ ГРИБІВ



Рис. І.2 – Варіанти біоконверсії органічної сировини в агроценозах

Принципово можливо досягти співвідношення вуглецю та азоту в межах від 15:1 до 20:1 шляхом зміни витрат соломи на підстилку для гною великої рогатої худоби та свиней.

Що стосується пташиного посліду, то цього зробити практично неможливо. Тому пташиний послід, в тому числі підстилковий, необхідно перед внесенням додатково змішувати із соломою та піддавати ферментації.

Найменш поширеним методом біологічної конверсії органічної сировини є компостування або спонтанна ферментація, під час якої проходить гідроліз полісахаридів на моносахариди та мікробіологічний синтез бактеріями та актиноміцетами колоїдних речовин на основі лігніну з утворенням лігніно-гумінового комплексу.

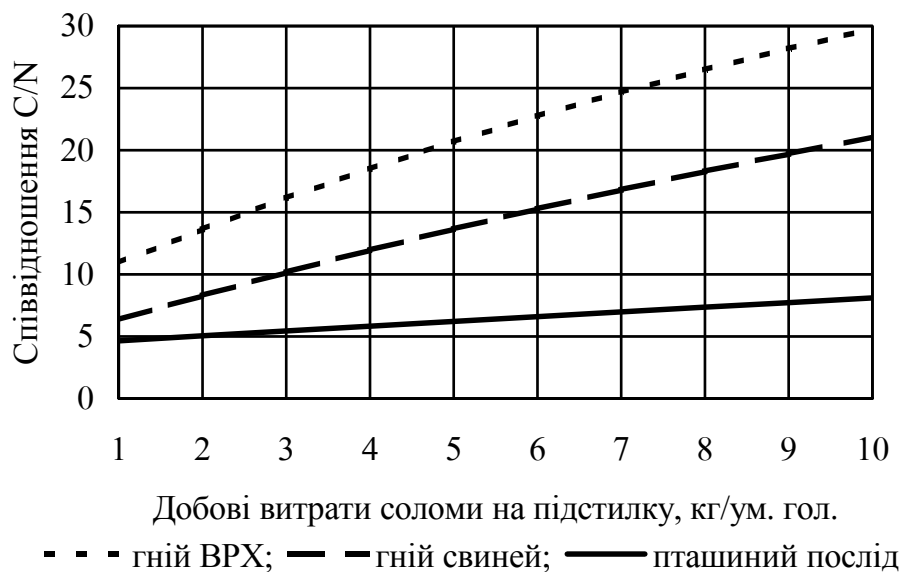


Рис. І.3 – Вплив на співвідношення C/N добових витрат соломи на підстилку

В компостах поживні речовини проходять біологічні перетворення та набувають форму найбільш засвоювану рослинами. Ефективність компостів на основі соломи на відміну від торфо-гноєвих компостів [37] на величину від 8 до 10 % більша, порівняно з підстилковим гноєм та послідом [36, 38]. Крім того, дози внесення компосту, як правило, у два рази менше, що скорочує транспортні витрати. В той же час, виробництву компостів не приділяється достатньої уваги,

відсутні проектні рішення майданчиків для компостування та технічні засоби для його проведення.

Керована ферментація в закритих камерах забезпечує максимальний розклад органічної сировини в штучних умовах у короткі строки з одержанням стабільних продуктів. Найбільшого поширення керована ферментація має в технологіях виробництва субстратів для вирощування їстівних грибів [39, 40, 41, 42, 43]. Використання закритих ферментаційних камер для виробництва первинного гумусу з органічної сировини агроценозів для потреб рослинництва потребує відповідного техніко-економічного обґрунтування, оскільки цей процес достатньо капітало- та енергомісткий, а також потребує створення складів для зберігання виробленої продукції.

Біологічна конверсія органічної сировини в штучних умовах із вирощуванням їстівних грибів забезпечує проведення всіх початкових її стадій без участі ґрунтової мікрофлори. При цьому на стадіях біологічної конверсії, які передують внесенню органічної сировини в ґрунт, мікробіологічний синтез забезпечується не ґрунтовими мікроскопічними грибами, а їстівними шапковими грибами. Це дозволяє проводити біологічну конверсію органічної сировини в умовах, наближених до оптимальних для кожного виду мікрофлори, а також отримувати додатково білкову продукцію [44, 45, 46, 47, 48]. Плодові тіла їстівних шапкових грибів багаті білковими речовинами, вміщують всі незамінні для харчування людини амінокислоти, велику групу вітамінів та інші цінні речовини, що в значній мірі впливає на вирішення проблеми забезпечення населення високоякісним білком [49, 50]. Найновішими дослідженнями встановлено, що гриби мають лікувальні властивості, виводять з організму людини важкі метали, канцерогенні речовини, шлаки [51]. Гриби виконують значну роль у кругообігу органічної речовини в природі, розкладі та синтезі органічних речовин та підвищенні родючості ґрунту [52].

Відпрацьований субстрат після вирощування грибів являє собою високоякісне органічне добриво. Суміш субстрату з покривним ґрунтом містить від 1,3 до 1,8 % азоту від сухої маси та від 20 до 40 % органічної речовини, а

також ряд макро- та мікроелементів [16, 53]. Фізіологічно активні речовини субстратів після вирощування гливи звичайної проявляють стимулюючий ефект на ріст і розвиток рослин, що значно підвищує їх продуктивність та зменшує захворюваність [54].

#### **1.4. Резюме по розділу 1**

1. Наявність негативного балансу гумусу в кількості від 200 до 400 кг/га потребує невідкладного покращення структури сівозмін, збільшення поголів'я тварин і птиці та ефективного використання наявних ресурсів органічної сировини агроценозів для отримання органічних добрив, в тому числі, на основі виробництва субстратів для вирощування їстівних грибів.

2. Збільшення урожайності польових культур за рахунок широкого використання мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, стимуляторів росту та збільшення інтенсивності обробітку ґрунту призводить до зменшення родючості ґрунтів, а також періодичного перегляду та збільшення значень нормативних показників, що характеризують безпечність продуктів харчування.

3. Організувати ефективне виробництво високоякісних, екологічно безпечних продуктів харчування в достатній кількості при одночасному підтриманні рівня родючості ґрунтів можливо шляхом інтенсифікації біологічної конверсії органічної сировини в гумус за рахунок здійснення початкових її стадій у штучних, оптимальних для кожної стадії біологічної конверсії умовах.

4. Використання найбільш економічного набору технологічних та технічних засобів для підтримання існуючого природного кругообігу органічної сировини з вирощуванням їстівних грибів дозволяє максимально інтенсифікувати процес утворення первинного гумусу з органічної сировини в агроценозах, а також отримати додаткову білкову продукцію у вигляді їстівних шапкових грибів.

## **РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ АГРОЦЕНОЗІВ У ШТУЧНИХ УМОВАХ ІЗ ВИРОЩУВАННЯМ ГЛИВИ**

### **2.1. Наукова концепція біологічної конверсії органічної сировини агроценозів в штучних умовах із вирощуванням гливи**

На сучасному етапі свого існування перед людством постало декілька крупних задач, які потребують вирішення. Серед них – забезпечення населення продуктами харчування (продовольча проблема), забезпечення технологічних процесів та побуту енергетичними ресурсами (енергетична проблема) та утримання біологічного розмаїття форм життя й збереження навколишнього середовища (екологічна проблема). Комплексне вирішення цих задач потребує подолання протиріччя, яке полягає в тому, що збільшення виробництва продуктів харчування або виробництва та споживання енергії призводить до порушення екологічної рівноваги та погіршення стану навколишнього середовища.

Антропогенний вплив на рослинний світ характеризувався виникненням системи обробітку ґрунту та безперервним збільшенням урожайності культурних рослин. Ріст урожайності забезпечувався як шляхом виведення нових сортів та гібридів, так і завдяки широкому використанню мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, стимуляторів росту, збільшенням інтенсивності обробітку ґрунту. Це призводило до зменшення родючості ґрунтів, а також періодичного перегляду та збільшення значень нормативних показників, що характеризують безпечність продуктів харчування. Високоякісну та екологічно безпечну продукцію сільського господарства можна отримати без використання синтетичних речовин при одночасному збереженні родючості ґрунту, однак у цьому випадку резерви збільшення виробництва обмежені, що входить у протиріччя з потребами у сільськогосподарській продукції. Тому проблема виробництва високоякісних та екологічно безпечних продуктів харчування в кількості, достатній для

забезпечення потреб населення з одночасним відтворенням родючості ґрунтів є актуальною для агропромислового виробництва.

При еволюції систем обробітку ґрунту від системи без використання добрив до практично штучної – мінеральної (гідропонної) кількість виробленої продукції збільшувалася, а її безпечність зменшувалася, що призвело до погіршення показників здоров'я населення, а також надмірної мінералізації ґрунтового гумусу. Вирішення цієї проблеми вбачається в створенні такої системи обробітку ґрунту, яка б забезпечувала виробництво високоякісних, екологічно безпечних продуктів харчування в достатній кількості при одночасному підтриманні рівня родючості ґрунтів. Це можливо здійснити за рахунок використання механізованих технологічних процесів виробництва органічних добрив. При цьому норми внесення мінеральних добрив повинні визначатися відповідно до кількості внесених органічних.

При інтенсивному землеробстві мінералізація гумусу в сівозмінах перевищує його надходження з рослинними рештками. Бажання отримати максимальні прибутки призводить до порушення науково-обґрунтованих сівозмін – основи рослинництва із-за надмірного рівня вирощування культур, які мають високу економічну ефективність (соняшник, цукровий буряк) та найбільш інтенсивно мінералізують ґрунтовий гумус. Існує постійне та надмірне видалення органічної речовини із сівозміни, де вона утворюється, що призводить до зниження родючості ґрунту.

Основою поповнення запасів гумусоутворюючих речовин у ґрунті є солома, оскільки вона містить у собі всі складові для утворення гумусу крім азотистих речовин. Біологічна конверсія соломи в ґрунтовий гумус проходить через ряд стадій: гідроліз – бактеріальна ферментація – актиноміцетна ферментація – утворення лігніно-гумусного комплексу – полімеризація лігніно-гумусного комплексу – утворення ґрунтового гумусу. Існує ряд агротехнічних та технічних засобів для використання надлишків соломи в якості добрива [55, 56, 57, 58, 59]. В той же час безпосереднє використання соломи шляхом її залишення на поверхні поля або заробляння важкими боронами в ґрунт після збирання зернових

призводить до відволікання ґрунтового азоту в процесі мікробіологічної конверсії соломи та послідуочого зниження урожайності. Крім того, на перших етапах розкладу соломи в ґрунт виділяються органічні кислоти, що знижує схожість зерна. Біологічна конверсія соломи в ґрунті проходить в умовах, далеких від оптимальних для діяльності ґрунтової мікрофлори, а тому цей процес значно затягується в часі. Цикл утворення лігніно-гумусного комплексу в найбільш оптимальних умовах становить не менше одного місяця [60]. В польових умовах цей термін зростає до одного року, призводить до збільшення мікробіологічної активності ґрунтової мікрофлори, зменшенню урожайності польових культур у наступний рік після залишення соломи на полі.

У господарствах зерно-птахівничого напрямку наявність органічної сировини, яка повинна бути повернена в ґрунт, в сучасних умовах становить: соломи від 2,7 до 3 т/га, пташиного посліду вологістю 75 % – від 3,4 до 3,8 т/га. Однак її безпосереднє внесення в ґрунт для подальшої біологічної конверсії в природних умовах через насиченість насінням бур'янів потребує використання додаткової кількості гербіцидів та призводить до погіршення екологічної безпечності продукції рослинництва. Можливість проведення біологічної конверсії органічної сировини в штучних умовах з отриманням товарної продукції – компостів, субстратів, їстівних грибів та вермігумусу призвела останнім часом до збільшення інвестицій у переробку соломи, лушпиння та пташиного посліду. Виникли підприємства, які закупають та переробляють солому в субстрати для вирощування грибів, але, не маючи власних земельних площ сільськогосподарського призначення, субстрат після вирощування грибів реалізують у приватному секторі, чим відволікають органічну сировину із кругообігу та порушують сталість землеробства.

Під час компостування органічної сировини в оптимальних, штучно створених умовах проходить гідроліз полісахаридів на моносахариди, мінералізація вуглецевих сполук та мікробіологічний синтез бактеріями та актиноміцетами колоїдних речовин на основі лігніну з утворенням лігніно-гумінового комплексу [61]. Під час біологічних перетворень органічна речовина

соломи та посліду набуває форм, необхідних для подальшого перетворення ґрунтовими мікроорганізмами за рахунок проходження біохімічних реакцій та нагріву до температури 50–70 °С, відбувається знезараження патогенної мікрофлори та інактивація насіння бур'янів. Дози внесення компосту, як правило, у два рази менші, що скорочує транспортні витрати при їх внесенні. Частина виробленого в господарстві компосту може бути використана для подальшої обробки в закритих ферментаційних камерах з отриманням субстрату для вирощування їстівних грибів. При цьому забезпечується максимальний розклад органічної сировини в штучних умовах у короткі строки з одержанням стабільного продукту – первинного гумусу. Біологічна конверсія органічної сировини агроценозів у штучних умовах із вирощуванням їстівних грибів забезпечує проведення всіх початкових її стадій без участі ґрунтової мікрофлори, дозволяє максимально інтенсифікувати процес утворення первинного гумусу з органічної сировини. При цьому на стадіях біологічної конверсії, які передують внесенню органічної сировини в ґрунт, мікробіологічний синтез забезпечується не ґрунтовими мікроскопічними грибами, а їстівними шапковими грибами. Це дозволяє проводити біологічну конверсію органічної сировини в умовах, наближених до оптимальних для кожного виду мікрофлори, а також отримувати додатково білкову продукцію. Відпрацьований субстрат після вирощування грибів являє собою високоякісне органічне добриво і може бути використаний у технологіях вермикомпостування або внесений на поля.

Основним технологічним параметром, що забезпечує реалізацію технологічного процесу виробництва компосту та субстрату за рахунок розвитку термофільних бактерій у компостній суміші та актиноміцетів у компості, а також їстівних грибів, що вирощуються на отриманому субстраті, є відповідно температура суміші, компосту та субстрату. Для забезпечення утримання температури термофільного режиму ферментації компостну суміш укладають у формі куп та буртів, однак це призводить до її самоущільнення під дією власної ваги, зменшення пористості та, відповідно, насиченості киснем повітря й збільшення насиченості вуглекислим газом, що в кінцевому підсумку призводить

до різкого зменшення інтенсивності аеробної ферментації та формування зон анаеробного бродіння.

Виробництво субстрату шляхом пастеризації та контрольованої ферментації компосту актиноміцетами проводиться в закритих камерах. Цей процес потребує утримання зміни температури компосту в часі та в обмеженому діапазоні при одночасній подачі свіжого повітря для підтримання заданої концентрації в компості вуглекислого газу. Отриманий субстрат має відповідну щільність, отриману під дією власної ваги, і містить у собі всі складові для росту їстівних грибів, в той же час розвиток міцелію їстівних грибів у субстраті потребує наявності його рівномірного розподілу по об'єму субстрату та послідуочого ущільнення до технологічно заданої щільності.

На протязі року існує невідповідність між параметрами зовнішнього повітря та параметрами мікроклімату культиваційних приміщень, де сконцентровано субстрат для вирощування їстівних грибів. Основою утримання технологічно заданої температури субстрату при заданому значенні концентрації вуглекислого газу в повітрі культиваційного приміщення є його селективність, в той же час змінити температуру субстрату можна лише за рахунок зміни температури повітря, що може призвести до зменшення випаровування вологи грибами та відповідного порушення режиму їх живлення.

Таким чином, основні технологічні операції, які забезпечують якість виробленого компосту та субстрату, а також збільшення урожайності грибів при вирощуванні в пристосованих приміщеннях, наступні:

- розпушування буртів із послідуочим формуванням нових буртів;
- продування субстрату сумішшю свіжого та рециркуляційного повітря;
- розпушування субстрату та внесення міцелію;
- ущільнення субстрату після внесення міцелію;
- кондиціонування припливного повітря культиваційних приміщень для вирощування грибів із мінімальними енерговитратами.

Забезпечити здійснення біологічної конверсії органічної сировини, в тому числі, з виробництвом їстівних грибів можна за рахунок використання ручної

праці при виконанні основних технологічних операцій, що забезпечують якість виробленого компосту та субстрату, а також збільшення урожайності грибів, однак резерви збільшення продуктивності, урожайності та підвищення якості при цьому незначні. Існуючі в даний час технічні засоби для виконання основних технологічних операцій не забезпечують задані параметри якості виробленого компосту, субстрату та мікроклімату при вирощуванні грибів, що обмежує резерви збільшення урожайності грибів та не призводить до збільшення ефективності виробництва.

У зв'язку з цим, необхідно розробити механіко-технологічні основи для обґрунтування основних параметрів технічних засобів, що забезпечать підвищення якості субстратів та створення необхідних умов для вирощування грибів у пристосованих культиваційних приміщеннях при одночасному забезпеченні підтримання родючості ґрунтів на основі органічної сировини типових сівозмін.

Наукову гіпотезу роботи можна сформулювати наступним чином: збільшення виробництва високоякісних та екологічно безпечних продуктів харчування із забезпеченням відтворення родючості ґрунтів може бути здійснено шляхом підвищення якості роботи технічних засобів, що забезпечують проведення початкових стадій біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах, та створення необхідних умов для вирощування їстівних грибів у пристосованих культиваційних приміщеннях. На основі представленої гіпотези сформульована мета досліджень: підвищити ефективність біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах при одночасному забезпеченні підтримання родючості ґрунтів шляхом удосконалення механіко-технологічного обґрунтування технічних засобів для агропромислового виробництва їстівних грибів.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі досліджень:

1. Розробити схеми біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах із виробництвом їстівних грибів.

2. Дослідити основні параметри процесу розігріву органічної сировини під час ферментації при виробництві субстратів.
3. Обґрунтувати основні параметри поршневого ущільнювача субстрату.
4. Обґрунтувати основні параметри технічних засобів для виробництва їстівних грибів та енергозберігаючого вентиляційно-опалювального обладнання для культиваційних приміщень.
5. Дослідити динаміку перехідного процесу при зміні температури субстрату та повітря в культиваційному приміщенні для вирощування грибів.
6. Розробити технологічні процеси виробництва субстрату та алгоритми управління мікрокліматом культиваційних приміщень для вирощування грибів.
7. Провести економічну оцінку біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах із виробництвом їстівних грибів, засобів механізації виробництва субстрату, технічних засобів для підтримання параметрів мікроклімату в культиваційних приміщеннях.

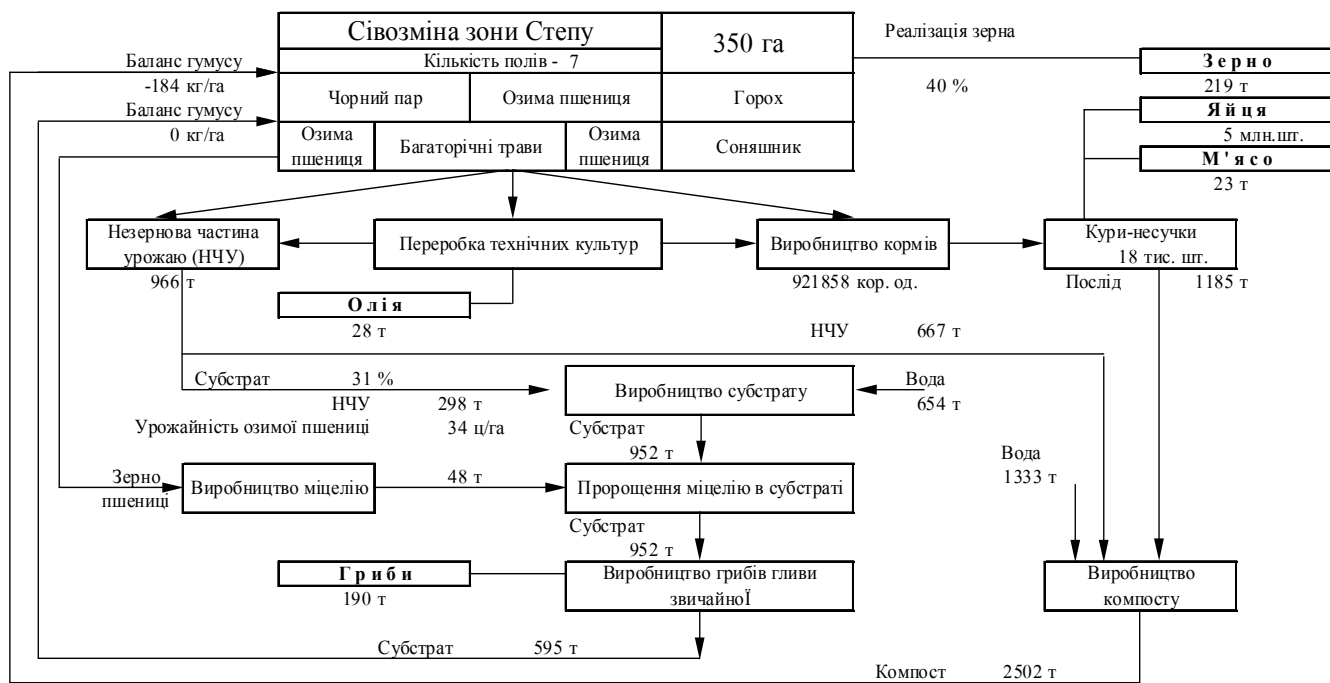
## **2.2. Розробка структурних схем біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах із вирощуванням гливи**

Виробництво їстівних грибів тісно пов'язане з рослинництвом та птахівництвом, оскільки незернова частина урожаю зернобобових культур є основними складовими для виробництва субстрату для вирощування гливи звичайної, а в комбінації з пташиним послідом – синтетичних субстратів для виробництва печериць. Крім того, для виробництва покривного ґрунту, кількість якого складає біля 20 % від маси субстрату, необхідний торф [62, 63], поклади якого сконцентровані в основному в Поліссі, та в незначній кількості в Лісостепу. Їстівні гриби – продукція, яка швидко псується і тому вони повинні бути реалізовані у свіжому вигляді на протязі до трьох діб. Усі ці передумови визначають зону північного Лісостепу, а особливо ті райони, які знаходяться в приміських зонах, як найбільш сприятливу для виробництва печериць, а зону Степу – для виробництва гливи звичайної. Спеціалізація господарств, які

планують виробництво їстівних грибів, повинна бути зерно-птахівничого напрямку з інтенсивністю виробництва зернобобових культур до 70 %.

Структурні схеми біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах із виробництвом їстівних грибів розроблялася на основі типових сівозмін для інтенсивного землеробства зони Лісостепу та Степу [64, 65].

Урожайність сільськогосподарських культур приймалася згідно статистичних та довідкових даних [66, 67, 68, 69]. Кормова цінність продукції сівозміни визначалася згідно існуючих методик у кормових одиницях [70, 71]. Вихід незернової частини урожаю приймався згідно [72, 73], а нормативи виходу та вологості пташиного посліду – згідно [74, 75]. Поголів'я птиці визначалося на основі наявної кормової бази та потреби птиці в кормах [76, 77, 78]. На основі наявної кількості органічної сировини та вмісту в ній поживних речовин [79, 80, 16, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91] розроблялася рецептура компостної суміші з умови вмісту в ній загального азоту на рівні 2 %, фосфору – 1 %, калію – 1,5 % та кальцію – 2,5 % від сухої маси. Балансування вмісту поживних речовин здійснювалося за рахунок мінеральних добрив [92, 93]. Основні параметри виробництва субстрату, грибів та продуктів птахівництва приймалися згідно існуючих нормативів [94, 60, 16, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104]. Методика розрахунку балансу гумусу в сівозміні проводилася методами агрохімічних балансів [105, 106, 107, 21]. Структура використання зерна приймалася згідно [108]. При заданій площі та структурі сівозміни визначалася залежність балансу гумусу в сівозміні від рівня виробництва їстівних грибів та забезпеченні позитивного балансу гумусу в сівозміні. Структурні схеми біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах розроблялися для семипільної сівозміни загальною площею 350 га. Розрахунок параметрів циклу біологічної конверсії органічної сировини в агроценозі проводився з розробкою програмного забезпечення для персонального комп'ютера. Для зони Степу при біологічній конверсії органічної сировини з виробництвом гливи звичайної (рис. І.4) баланс гумусу в сівозміні може бути досягнутий лише при урожайності озимої пшениці близько 3,2 т/га.



Прибуток 1239 грн./га

Рис. І.4 – Схема біологічної конверсії органічної сировини в агроценозі з виробництвом гливи звичайної

Інтенсивність виробництва субстрату для реалізації може досягати 25 % при урожайності озимої пшениці в сівозміні на рівні 4,0 т/га. В цих же умовах інтенсивність виробництва грибів із використанням відпрацьованого субстрату як органічного добрива може знаходитися на рівні 100 % (рис. І.5). Мінералізація гумусу буде перевищувати його надходження при урожайності озимої пшениці в сівозміні менше 3,2 т/га (рис. І.6), а ріст питомого прибутку може бути лише в межах від 600 до 750 грн./га. При урожайності озимої пшениці більше 3,2 т/га за рахунок збільшення інтенсивності виробництва гливи звичайної при рості урожайності озимої пшениці до 4,0 т/га питомий прибуток може бути збільшений до 2500 грн./га при підтриманні балансу гумусу в сівозміні. Ріст урожайності озимої пшениці в сівозміні більше 4,0 т/га буде супроводжуватися збільшенням питомого прибутку при позитивному балансі гумусу та рівні інтенсивності виробництва грибів 100 %.

Так, наприклад, при урожайності озимої пшениці 3,4 т/га та виході незернової частини урожаю від 2,6 до 2,8 т/га принципово можливо на виробництво грибів направити близько 30 % незернової частини урожаю з додержанням баланс гумусу в сівозміні. При цьому ресурси органічних добрив, у вигляді відпрацьованого субстрату, становитимуть 1,7 т/га. На основі незернової частини урожаю сівозміни можна отримати додатково білкової продукції до 550 кг/га.

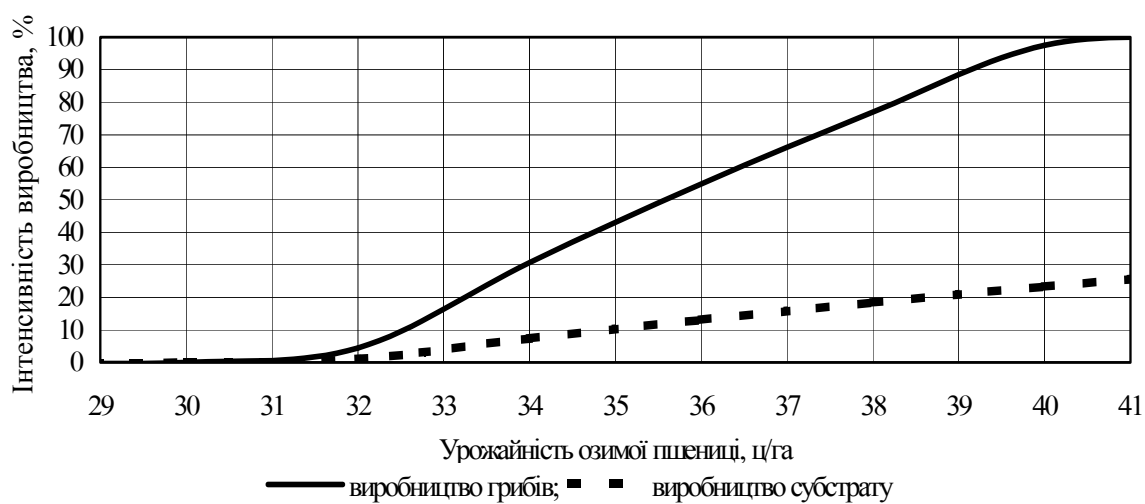


Рис. 1.5 – Вплив урожайності озимої пшениці на інтенсивність виробництва гливи звичайної та субстрату

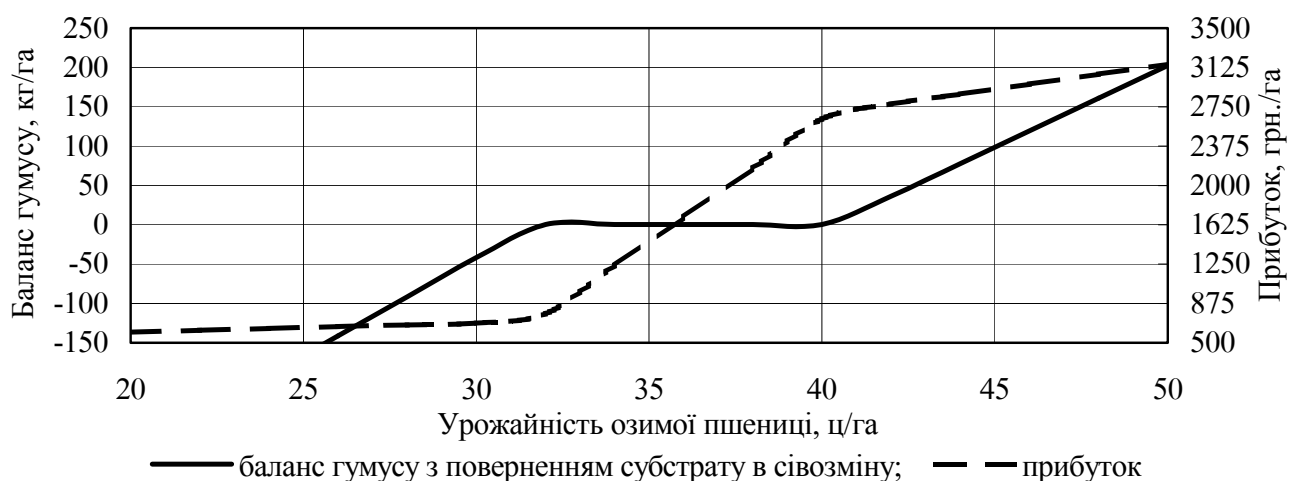


Рис. 1.6 – Вплив урожайності озимої пшениці на баланс гумусу в сівозміні з виробництвом гливи звичайної та прибуток

Дослідження показали [47], що в кожному конкретному випадку необхідно прораховувати граничну інтенсивність виробництва грибів та субстрату для реалізації на основі ресурсів органічної сировини агроценозу. Недодержання цієї вимоги призводить до виникнення в сівозміні негативного балансу гумусу та зниження родючості ґрунту.

### **2.3. Резюме по розділу 2**

1. Для поповнення гумусоутворюючих речовин у ґрунті необхідно створювати майданчики для виробництва компостів, куди звозити солому після збирання зернових культур та пташиний послід і гній, в тому числі надлишок, який утворюється в особистих підсобних господарствах. Виробництво субстратів та їстівних грибів на основі надлишкової частини соломи та компосту може суттєво збільшити прибуток сільськогосподарських підприємств, який може бути фінансовою базою відтворення родючості ґрунтів.

2. Існуючі в світовій практиці технологічні процеси та технічні засоби для виробництва субстратів методом контрольована ферментація в закритих камерах та реакторах, а також технологічні процеси та технічні засоби виробництва їстівних грибів у зв'язку з використанням пристосованих приміщень в якості культивацийних потребують адаптації та доопрацювання для використання в умовах сільськогосподарського виробництва України при реалізації біологічної конверсії органічної сировини агроценозів із виробництвом їстівних грибів.

3. Найбільш сприятлива для виробництва гливи звичайної зона Степу, причому виробництво їстівних грибів повинно бути зосереджено в приміських зонах. Спеціалізація господарств, які планують виробництво їстівних грибів, повинна бути зерно-птахівничого напрямку з інтенсивністю виробництва зернобобових культур до 70 %. Для зони Лісостепу при урожайності озимої пшениці та ячменю в межах від 20 до 36 ц/га інтенсивність виробництва субстрату для реалізації може змінюватися від 0 до 40 %. Для зони Степу при

урожайності озимої пшениці в межах від 3,2 до 4,0 т/га інтенсивність виробництва субстрату для реалізації може досягати 25 %, а інтенсивність виробництва гливи звичайної з використанням відпрацьованого субстрату як органічного добрива – 100 %.

4. Для наукового обґрунтування використання біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах із виробництвом їстівних грибів, яка включає виробництво субстрату, міцелію та грибів, необхідно провести дослідження по наступним основним напрямкам:

- розробити наукові основи ферментації субстрату та обґрунтувати параметрів технічних засобів для їх виробництва;

- обґрунтувати параметри технічних засобів для пастеризації субстрату та методи збереження енергії під час її проведення;

- обґрунтувати параметри технічних засобів для виробництва їстівних грибів та енергозберігаючого вентиляційно-опалювального обладнання для культиваційних приміщень, розробити алгоритми управління обладнанням культиваційних приміщень для виробництва грибів;

- розробити методи економічної оцінки біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах із виробництвом їстівних грибів та технічних засобів для її проведення.

## **ЧАСТИНА II ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТА ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СУБСТРАТУ**

### **РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ УЩІЛЬНЕННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ГЛИВИ**

#### **1.1. Актуальність виробництва субстрату для вирощування гливи**

Органічна речовина ґрунту являє собою сукупність органічних решток, продуктів життєдіяльності ґрунтових організмів (білки, амінокислоти, органічні кислоти та ін.) та гумусних речовин, які утворилися в результаті розкладання органічної сировини (соломи, післяжнивних решток, зеленого добрива та ін.) під впливом ґрунтових мікроорганізмів [13, 56, 74].

Гумусові речовини утворюються в ґрунті внаслідок біохімічних процесів – розкладу і синтезу органічної сировини [109, 47, 110]. Проходження процесу біологічної трансформації органічної сировини від її початкового стану до ґрунтового гумусу відбувається в декілька основних етапів: гідроліз; синтез бактеріями колоїдних речовин на основі лігніну; синтез актиноміцетами та ґрунтовими мікроскопічними грибами; полімеризація продуктів мікробіологічного синтезу; зміцнення зв'язків гумусових речовин з мінеральною частиною ґрунту та утворення ґрунтового гумусу [13]. В подальшому утворений ґрунтовий гумус проходить стадію мінералізації, після чого використовується рослинами в процесі їх життєдіяльності, завершуючи таким чином кругообіг органічної сировини в агроценозах [47, 110].

Без удобрення щорічні втрати гумусу в сівозміні становлять в середньому від 0,5 до 1 т/га. Найбільш відомими дійовими агротехнічними заходами відновлення запасів органічної речовини ґрунту є залишення на полі післяжнивних решток, соломи, зелених добрив, внесення органічних добрив [109, 92].

Отже, з метою отримання високих та стійких врожаїв сільськогосподарських культур необхідно забезпечити природний кругообіг органічної сировини агроценозів та етапи її проходження від початку розкладу органічної сировини до утворення гумусу, обравши для цього технологічно та економічно обґрунтований комплекс заходів.

Одним із найпростіших методів поповнення вмісту органічної речовини в ґрунті є використання незернової частини врожаю (солома, полова та ін.). У соломі в середньому міститься близько 0,5 % азоту, 0,25 % фосфору, 0,8 % калію а також інші елементи. Солома містить також від 35 до 40 % вуглецю в формі різних органічних сполук і є важливим джерелом цього елемента для утворення гумусу та вуглекислоти для живлення рослин. Але поряд з цим при використанні соломи в якості органічного добрива можливе зниження врожаю. Це пов'язано з іммобілізацією мікрофлорою ґрунтових запасів азоту і зв'язуванням його на певний час у недоступні для рослин форми. Отже, при використанні соломи в якості органічного добрива необхідно тимчасові втрати азоту компенсувати додатковим внесенням його в кількості від 7 до 10 кг на 1 т соломи у формі мінеральних добрив [92, 58, 21, 29, 55].

Даний метод, безперечно, поліпшує гумусний баланс, фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунту, проте залишення соломи на поверхні поля, з послідувачим її подрібненням та заорюванням, сприяє засміченню його бур'янами, розповсюдженню хвороб та шкідників, ускладнює процес обробітку ґрунту. При зазначеному методі біологічна конверсія органічної сировини повністю відбувається за рахунок ґрунтової мікрофлори [47, 111].

Іншим, більш ефективним, варіантом використання незернової частини врожаю (переважно соломи) є застосування її в якості підстилки при утриманні худоби та птиці. Підстилка має значне агрономічне значення. Вона сприяє збільшенню виходу гною, поглинає рідкі його форми та аміачний азот. З нею потрапляє до гною додаткова кількість поживних речовин, які під дією мікробіологічних процесів перетворюються у більш доступні для рослин форми [47, 92].

Гній поліпшує фізико-хімічні властивості ґрунту, його водний та повітряний режими, підвищує вміст гумусу, кальцію, зменшує кислотність ґрунту, посилює його біологічну активність і сприяє підвищенню родючості. Завдяки цьому ріст та розвиток рослин проходить у кращих умовах [109].

При зазначеному методі початкова стадія біологічної конверсії органічної речовини (гідроліз) відбувається в місці її зволоження (тваринницькі приміщення, пташники), а наступні – під дією ґрунтової мікрофлори при внесенні в ґрунт.

Оскільки в підстилковому гної та посліді відсутнє оптимальне співвідношення вуглецю та азоту, то вміст засвоюваного рослинами азоту в ґрунті зменшується, що зумовлено швидким ростом ґрунтової мікрофлори, для живлення якої недостатньо розчинних форм азоту в підстилковому гної, і вона поглинає азот із ґрунту [92, 75].

Найменш поширеним методом біоконверсії органічної сировини є компостування або спонтанна ферментація, під час якої проходить гідроліз полісахаридів на моносахариди та мікробіологічний синтез бактеріями та актиноміцетами колоїдних речовин на основі лігніну з утворенням лігніно-гумінового комплексу. У компостах поживні речовини перетворюються в найбільш засвоювану рослинами форму. Ефективність компостів на 8 – 10 % вища порівняно з підстилковим гноєм та послідом [36]. Крім того, дози внесення компосту, як правило, вдвічі менші, що скорочує транспортні витрати, але виробництву компостів не приділяється достатньої уваги, відсутні проектні рішення майданчиків для компостування та технічні засоби для його проведення [47].

Проходження більшості ґрунтоутворних процесів в природі обумовлено життєдіяльністю мікроорганізмів із світу рослин зокрема мікроскопічних грибів. Гриби здатні руйнувати досить складні органічні сполуки відходів рослинного та тваринного походження. Так як до складу відходів рослинного походження входять біологічні полімери то розклад та мінералізація цих речовин ґрунтовими грибами має виключно важливе значення в загальній біологічній конверсії органічної сировини. Ґрунтові гриби здатні руйнувати білки, складові частини

грунтового перегною, та приймати участь в структуруванні ґрунту, що має важливе значення для підвищення її родючості. В процесі життєдіяльності ґрунтових мікроміцетів утворюються фізіологічно активні речовини, які стимулюють ростові процеси у рослин [112, 51, 113].

В умовах дефіциту продовольчого білка, високої вартості м'ясних продуктів велику харчову цінність здобувають плодові тіла грибів різних видів, в тому числі гливи [112].

Біоконверсія органічної сировини агроценозів у штучних умовах із вирощуванням гливи забезпечує проведення всіх початкових її стадій без участі ґрунтової мікрофлори і дає змогу максимально прискорити процес утворення первинного гумусу з соломи [13, 47, 103]. При цьому при проходженні всіх стадій біологічної конверсії, які передують внесенню органічної сировини в ґрунт, мікробіологічний синтез забезпечується не ґрунтовими мікроскопічними грибами, а грибами гливи. Це дає можливість здійснювати біоконверсію соломи в умовах, наближених до оптимальних, для кожного виду мікрофлори, а також отримувати додаткову білкову продукцію – гриби гливи [111, 104].

Структурну схему біологічної конверсії соломи при виробництві гливи доцільно проводити в наступній послідовності, з дотриманням всіх біотехнологічних параметрів (рис. II.1) [114, 102].

Так як глива являється одним із первинних агентів розкладу, вона може безпосередньо руйнувати матеріали, які містять целюлозу або лігнін без хімічної або біологічної підготовки. Тому субстратом для вирощування гливи можуть бути різні матеріали рослинного походження (солома зернових та зернобобових культур, стебла та стержні качанів кукурудзи та ін.) використовують також суміші різних матеріалів [11, 12]. При збиранні зернових культур на полях залишається велика кількість незернової частини врожаю (солома, полова та ін.) [115], яка, в переважній більшості, при проходженні через молотильні пристрої зернозбиральних комбайнів подрібнюється до технологічно передбачених фракцій. У разі перевищення розмірів фракцій соломи необхідно проводити додаткове подрібнення за 1 – 2 дні або в день використання, на фракції довжиною

від 1 до 5 см стаціонарними подрібнювачами [83, 116, 97]. При збиранні врожаю необхідна кількість соломистих матеріалів (з урахуванням потреби до наступного врожаю) транспортується візками до приміщень або на майданчики для зберігання.

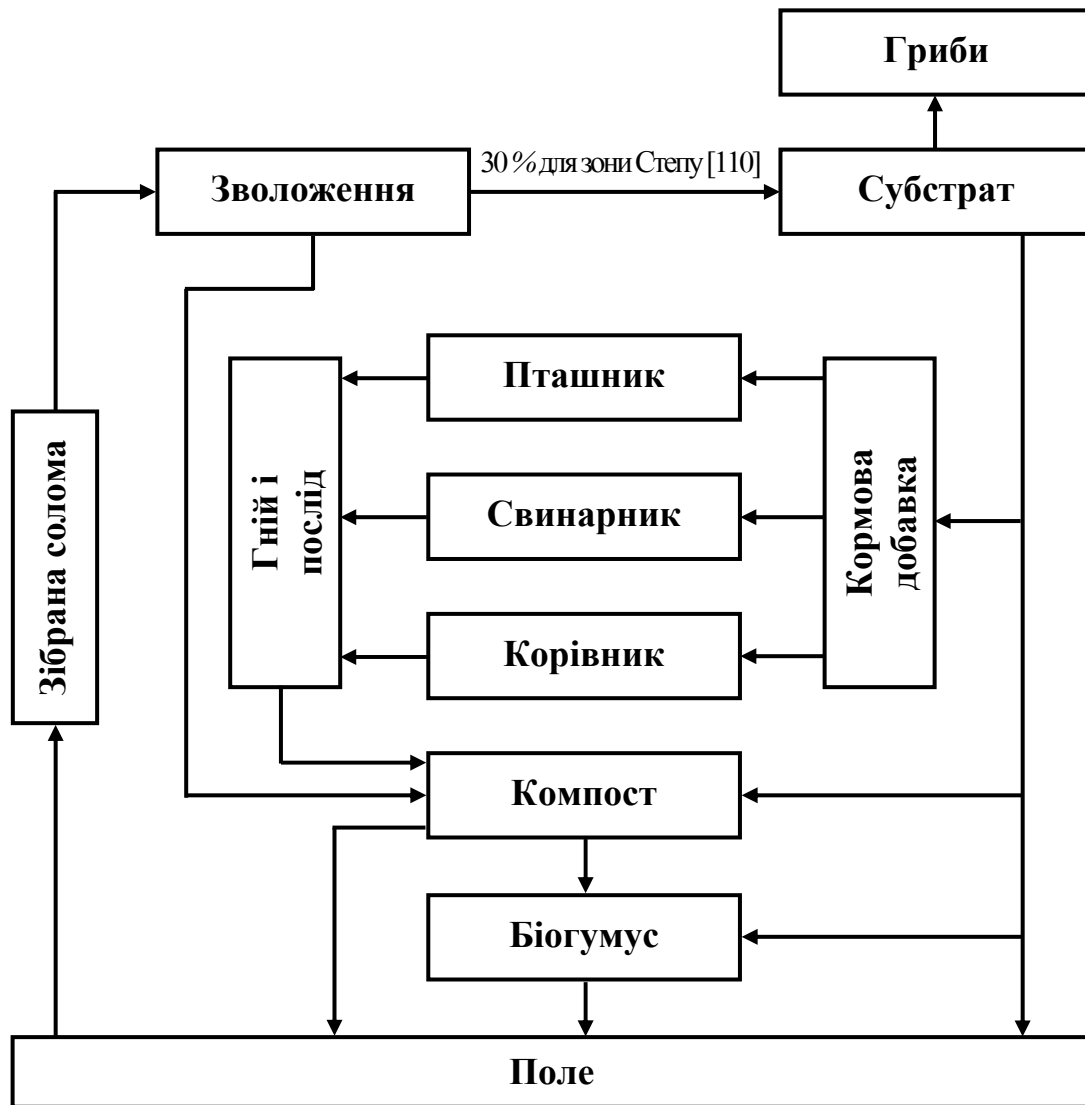


Рис. П.1 – Структурна схема біоконверсії соломи при виробництві гливи

Порція соломи, необхідна для разового завантаження пастеризаційної камери, подається з основного місця зберігання до місця її зволоження до відносної вологості від 70 до 75 %. Подрібнену соломи для цього вміщують до басейну і заливають водою з розрахунку на одну вагову частину соломи три частини води. Для зволоження до необхідної вологості соломи замоченої в холодній воді необхідно 2–3 дні, в гарячій воді – декілька годин. При замочуванні

соломи проходить перша стадія біологічної конверсії органічної сировини – гідроліз, при якому відбувається розклад полісахаридів на дисахариди [47, 86].

В даний час існує два способи вирощування гливи: екстенсивний та інтенсивний. Екстенсивний спосіб передбачає використання неділової деревини листяних порід дерев з інокуляцією в них міцелію. Але даний спосіб вирощування пов'язаний з використанням деревини та відходів лісового господарства, а тому використовується переважно в зоні Полісся.

Інтенсивний спосіб отримання плодових тіл гливи передбачає культивування її в спеціальних приміщеннях, де є можливість регулювати умови мікроклімату. Перевагами цього способу є те, що він дозволяє вирощувати гриби протягом року та отримувати більш високі та стабільні врожаї, а також використовувати різні субстрати рослинного походження та здійснювати механізацію та автоматизацію виробництва, що скорочує цикл технологічних процесів до 8 – 10 тижнів [116].

Одним із найвідповідальніших етапів у виробництві субстрату є термообробка для пригнічення в ньому життєдіяльності мікроорганізмів, які в подальшому можуть стримувати розвиток гливи. При інтенсивному культивуванні гливи використовують переважно один із різновидів термообробки субстрату – пастеризацію, яку здійснюють в спеціальних пастеризаційних камерах. Субстрат після завантаження в камеру нагрівають до температури 60°C паром, яка надходить з парогенератора та забезпечують стійку та тривалу рециркуляцію повітря за допомогою вентилятора. Тривалість пастеризації значною мірою впливає на якість субстрату. Тривалість пастеризації субстратів, приготовлених із соломи всіх видів злакових культур складає 48 – 72 години. Після термічної обробки субстрат інокують посівним міцелієм та пакують у поліетиленові мішки. Рекомендується використовувати мішки з ущільненим субстратом при таких технологічно заданих параметрах: діаметр мішків повинен становити 20 – 40 см, висота – 60 – 80 см та вміщувати 10 – 20 кг субстрату [116].

Інокуляцію субстрату міцелієм гливи здійснюють зазвичай одночасно з завантаженням його в ємкості, де на шар ущільненого субстрату наносять шар

зернового міцелію. Але більш доцільно посівний матеріал рівномірно змішувати з субстратом, суміш ущільнювати та пакувати у поліетиленові мішки циліндричної форми, використовуючи для цього ущільнювачі, у разі їх відсутності – вручну [116].

У гливи є характерна особливість, її плодові тіла краще розвиваються на вертикальній поверхні, ніж на горизонтальній. Саме тому мішки в розросному приміщенні розміщують на спеціально змонтованих стелажах, зводячи стіну, після чого починається масовий ріст гливи [83, 15].

Один із способів вирощування гливи ґрунтується на використанні відходів рослинного походження, як основних складових компонентів субстрату, він представляє собою безвідходну технологію. В якості добрив субстрат застосовують при вирощуванні овочевих культур [118]. При цьому його використовують як основу, що шаром в 5 см покриває ґрунт [116].

Можливий варіант використання відпрацьованого субстрату, разом із залишком соломи та гноєм і послідом, при виробництві компостів.

При виробництві біогумусу відпрацьований субстрат є незамінним компонентом, складові елементи якого пройшли попередню підготовку, в результаті чого елементи живлення, що містяться в них, були переведені із складних, недоступних для рослин форм у більш прості сполуки, які можуть засвоюватись рослинами.

У деяких країнах обсяги виробництва грибів, за останні роки, стрімко зросли. В Україні гриби виробляють в основному невеликі підприємства, а також декілька великих комплексів, з високим рівнем механізації технологічних процесів. Вироблена продукція користується попитом на ринках та в мережі громадського харчування [44, 45, 46].

У зоні Степу використання біоконверсії органічної сировини з виробництвом грибів на основі органічних ресурсів сівозміни дозволяє додатково отримувати 550 кг/га гливи. Виробництво їстівних грибів збільшує питомий прибуток з 1 га сівозміни в 1,5 рази. При виробництві гливи у зоні Степу це близько 1250 грн./га сівозміни [111].

Таким чином, біологічна конверсія соломи в агроценозах з вирощуванням гливи дозволяє максимально інтенсифікувати процес утворення первинного гумусу із органічної сировини за рахунок її здійснення в штучних умовах, з отриманням додаткової білкової продукції у вигляді гливи, а також супутніх продуктів: кормової добавки для худоби та птиці, складових компонентів для виробництва компосту та біогумусу.

## **1.2. Фізико-механічні властивості субстрату, як об'єкта обробки**

Ефективність процесу ущільнення в значній мірі залежить від фізико-механічних властивостей ущільнювальних матеріалів. Так як ущільнювальна маса може в своєму складі містити декілька компонентів, з різними за природою походження та фізико-механічними властивостями, на процес ущільнення мають суттєвий вплив пружні, в'язкі та фракційні властивості складових компонентів ущільнюваного матеріалу [119, 120, 121].

Відомо, що фізико-механічні властивості ущільнювальних матеріалів не мають сталого характеру, а тому по різному проявляють себе залежно від різних факторів, що і пояснює складність їх аналітичного визначення. До найбільш важливих з них відносять вологість, фракційний склад, вміст та вид складових компонентів. Перелічені параметри визначають стан ущільнювальної суміші і тому необхідно відшукати такі конструктивні параметри ущільнювача, які забезпечують отримання якісних показників виготовленої продукції при мінімальній енергоємності процесу ущільнення.

Процес ущільнення проходить в декілька послідовних етапів: початкове ущільнення, утримання під тиском, кінцеве ущільнення з одночасним пакуванням у тару та пружним розширенням ущільненого мішка після виходу з основної камери ущільнення. Ефективність проходження процесу ущільнення в цілому залежить від ступеню оптимальності здійснення кожного з етапів.

Ступінь ущільнення субстрату перш за все зумовлена протидією додаткового підпресовуючого пристрою ущільнювача та фізико-механічними

властивостями субстрату. Виходячи з цього тиск, спрямований на ущільнення субстрату складається із тиску, необхідного для ущільнення маси, тиску, необхідного для переборювання сил тертя ущільнювальної маси об робочі поверхні ущільнювальних камер ущільнювача та тиску, необхідного для переборювання сили жорсткості пружини додаткового підпресовуючого пристрою.

Загальновідомо, що визначальні фактори, які характеризують процес ущільнення субстрату, можна поділити на такі групи:

1) фактори, які характеризують фізико-механічні властивості субстрату:

– модуль пружності ущільнення – це здатність матеріалу до ущільнення, при прикладеному до нього зовнішнього тиску, за умови відсутності втрат його на тертя об робочі поверхні;

– коефіцієнт бокового тиску – відношення бокового тиску зі сторони ущільнювального матеріалу до діючого осьового тиску при ущільненні;

– початкова щільність та вологість субстрату;

– фракційний склад елементів маси.

2) фактори, які характеризують умови ущільнення матеріалу:

– питомий тиск при ущільненні субстрату;

– коефіцієнт тертя субстрату об робочі поверхні ущільнювальної камери, величина якого залежить від його властивостей та стану поверхні, відносно якої відбувається тертя.

Солома, як основний складовий компонент субстрату, при ущільненні чинить опір стисканню, але після зняття тиску, під дією сил пружності, має властивість до розширення, обмеженого габаритними розмірами пакувальної тари. Враховуючи цю властивість субстрату необхідно комплексно досліджувати вплив тиску, фракційного складу та вологості на якісні показники ущільнених мішків субстрату а також конструкційних параметрів ущільнювача.

Дослідники процесу ущільнення матеріалу описують його емпіричними формулами, які враховують фізико-механічні властивості, як самого ущільнювального матеріалу в цілому, так і його складових компонентів.

Отже, ущільнення сіно-соломистих матеріалів – це процес наближення частин матеріалу під дією прикладених зовнішніх сил з метою підвищення його щільності [122].

Основним показником, який характеризує ущільнення сіно-соломистих матеріалів, являється щільність отриманих мішків. Вона підвищується з збільшенням тиску робочого органу на ущільнювальний матеріал та сили протидії підпору. Для визначення напружень, які діють в деталях та механізмах ущільнювача, а також енергії, необхідної для ущільнення, необхідно знати зусилля на поршні, яке враховує як, опір матеріалу до стиснення, так і його тертя об стінки ущільнювальної камери [123].

Отже, соломисті матеріали характеризуються цілісним комплексом взаємопов'язаних фізико-механічних і технологічних властивостей, урахування та детальне вивчення яких і обумовлює ефективність виконання процесу ущільнення.

### **1.3. Напрямки розвитку технічних засобів для ущільнення і пакування соломистих матеріалів**

Розробка засобів механізації для грибівництва спрямована на збільшення ефективності виробництва. Критерієм доцільного добору машин та обладнання для механізації технологічних процесів, зокрема, при виробництві субстратів та грибів повинен бути рівень отриманого прибутку у господарстві. Доцільним можна вважати такий рівень механізації, який забезпечує отримання підприємством максимального прибутку. Для цього необхідно при прийнятті рішення про придбання або розробку засобів механізації проводити оцінку зміни прибутку [111].

При зростанні попиту на гливу та збільшенні обсягів їх виробництва виникає проблема в забезпеченні комплексами засобів для підвищення рівня механізації при їх вирощуванні, зокрема машин для ущільнення та пакування субстрату. В даному напрямку механізації вітчизняна промисловість не

забезпечує належними технічними засобами та обладнанням. Іноземне обладнання для грибівництва на сьогоднішній день має досить високу вартість, що обмежує кількість бажаючих його придбати. Саме тому дослідження та розробка засобів механізації для грибівництва з метою підвищення рівня механізації виробництва гливи на сьогоднішній день набувають актуальності.

Основні технологічні операції, які забезпечують біоконверсію органічної сировини агроценозів у штучних умовах з виробництвом гливи, наступні:

- замочування соломи для виробництва субстрату;
- пастеризація та ущільнення субстрату.

Процес ущільнення субстрату є найбільш трудомістким, потребує дотримання однорідності субстрату за показником щільності, а тому в першу чергу має бути забезпечений відповідними технічними засобами.

Характерною особливістю ущільнення субстрату є те, що спочатку відбувається ліквідація порожнин при відсутності пружних властивостей субстрату. Вологість субстрату знаходиться в межах від 70 до 75 %, що перевищує вологість традиційно ущільнюваних сіно-соломистих матеріалів. При подальшому ущільненні в субстраті виникають внутрішні напруження, які збільшуються одночасно зі збільшенням деформації, та протікає процес зменшення внутрішніх напружень за рахунок розсіювання енергії у масі субстрату. Після переходу зони максимального стиснення, субстрат, завдяки збереженню пружних властивостей, короткочасно продовжує здійснювати тиск на робочий елемент ущільнювача (поршень, валець і ін.), а після втрати контакту з ним, розширюється на висоту, яка відповідає енергії, що залишилась в об'ємі після стиснення субстрату [124].

При виборі типу робочого органу ущільнювача необхідно враховувати наведені основні характерні фізико-механічні властивості субстрату та особливості його виробництва для вирощування гливи.

Рівномірного розподілу посівного міцелію в субстраті при вирощуванні гливи досягають завдяки його розпушуванню. Перед подачею на стелажі субстрат пакують у мішки та ущільнюють відповідно до технологічних вимог. При

місткості культивацийних приміщень до 20 т виробники застосовують поршневі ущільнювачі різних типів [125].

Для пакування субстрату в поліетиленові мішки деякі виробники використовують спеціальне обладнання УМС-20 (рис. П.2), розроблене науковцями ННЦ “ІМЕСГ” УААН, за допомогою якого забезпечується внесення посівного міцелію у відповідній дозі від маси субстрату та його ущільнення до необхідної щільності [126, 127].

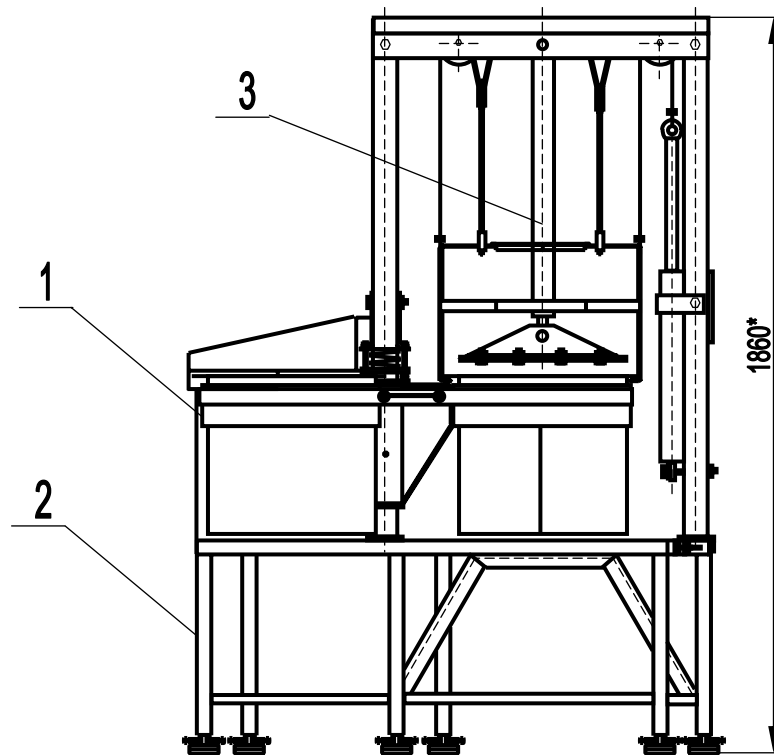


Рис. П.2 – Загальний вигляд машини для пакування пастеризованого субстрату в мішки УМС-20: 1 – ротор з пакувальними циліндрами; 2 – рама; 3 – силовий гідроциліндр з поршнем

В ФРН розроблено спеціальну промислову установку для безперервного приготування субстрату для вирощування гливи з одночасним пакуванням його у мішки (рис. П.3) [128].

Подрібнений субстрат 1 подається за допомогою пневматичного пристрою в завантажувальний контейнер 2. Потім, за допомогою спеціального подавальника,

субстрат поступає в міксер 3, де змішується з водою та іншими компонентами 4. Для знищення конкуруючих мікроорганізмів та плісняви в відсіках субстрат нагрівають, а потім охолоджують до температури від 20 до 25 °С. В бункері, обладнаному дозатором міцелію, певна кількість субстрату змішується з необхідною кількістю міцелію. Інокульований міцелієм субстрат пакують в мішки, ящики або спеціальні контейнери для вирощування гливи на спеціальних пакувальних лініях [128].

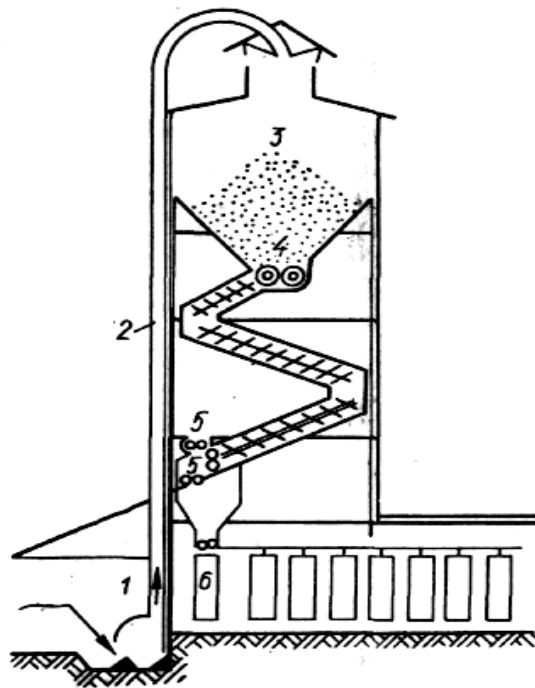


Рис. П.3 – Установка для безперервного приготування субстрату для вирощування гливи: 1 – завантаження субстрату; 2 – перемішування субстрату; 3 – зволожений субстрат; 4 – механізми, які регулюють подачу субстрату до контейнерів; 5 – завантаження субстрату в контейнери; 6 – циліндричні контейнери

Італійська фірма Vierrebi s.n.c., яка спеціалізується на виробництві обладнання для грибівництва, пропонує агрегат для наповнення мішків субстратом (рис. П.4) [129].

Даний агрегат має високий рівень автоматизації та завдяки застосування двох потокових ліній наповнення мішків субстратом має високу продуктивність, порівняно з вітчизняними аналогами. Єдиним фактором, який стримує вітчизняні підприємства, що спеціалізуються на виробництві субстратів для вирощування грибів, від придбання іноземного обладнання, є його висока вартість для вітчизняних споживачів.

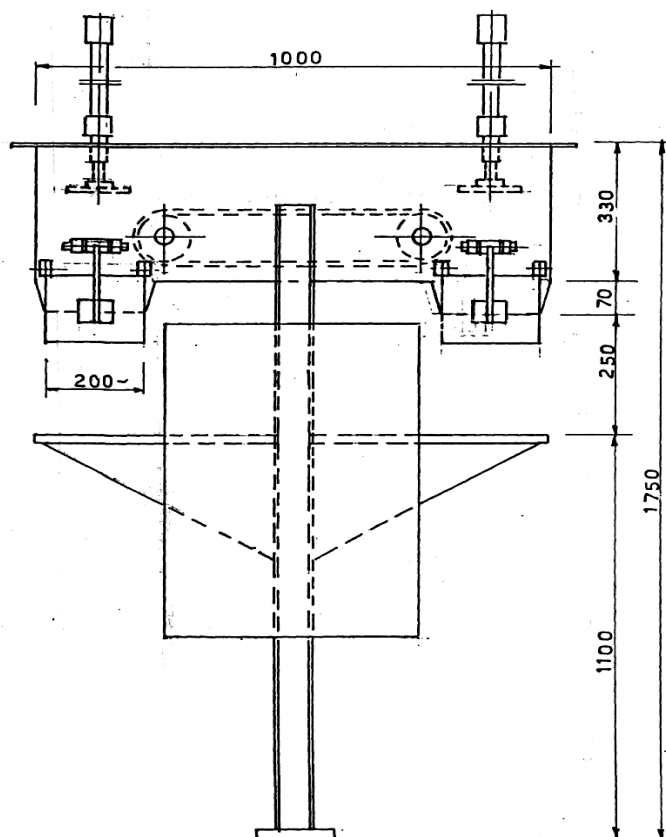


Рис. П.4 – Агрегат для наповнення мішків субстратом

Класифікацію робочих органів для ущільнення та брикетування соломистих матеріалів була запропонована В. І. Особовим та А. В. Голяновським [130]. В подальшому класифікація робочих органів для ущільнення та гранулювання була розвинута В. І. Особовим сумісно з Х. М. Кучинксом та Ю. Л. Фрегером [131].

Проведений аналіз конструкцій ущільнювачів, які були розроблені в нашій країні та за кордоном, дозволяє провести їх класифікацію за принципом виконання технологічного процесу: перервний (порційна подача

ущільнювального матеріалу) та безперервний (постійна подача ущільнювального матеріалу) (рис. П.5) [132, 133].

По типу конструкції робочих органів ущільнювачі та преси поділяються на поршневі, штемпельні, конвеєрні, стрічково-вальцеві, вальцеві, рулонні, шнекові та кільцеві.

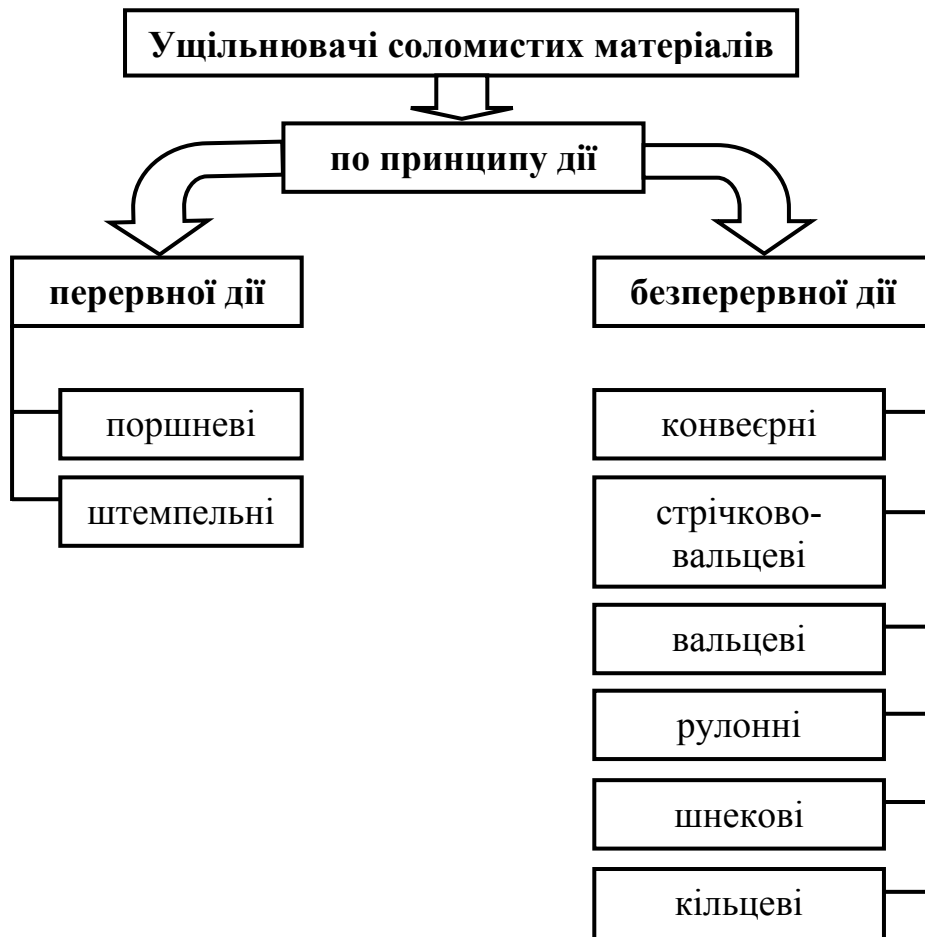


Рис. П.5 – Класифікація ущільнювачів соломистих матеріалів

Для брикетування та гранулювання соломистих матеріалів широкого застосування набули ущільнювачі з кільцевими робочими органами (рис. П.6). Вони виготовляються як одно- так і багатоматричні, з вертикальними або горизонтальними обертаючимися (активними) або нерухомими (пасивними) кільцевими (горизонтальними плоскими) матрицями [131].

Робочий орган складається з кільцевої матриці 1 з розміщеними по її периметру пресувальними каналами, через які продавлюється ущільнений матеріал. Технологічний процес ущільнення сіно-соломистих матеріалів, даним типом робочих органів, проходить в такій послідовності: до кільцевої матриці 1 подається ущільнюваний матеріал 2, який продавлюється через пресувальні канали роликками 3 або криволінійними лопатями які обертаються [132, 133].

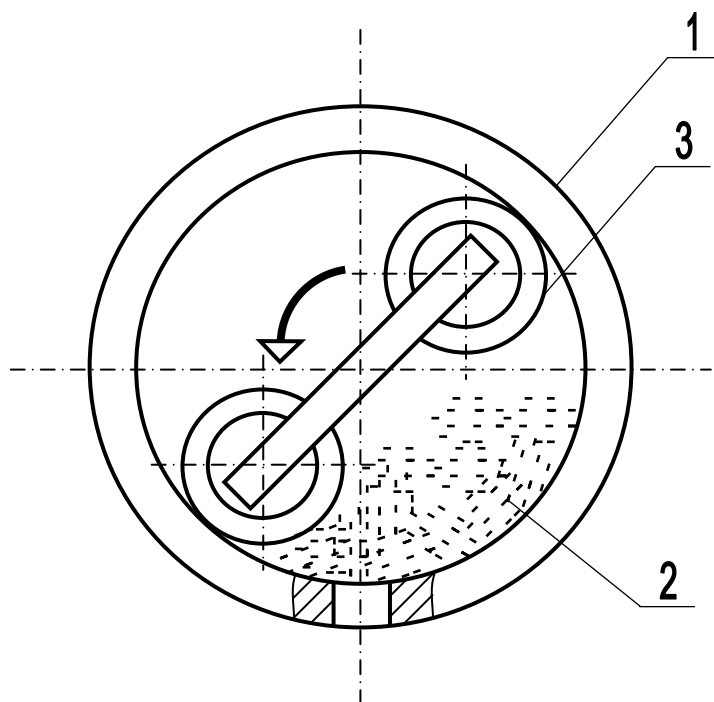


Рис. П.6 – Схема робочого органу ущільнювача соломистих матеріалів кільцевого типу: 1 – кільцева матриця; 2 – ущільнюваний матеріал; 3 – пресуючий ролик

Процес роботи матричних ущільнювачів досліджували ряд вчених [134, 135, 136, 137]. За даними М. В. Хілкової [138] матричний ущільнювач ОПК-2 здатний виготовити брикети зі щільністю від 700 до 850 кг/м<sup>3</sup>, при затратах енергії до 108 кДж/кг та продуктивності до 3000 кг/год. [139].

До переваг матричних ущільнювачів з кільцевими робочими органами слід віднести безперервність процесу ущільнення, але вони енергоємні та вимагають якісної підготовки матеріалу до ущільнення [132, 133]. Внаслідок ущільнення матеріалу утворюються гранули малих розмірів та високої щільності, а тому

застосування ущільнювачів з даним типом робочих органів для ущільнення субстратів недоцільне.

Найбільш широкого застосування для ущільнення соломистих матеріалів набули штемпельні преси. Штемпельні робочі органи діють за принципом порційної подачі матеріалу до камери. Вони призначені, в основному, для брикетування матеріалів та відрізняються від поршневих лише меншим поперечним перерізом пресувальної камери. Відомі штемпельні робочі органи з відкритою та закритою (рис. II.7) ущільнювальними камерами [132, 133]. Теорію ущільнення соломистих матеріалів штемпельними робочими органами розроблено В. І. Особовим [117].

Процес роботи штемпельних ущільнювачів досліджували С. А. Алферов [140], В. І. Особов [117], І. А. Долгов [141], А. А. Колотев [142], Г. Н. Шульга [143] та ін.

У відкритій камері протидія створюється внаслідок тертя ущільнювального матеріалу об стінки камери, при цьому ущільнення і виштовхування виконується за один прохід штемпеля. В закритій камері ця операція виконується роздільно, а протидія створюється нерухомим упором.

Штемпельні преси з відкритою камерою більш енергоємні, ніж з закритою, що пояснюється наявністю додаткового зусилля на проштовхування ряду порцій матеріалу по матриці. Але в той же час витримка порцій матеріалу в ущільненому стані сприяє зняттю напруг релаксації та підвищує їх щільність. В закритих камерах енергія на переборення тертя скорочується, але для даних камер ускладнено дозування ущільнюваного матеріалу, що скорочує спектр їх практичного застосування. За літературними джерелами енергоємність ущільнення у відкритій камері досягає 81 кДж/кг [132], закритій – від 26,7 до 32,3 кДж/кг [144].

Конструкція даного типу робочих органів передбачає ущільнення матеріалу з одночасним пакуванням у тару, але для виробництва субстратів ущільнювачі з даним типом робочих органів не застосовують, так як вони забезпечують високий

ступінь стискування матеріалу, а тому набули більш широкого застосування при брикетуванні матеріалів.

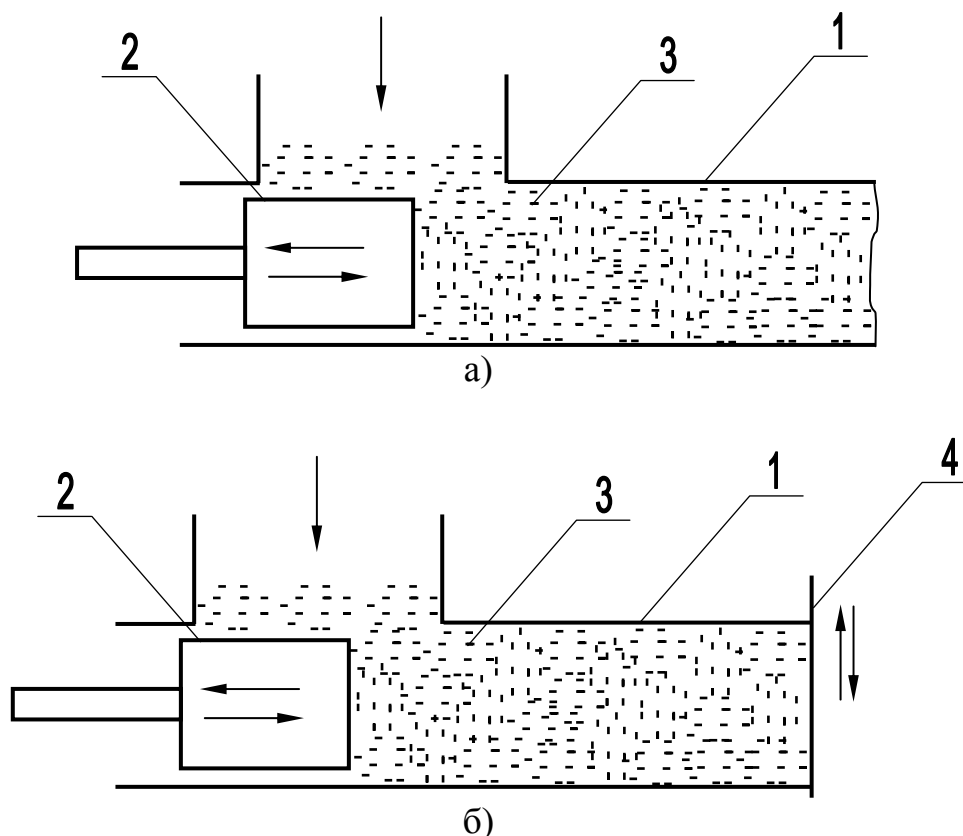


Рис. П.7 – Схеми робочих органів ущільнювачів соломистих матеріалів штемпельного типу з відкритою (а) та закритою (б) камерою: 1 – камера пресувальна; 2 – штемпель; 3 – ущільнювальний матеріал; 4 – заслінка

Конвеєрні робочі органи являють собою два транспортера, які сходяться під гострим кутом і між якими подається ущільнювальний матеріал (рис. П.8) [132, 133].

Переміщуючись до виходу з транспортерів, матеріал одночасно ущільнюється. Перевагами такого робочого органу є безперервність робочого процесу і, як наслідок, висока продуктивність, а також двохстороннє стиснення матеріалу, що підвищує однорідність щільності матеріалу по об'єму. Транспортери можуть бути гладкими або з планчатими елементами, які переміщуються паралельно один одному.

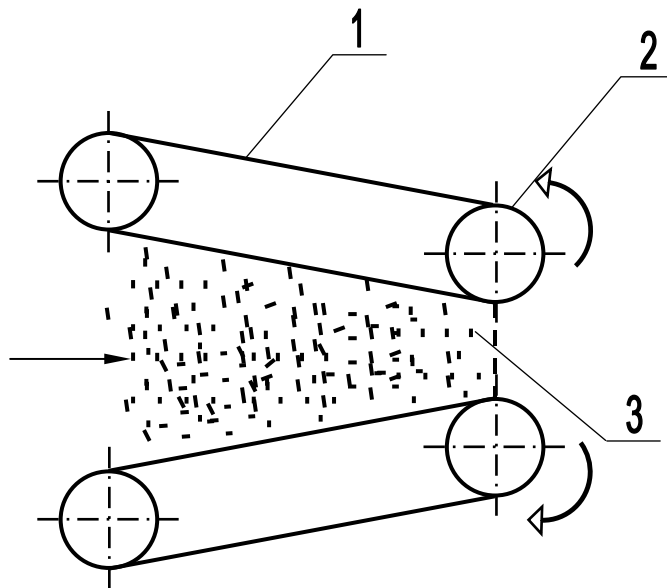


Рис. П.8 – Схема робочого органу ущільнювача соломистих матеріалів конвеєрного типу: 1 – стрічка транспортерна; 2 – барабан; 3 – ущільнювальний матеріал

Недоліком застосування даного типу робочого органу, при виробництві субстрату, є відсутність можливості пакування мішків з ущільненим субстратом, із-за безперервності проходження процесу ущільнення. При наявності пакувального пристрою, ущільнювач з даним типом робочого органу може працювати, при цьому показники продуктивності будуть дещо вищі, в порівнянні з вищенаведеними типами робочих органів ущільнювачів, але включення додаткових пристроїв для пакування ускладнюють конструкцію ущільнювача, збільшують її металоємкість та вартість.

Рулонні робочі органи застосовуються переважно в підбирачах, так як добре зарекомендували себе в роботі при ущільненні соломистих матеріалів в тюки циліндричної форми. Технологічний процес ущільнення соломистих матеріалів проходить в такій послідовності: ущільнювальний матеріал 2 подається до ущільнювальної камери, де на зустріч один одному обертаються вальці 1 (рис. П.9) або безперервна стрічка, яка огинає ряд направляючих роликів, при цьому ущільнюють матеріал, формуючи з нього рулони [132, 133, 145].

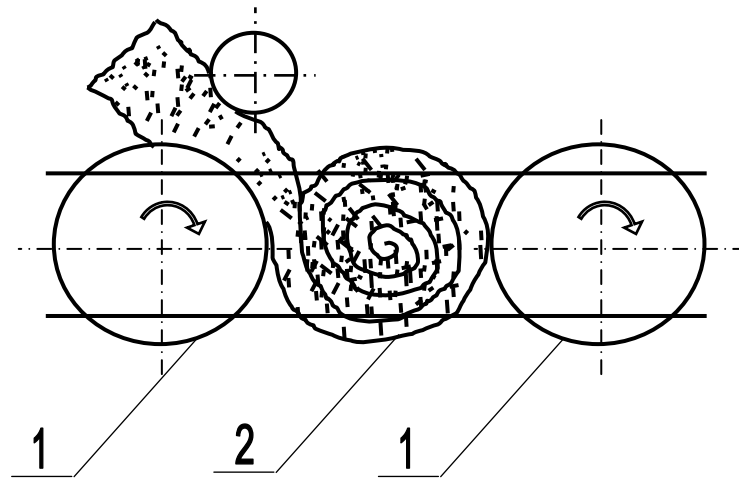


Рис. П.9 – Схема робочих органів ущільнювача соломистих матеріалів рулонного типу: 1 – вальці або ролики; 2 – ущільнювальний матеріал

Ущільнювачі такої конструкції забезпечують стабільний процес при малих енергозатратах та не поступаються в продуктивності поршнеvim ущільнювачам при звертанні рулонів діаметром від 800 до 1500 мм.

Основним недоліком, що виникає при застосуванні даного типу робочих органів для ущільнення субстрату є те, що завдяки конструктивним особливостям вони здатні ущільнювати матеріал, формуючи при цьому рулони великого діаметру (від 800 до 1500 мм), а також виключають можливість одночасного пакування матеріалу в тару.

Вальцеві робочі органи являють собою пару вальців циліндричної форми (рис. П.10), які обертаються назустріч один одному, при цьому ущільнюючи матеріал за принципом його прокочування. Для покращення захвату, а також для розділення ущільненого матеріалу на окремі частини (брикети), поверхні вальців обладнують ножами або виготовляють рифленими. Розрізняють конструкції ущільнювачів як одно- так і багатовальцеві. При ущільненні субстрату ущільнювачами даним типом робочих органів формуються ущільнені мішки прямокутної форми з горизонтальним розміщенням відносно поверхні [132, 133].

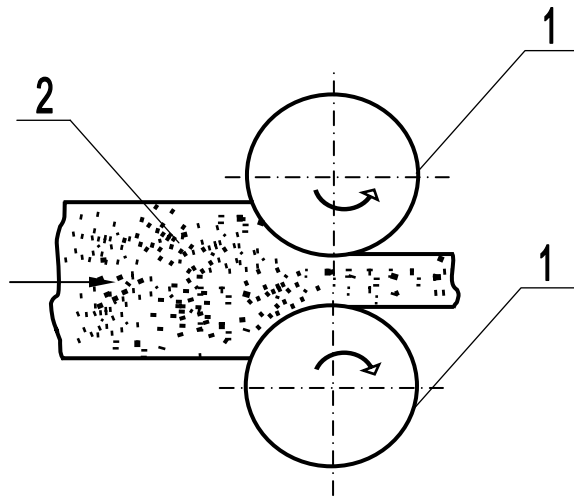


Рис. П.10 – Схема робочого органу ущільнювача соломистих матеріалів вальцевого типу: 1 – вальці; 2 – ущільнювальний матеріал

Ущільнення соломистих матеріалів прокочуванням між вальцями досліджували В. П. Горячкін [146], І. А. Долгов [141], А. Ф. Лазебний [147], І. А. Маяковський [148] та інші вчені.

Не дивлячись на малу енергоємність таких робочих органів, вони не набули широкого застосування, тому що для значного ущільнення матеріалу необхідні вальці досить великого діаметру або встановлювати декілька вальців, що ускладнюватиме конструкцію ущільнювача. Застосовують ущільнювачі з даним типом робочих органів переважно при виробництві субстратів на промислових комплексах. Найшли своє застосування прикочуючі робочі органи з підвищеною захвачувальною здатністю – зубчаті робочі органи, роботу яких досліджували Ю. А. Сімакин [149], а також розроблений та досліджуваний В. І. Щербиною конвеєрно-вальцевий ущільнювач, енергоємність процесу ущільнення якого становить від 26,7 до 32,3 кДж/кг [144].

Шнекові робочі органи, так як і транспортерні, здійснюють безперервний процес ущільнення матеріалу. Розрізняють конструкції шнеків циліндричної (рис. П.11) та конічної форми з постійним або змінним кроком гвинтової лінії [132, 133]. Для брикетування матеріалів застосовують переважно конічний шнек, так як він має вищу ступінь стискання, а для пресування – циліндричний. Не

дивлячись на простоту конструкції, шнекові ущільнювачі не набули широкого застосування при ущільненні соломистих матеріалів так як мають високу енергоємність.

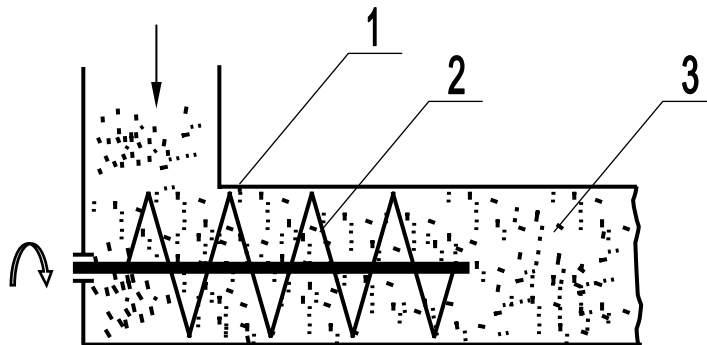


Рис. П.11 – Схеми робочих органів ущільнювача соломистих матеріалів шнекового типу: 1 – ущільнювальна камера; 2 – шнек; 3 – ущільнювальний матеріал

Єдиним недоліком, який стримує застосування ущільнювачів з даним типом робочих органів, є те що при проходженні процесу ущільнення виключена можливість порційної подачі ущільнювального матеріалу.

Стрічково-вальцеві робочі органи являють собою транспортерну стрічку 1 (рис. П.12), на яку подається ущільнювальний матеріал 3 і над якою встановлено валець циліндричної форми 2, який обертаючись ущільнює матеріал за принципом його прокочування.

Існують конструкції ущільнювачів як з одно- так і з декількома вальцями [132, 133]. Перевагами такого робочого органу є безперервність робочого процесу і, як наслідок, висока продуктивність.

Основними недоліками застосування даного типу робочого органу, при виробництві субстрату, є відсутність можливості пакування мішків з ущільненого субстрату, із-за безперервності проходження процесу ущільнення матеріалів та складність рівномірного завантаження матеріалу в робочому просторі, що погіршує однорідність ущільненого матеріалу по об'єму мішка.

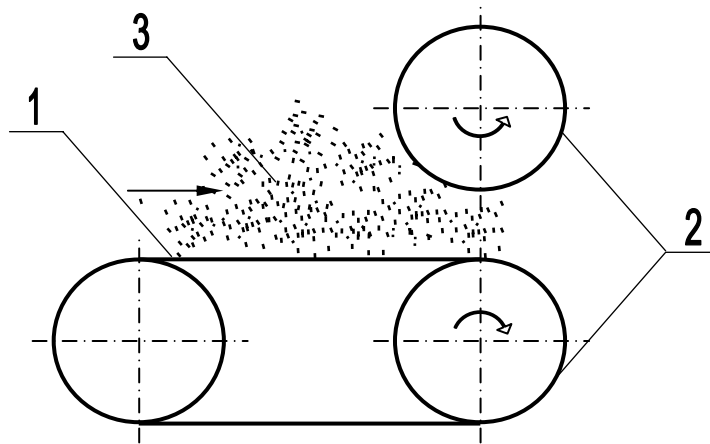


Рис. П.12 – Схема робочого органу ущільнювача соломистих матеріалів стрічково-вальцевого типу: 1 – стрічка транспортерна; 2 – вальці; 3 – ущільнювальний матеріал

Поршневі робочі органи ущільнювачів із-за простоти конструкції отримали найбільш широкого застосування. Ущільнення матеріалу здійснюється за принципом порційної подачі його в відкриту камеру та стиснення поршнем. Існують поршневі робочі органи з відкритою (рис. П.13, а) та закритою камерами (рис. П.13, б). У відкритій камері протидія стисненому матеріалу створюється внаслідок тертя його елементів об стінки камери (безопорне ущільнення). В закритій камері ця операція виконується роздільно, а протидія створюється нерухомим упором (опорне ущільнення). В сучасних ущільнювачах найбільш широко розповсюдження набули робочі органи з прямолінійним рухом поршня, так як вони забезпечують задану щільність субстрату при високій продуктивності [132, 133, 145].

Технологічний процес роботи ущільнювача з відкритою пресувальною камерою (безопорне ущільнення) походить в такій послідовності: через боковий отвір ущільнювальної камери 1 (рис. П.13, а) завантажується порція підготовленого для ущільнення субстрату. Повздовжнім переміщенням штока 3 через поршень 2 створюється тиск на ущільнювальний матеріал 4, внаслідок тертя матеріалу об внутрішню поверхню пресувальної камери та створюваної протидії

до виштовхування з камери відбувається його ущільнення. Подальше переміщення поршня 2 спричиняє витиснення ущільненого субстрату в пакувальну тару, що знаходиться на краю пресувальної камери. Таким чином відбувається процес безпорного ущільнення субстрату з одночасним пакуванням його у мішок.

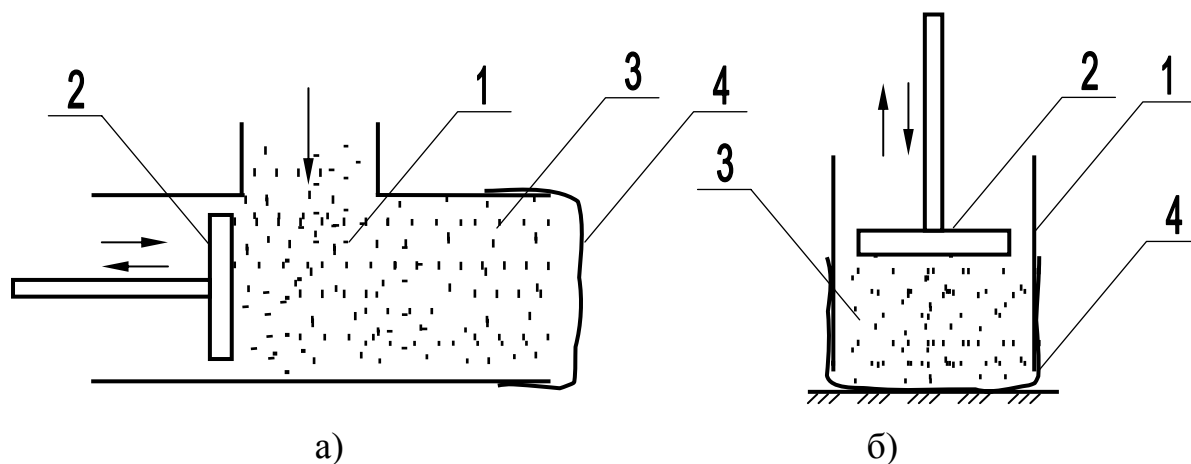


Рис. П.13 – Схеми робочих органів ущільнювачів соломистих матеріалів поршневого типу: а – безпорні; б – опорні; 1 – камера ущільнювальна; 2 – поршень; 3 – ущільнювальний матеріал; 4 – пакувальна тара

Технологічний процес ущільнення субстрату з одночасним його пакуванням у поліетиленові мішки, з використанням ущільнювачів поршневого типу з закритою пресувальною камерою (опорне ущільнення), проходить в такій послідовності: в пресувальну камеру 1 (рис. П.13, б) встановлюється пакувальна тара (поліетиленовий мішок), потім завантажується порція підготовленого для ущільнення субстрату. Повздовжнім переміщенням штока 3 через поршень 2 створюється тиск на субстрат, внаслідок чого відбувається його опорне ущільнення з одночасним пакуванням у тару.

Основними перевагами застосування ущільнювачів поршневого типу для виробництва субстрату є те, що в них процес завантаження матеріалу проходить порційно, а це дозволяє змінювати об'єми упаканих порцій субстрату.

Так як субстрати для вирощування грибів мають відмінність у властивостях, порівняно з сіно-соломистими матеріалами, що використовуються для кормових цілей, ряд наведених конструкційних особливостей робочих органів ущільнювачів, різних за призначенням та типом, не можуть задовольнити технологічних вимог щодо якості виконання технологічного процесу при виробництві субстрату для вирощування гливи.

Представляє інтерес ущільнювач [150], призначений для брикетування кормів, недоліком його є відсутність можливості дотримання необхідного ступеню щільності матеріалу, особливо при зміні маси завантаженої порції.

Прикладами ущільнювачів з поршневыми робочими органами для ущільнення сіно-соломистих матеріалів є преси [151, 152], але вони складні за конструкцією і при їх використанні зростає енергомісткість процесу ущільнення.

Приведений аналіз показує, що ущільнювачі сіно-соломистих матеріалів поршневого типу розповсюджені досить широко і мають різноманітні конструкційні виконання [153, 154, 155, 156].

Підсумовуючи аналіз можна сказати, що в практиці ущільнювачі з поршневыми робочими органами здобули широкого розповсюдження при ущільненні сіно-соломистих матеріалів як в індивідуальному так і в комбінованому виконанні. Але на основі аналізу літературних джерел важко міркувати про ефективність їх роботи. Через те, що не враховуються фізико-механічні властивості ущільнюваних матеріалів та їх технологічні параметри, відсутня характеристика показників якості отриманої продукції у визначених умовах.

Провівши аналітичний огляд технічних засобів для механізованого виробництва субстрату та врахувавши особливості росту гливи, а саме те що її плодове тіла краще розвиваються, а відповідно і мають вищу урожайність, при їх вирощуванні на вертикальній площині, можна пропонувати такі типи робочих органів ущільнювачів субстрату, які, згідно до загальних вимог технології вирощування гливи, розробленої науковцями лабораторії захищеного ґрунту Інституту овочівництва і баштанництва УААН, могли б забезпечити ущільнення

субстрату з одночасним пакуванням у мішки діаметром від 20 до 40 см, висотою від 60 до 80 см та діапазоном щільності субстрату в межах від 360 до 400 кг/м<sup>3</sup>. Перспективним напрямком підвищення ефективності виробництва субстрату для вирощування гливи є застосування механізованого процесу ущільнення субстрату ущільнювачами поршневого типу, оскільки вони на даний час, в найбільшій мірі задовольняють технологічним вимогам до ущільнення субстрату з одночасним його пакуванням у мішки [157].

#### **1.4. Аналіз наукових досліджень процесу ущільнення соломистих матеріалів**

Ущільнення соломистих матеріалів, з метою скорочення транспортних витрат, застосовувалось ще в XVIII ст. Перші преси склалися із дерев'яного ящика, до якого сіно завантажувалось вручну, та нажимної дошки для ущільнення. Тиск на нажимну дошку створювався робітником за допомогою простих механізмів [132, 133].

На початку XX ст. з'явилися перші поршневі преси з кінним приводом, що слугувало подальшому розвитку техніки для сіноущільнення. В 20-х роках почали застосовуватись стаціонарні преси з моторним приводом.

В 1960 – 70-х роках для ущільнення соломистих матеріалів почали застосовувати машини різних конструкцій. Найбільшого розповсюдження отримали ущільнювачі з прямолінійним рухом поршня та боковою подачею матеріалу до ущільнювальної камери [132, 133].

Великий вклад у вивчення питання ущільнення сіно-соломистих матеріалів внесли вчені: В. П. Горячкін [146], А. А. Григор'єв [158], С. А. Алф'єров [140], Е. М. Гутьяр [159], В. Ф. Некрашевич [134], М. А. Пустигін [160, 161], В. І. Особов [117, 162], І. А. Долгов [141], Е. І. Храпач [163], М. А. Пережогін [164], А. А. Колотєв [142], Г. Н. Шульга [143], Х. Скальвейт [165], Д. Л. Батлер, Х. Ф. Мак-Коллі [166], Ч. Канафойський [167] та інші дослідники. Ними встановлено основні закономірності робочого процесу ущільнення, вплив

конструкційно-режимних параметрів робочих органів ущільнювачів, а також фізико-механічних властивостей соломистих матеріалів на показники якості та енергоємності процесу ущільнення.

Механіко-технологічні основи створення технічних засобів для агропромислового виробництва компостів, субстратів та їстівних грибів розроблено в ННЦ “ІМЕСГ” НААН України [168, 169, 170, 171], при цьому розроблено пристрій для пакування пастеризованого субстрату для вирощування печериць у мішки ПМС-20П.

За результатами проведених досліджень процесу ущільнення соломистих матеріалів рядом авторів були виявлені різні залежності щільності матеріалу  $\rho$  від ступеню його стискання або прикладеного тиску  $p$ .

Серед дослідників відсутня єдина думка про закономірність процесу ущільнення сіно-соломистих матеріалів. За результатами обробки експериментальних даних та теоретичних досліджень вченими було запропоновано велику кількість рівнянь, які пов'язують тиск із щільністю матеріалу, що ущільнюється [132, 123].

Відомо, що залежність між тиском та щільністю матеріалу в камері можна представити степеневою функцією  $p=C \rho^S$ , [134, 135, 136, 140, 158, 159, 163, 164, 165, 172, 173, 174, 175], а також експоненціальною залежністю виду:  $p = A e^{Bp}$ , [117, 141, 144, 160, 161, 166, 176, 177, 178, 179]. Г. Н. Шульга визначив, що при вологості соломистих матеріалів в межах від 9 до 15,6 % залежність між тиском ущільнення та щільністю матеріалу має степеневу залежність, а при 18 % та вище – експоненціальну [143].

В працях академіка В. П. Горячкіна [146] та професора Е. М. Гутьяра [159] передбачається, що ущільнення соломистих матеріалів підпорядковується закону Гука. Безпосередньо В. П. Горячкіним запропонована наступна залежність осьового тиску від переміщення поршня [146]:

$$P = P_{max} (1 - L^2 / S^2), \quad (II.1)$$

де  $P, P_{max}$  – відповідно, поточний та максимальний тиск на поршень, Па;

$S$  – величина переміщення поршня, м;

$L$  – довжина ущільнювальної камери, м.

Вивчаючи процес ущільнення соломистих матеріалів Ч. Канафойський [167] дійшов висновку, що неможливо математично виразити закон їх стиснення. Через те що для проведення досліджень він використовував не солому, в її звичайному вигляді, а ідеально підібрані та укладені короткі солом'яні трубки без нижніх частин листя стебел та вузлів, та доводив напруження стиснення до 0,1 МПа, криві стискання мали різнохарактерні ділянки та точки перелому.

В своїх працях він звернув увагу на цікаві явища, які ґрунтувалися на тому, що при значному розвантаженні шар стебел абсолютно не підіймався, та для утримання його в такому стисненому стані необхідна сила в 8 – 10 разів менше необхідної для стиснення. Однак при повному знятті навантаження шар ущільненої маси майже повністю відновлює свої попередні розміри [167].

Стиснення соломистих матеріалів в звичайному стані відбувається дещо по іншому. Завдяки наявності вузлів, листя та різних стебел з повздовжнім зломом та плющенням, процес ущільнення проходить не різко і одночасно, а плавно та рівномірно, при цьому криві стиснення плавні та одноманітні [161].

Ущільнені сіно-соломисті матеріали, як будь-який фізичний об'єкт мають певні фізико-механічні та технологічні властивості, які в тій чи іншій мірі проявляються при впливі на нього в процесі обробки. Тому більшість відомих досліджень було спрямовано на виявлення цих властивостей та обліку їх проявів. Так Е. М. Гутьяр в пропонованих залежностях [159] враховував модуль пружності першого роду та коефіцієнт Пуассона, М. А. Пережогін [164], В. П. Лисоконь [180] та Е. І. Храпач [163] враховували вологість матеріалу, крім того Е. І. Храпач ще й враховував швидкість деформації матеріалу.

Проведені багаточисельні експериментальні дослідження показали, що з усіх фізико-механічних та технологічних характеристик сіно-соломистих матеріалів найбільш суттєве значення мають такі: вологість, фракційний склад та вид ущільнювального матеріалу.

Таким чином, фізико-механічні та технологічні властивості ущільнювальних матеріалів чинять значний вплив на якісні показники процесу ущільнення.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі досліджень:

- встановити закономірності для визначення тиску та питомої енергомісткості ущільнення і пакування субстрату для вирощування гливи;
- визначити основні фізико-механічні властивості субстрату, які впливають на процес ущільнення;
- обґрунтувати критерій оптимізації для оцінки ефективності процесу ущільнення та основні конструкційно-режимні і технологічні параметри процесу роботи ущільнювача субстрату;
- розробити методикау інженерного розрахунку ущільнювача субстрату, провести його виробничу перевірку та визначити техніко-економічні показники.

## **1.5. Резюме по розділу 1**

1. Виробництво високоякісних та екологічно безпечних продуктів харчування в достатній кількості для забезпечення потреб населення при одночасному підтриманні рівня родючості ґрунтів можна здійснити за рахунок використання механізованих технологічних процесів виробництва їстівних грибів – гливи із соломи за рахунок здійснення початкових стадій біоконверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах. Це забезпечує можливість додаткового отримання екологічно безпечних продуктів харчування та підвищення економічної ефективності агроценозів;

2. При зростанні попиту на гливу та збільшенні обсягів їх виробництва виникає проблема в забезпеченні технічними засобами для підвищення рівня механізації її вирощування, зокрема машинами для ущільнення та пакування субстрату. В даному напрямку вітчизняна промисловість не забезпечує належними технічними засобами та обладнанням. Іноземне обладнання для

грибівництва на сьогоднішній день має досить високу вартість, а тому його використання зменшує ефективність виробництва грибів;

3. Фізико-механічні властивості ущільнювальних матеріалів не мають сталого характеру та залежать від вологості, фракційного складу, вмісту та виду складових компонентів, в той же час параметри та режими роботи ущільнювача субстрату поршневого типу визначаються фізико-механічними і технологічними властивостями ущільнювальних матеріалів;

4. Для виробництва субстрату доцільним є використання робочих органів поршневого типу, які в найбільшій мірі задовольняють вимогам технології виробництва субстрату. Для цього необхідно обґрунтувати його раціональні конструкційно-технологічні параметри.

## РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СУБСТРАТУ

### 2.1. Динаміка розігріву органічної сировини під час ферментації при виробництві субстратів

Термічна обробка органічної сировини у ферментаційних та пастеризаційних камерах включає розігрів суміші, утримання певного температурного рівня та охолодження або вивантаження готового продукту. Найбільш складний етап виробництва компостів та субстратів за допомогою ферментаційної та пастеризаційних камер – це розігрів суміші. Розігрів може відбуватися як за рахунок тепла, що виділяється при біохімічній реакції розкладу глюкози (ферментаційні камери), так і за рахунок спільної дії біохімічного та додаткового тепла від джерел теплової енергії (пастеризаційні камери) [181, 182]. Загальновідомо, що функціональна залежність між температурою та сумою потоків тепла у часі визначається диференціальним рівнянням, яке для умов розігріву органічної сировини має вигляд:

$$mc \frac{dT}{d\tau} = Q_B + Q_D - Q_O - Q_V, \quad (\text{П.2})$$

де  $m$  – маса органічної сировини, кг;

$T$  – температура органічної сировини, °С;

$c$  – питома теплоємність органічної сировини, МДж/кг °С;

$Q_B$  – тепловий потік за рахунок біохімічних реакцій розкладу глюкози, МДж/добу;

$Q_D$  – тепловий потік за рахунок додаткових джерел тепла, МДж/добу;

$Q_O$  – тепловий потік утрат тепла через огорожу камери, МДж/добу;

$Q_V$  – тепловий потік утрат тепла з вентиляційним повітрям, МДж/добу;

$\tau$  – час ферментації, діб.

Після завантаження камери, коли суміш достатньо насичена повітрям, для вирівнювання температури та швидкого розігрівання органічної сировини на початковій стадії проводять, як правило, тільки рециркуляцію повітря. В цьому випадку складова втрат тепла з вентиляційним повітрям:

$$Q_B = m_{II}(I - I_H), \quad (II.3)$$

де  $m_{II}$  – подача свіжого повітря, кг/добу;

$I$  – тепломісткість (ентальпія) повітря циркулюючого у камері, МДж/кг;

$I_H$  – тепломісткість (ентальпія) зовнішнього повітря, МДж/кг,

не враховується, а диференційне рівняння (II.2) набуває вигляду:

$$mc \frac{dT}{d\tau} = Q_B + Q_D - Q_O. \quad (II.4)$$

Тепловий потік за рахунок біохімічних реакцій розкладу глюкози можна визначити за формулою:

$$Q_B = \frac{2822}{180} (1 - W) k_1 k_2 m, \quad (II.5)$$

де 2822 – кількість тепла, яке виділяється при розкладанні одного кіломоля глюкози, МДж;

180 – маса одного кіломоля глюкози, кг;

$W$  – вологість органічної сировини, відносних од.;

$k_1$  – уміст органічної речовини в сухій масі, відносних од.;

$k_2$  – швидкість розкладу органічної речовини, відносних од./добу.

Швидкість розкладу органічної речовини визначається з кінетичного рівняння розкладу органічної сировини компосту за формулою:

$$k_2 = \frac{d\alpha}{d\tau} = \alpha_0 k_K \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau). \quad (\text{II.6})$$

Тепловий потік за рахунок додаткових джерел тепла визначається в кожному випадку окремо в залежності від виду теплоносія. Так, наприклад, загальновідомо, що при розігріві органічної суміші парюю тепловий потік визначається:

$$Q_D = r q_D m, \quad (\text{II.7})$$

де  $r$  – питома теплота пароутворення, МДж/кг;

$q_D$  – питома подача водяної пари в камеру, кг/кг добу.

Тепловий потік утрат тепла через огорожу камери [183]:

$$Q_O = q_O m (T - T_H), \quad (\text{II.8})$$

де  $q_O$  – питомі втрати тепла через огорожу камери, МДж/кг добу °С;

$T_H$  – температура навколишнього повітря, °С.

Підставивши значення складових у рівняння (II.4) для умов розігріву органічної сировини у пастеризаційній камері, одержимо:

$$c \frac{dT}{d\tau} = q_B \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau) + r q_D - q_O (T - T_H), \quad (\text{II.9})$$

де  $q_B$  – максимальна питома теплопродуктивність біохімічних реакцій розкладу глюкози, МДж/кг добу, яка становить:

$$q_B = \frac{2822}{180} (1 - W) k_1 \alpha_0 k_K. \quad (\text{II.10})$$

Рівняння (II.9) є лінійним диференціальним рівнянням першого порядку, яке розв'язується методом підстановки виразів [184]:

$$T = uv; \quad \frac{dT}{d\tau} = u \frac{dv}{d\tau} + v \frac{du}{d\tau}.$$

Після підстановки одержимо:

$$u \frac{dv}{d\tau} + v \frac{du}{d\tau} + \frac{q_O}{c} (uv - T_H) = \frac{q_B}{c} \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau) + \frac{r q_D}{c};$$

$$u \frac{dv}{d\tau} + v \left( \frac{du}{d\tau} + \frac{q_O}{c} u \right) = \frac{q_B}{c} \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau) + \frac{r q_D}{c} + \frac{q_O}{c} T_H.$$

Виберемо функцію  $u$  так, щоб диференціальний вираз у дужках дорівнював нулю:

$$\frac{du}{d\tau} + \frac{q_O}{c} u = 0;$$

$$\frac{du}{d\tau} = -\frac{q_O}{c} u; \quad \frac{du}{u} = -\frac{q_O}{c} d\tau;$$

$$\ln u = -\frac{q_O}{c} \tau;$$

$$u = \exp\left(-\frac{q_O}{c} \tau\right).$$

Визначимо функцію  $v$ :

$$u \frac{dv}{d\tau} = \frac{q_B}{c} \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau) + \frac{r q_D}{c} + \frac{q_O}{c} T_H;$$

$$\frac{dv}{d\tau} = \left[ \frac{q_B}{c} \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau) + \frac{r q_D}{c} + \frac{q_O}{c} T_H \right] \exp\left(\frac{q_O}{c} \tau\right);$$

$$dv = \left[ \frac{q_B}{c} \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau) + \frac{rq_D}{c} + \frac{q_O}{c} T_H \right] \exp\left(\frac{q_O}{c} \tau\right) d\tau.$$

Проведемо перетворення та інтегрування даного виразу:

$$v = \frac{q_B}{c} \exp(-k_B \tau_B) \int \exp(-k_K \tau) \exp\left(\frac{q_O}{c} \tau\right) d\tau + \frac{rq_D}{c} \int \exp\left(\frac{q_O}{c} \tau\right) d\tau + \frac{q_O}{c} T_H \int \exp\left(\frac{q_O}{c} \tau\right) d\tau;$$

$$v = \frac{q_B}{c} \exp(-k_B \tau_B) \frac{\exp(-k_K \tau) \exp\left(\frac{q_O}{c} \tau\right)}{-k_K + \frac{q_O}{c}} + \frac{rq_D}{c} \frac{\exp\left(\frac{q_O}{c} \tau\right)}{\frac{q_O}{c}} + T_H \exp\left(\frac{q_O}{c} \tau\right).$$

Загальне рішення диференційного рівняння має вигляд:

$$T = uv = \frac{q_B}{c} \exp(-k_B \tau_B) \frac{\exp(-k_K \tau)}{-k_K + \frac{q_O}{c}} + \frac{rq_D}{q_O} + T_H + C \exp\left(-\frac{q_O}{c} \tau\right).$$

Врахувавши початкові умови:  $\tau = 0$ ;  $T = T_{II}$ , одержимо:

$$T_{II} = \frac{q_B}{c \left(-k_K + \frac{q_O}{c}\right)} \exp(-k_B \tau_B) + \frac{rq_D}{q_O} + T_H + C;$$

$$C = T_{II} - \frac{q_B}{c \left(-k_K + \frac{q_O}{c}\right)} \exp(-k_B \tau_B) + \frac{rq_D}{q_O} + T_H,$$

де  $T_{II}$  – початкова температура суміші, °С.

Рівняння динаміки температури має вигляд:

$$T = \frac{q_B \exp(-k_B \tau_B)}{c \left( -k_K + \frac{q_O}{c} \right)} \exp(-k_K \tau) + \frac{r q_D}{q_O} + T_H +$$

$$+ \left[ T_{II} - \frac{q_B \exp(-k_B \tau_B)}{c \left( -k_K + \frac{q_O}{c} \right)} - \frac{r q_D}{q_O} - T_H \right] \exp\left(-\frac{q_O}{c} \tau\right);$$

або:

$$T = T_{II} \exp\left(-\frac{q_O}{c} \tau\right) + \frac{q_B \exp(-k_B \tau_B)}{c \left( -k_K + \frac{q_O}{c} \right)} \left[ \exp(-k_K \tau) - \exp\left(-\frac{q_O}{c} \tau\right) \right] +$$

$$+ \left( \frac{r q_D}{q_O} + T_H \right) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{q_O}{c} \tau\right) \right]. \quad (II.11)$$

Для того щоб рівняння (II.11) набуло фізичного змісту, розкладемо експонентні функції у ряд і, врахувавши перших два члени ряду, одержимо:

$$T = T_{II} \left( 1 - \frac{q_O}{c} \tau \right) + \frac{q_B \exp(-k_B \tau_B) \tau}{c} + \left( \frac{r q_D}{q_O} + T_H \right) \left( \frac{q_O}{c} \tau \right);$$

$$T = T_{II} + \frac{\tau}{c} [q_B \exp(-k_B \tau_B) + r q_D - q_O (T_{II} - T_H)]. \quad (II.12)$$

Похибка при використанні спрощеної формули (II.12) на протязі часу розігріву, який не перевищує одну добу, порівняно з формулою (II.11) складає від 7 до 8 %.

Якщо не враховувати втрати тепла через огорожу камери, оскільки їх вплив на зміну температури суміші незначний (похибка не перевищує 5 %), то рівняння (II.11) набуває вигляду:

$$T = T_{II} + \frac{\tau}{c} [q_B \exp(-k_B \tau_B) + r q_D]. \quad (\text{II.13})$$

Коли ферментація органічної суміші проводиться у ферментаційній камері без попередньої ферментації у буртах та відповідно без підводу додаткової енергії, оскільки біологічного тепла в цьому випадку достатньо для розігріву, рівняння динаміки температури запишеться у вигляді:

$$T = T_{II} \exp\left(-\frac{q_O}{c} \tau\right) + \frac{q_B}{c\left(-k_K + \frac{q_O}{c}\right)} \times \\ \times \left[ \exp(-k_K \tau) - \exp\left(-\frac{q_O}{c} \tau\right) \right] + T_H \left[ 1 - \exp\left(-\frac{q_O}{c} \tau\right) \right]. \quad (\text{II.14})$$

Після розкладу експонентних функцій у ряд та врахування перших двох членів ряду одержимо рівняння (II.14) у спрощеному вигляді:

$$T = T_{II} + \frac{\tau}{c} [q_B - q_O (T_{II} - T_H)]. \quad (\text{II.15})$$

Таким чином, отримані рівняння динаміки розігріву органічної сировини під час ферментації, які дозволяють визначити основні параметри пастеризаційних та ферментаційних камер при виробництві субстратів.

## 2.2. Дослідження основних параметрів процесу пастеризації та ферментації субстрату

Питома подача водяної пари в пастеризаційну камеру для розігріву суміші визначається із рівняння динаміки розігріву і становить:

$$q_D = \frac{1}{r} \left[ \frac{c}{\tau} (T - T_{II}) - q_B \exp(-k_B \tau_B) + q_O (T_{II} - T_H) \right]. \quad (\text{II.16})$$

Тривалість ферментації органічної суміші в буртах, по закінченні якої іще можливий саморозігрів її в пастеризаційній камері без подачі водяної пари, визначається із умови  $q_D = 0$  і становить:

$$\tau_B = -\frac{1}{k_B} \ln \frac{1}{q_B} \left[ \frac{c}{\tau} (T - T_{II}) + q_O (T_{II} - T_H) \right]. \quad (\text{II.17})$$

З рівняння динаміки розігріву можна також визначити граничну початкову температуру суміші, нижче якої неможливий саморозігрів до заданої температури без подачі водяної пари в пастеризаційну камеру

$$T_{II} = \frac{T - \frac{\tau}{c} [q_B \exp(-k_B \tau_B) + q_O T_H]}{1 - \frac{\tau}{c} q_O}. \quad (\text{II.18})$$

Якщо не враховувати втрати тепла через огорожу камери, то рівняння (II.16 – II.18) для визначення параметрів процесу ферментації в пастеризаційній камері набудуть вигляду:

$$q_D = \frac{1}{r} \left[ \frac{c}{\tau} (T - T_{II}) - q_B \exp(-k_B \tau_B) \right]; \quad (\text{II.19})$$

$$\tau_B = -\frac{1}{k_B} \ln \frac{c}{q_B \tau} (T - T_{II}); \quad (\text{II.20})$$

$$T_{II} = T - \frac{\tau}{c} q_B \exp(-k_B \tau_B). \quad (\text{II.21})$$

Утримання температурного рівня суміші в пастеризаційній камері проходить за умови  $\Delta T = 0$ , тому рівняння теплового балансу запишеться у вигляді:

$$Q_B - Q_O = Q_B. \quad (\text{II.22})$$

Для підтримання заданого рівня температури в потік рециркулюючого повітря необхідно подавати відповідну кількість свіжого вентиляційного повітря. Потік свіжого повітря визначається з рівняння (II.22):

$$\frac{m_{II}^T}{m} = \frac{q_B \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau) - q_O (T - T_H)}{I - I_H}, \quad (\text{II.23})$$

де  $m_{II}^T$  – подача свіжого повітря для відведення надлишкового тепла та підтримання заданої температури, кг/добу.

В тих випадках, коли температуру суміші під час ферментації необхідно поступово знижувати, рівняння теплового балансу запишеться в наступному вигляді:

$$-mc\theta = -mc \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = Q_B - Q_O - Q_B, \quad (\text{II.24})$$

де  $\theta = \frac{\Delta T}{\Delta \tau}$  – швидкість охолодження суміші, °C/добу;

$\Delta T$  – зміна температури суміші, °С;

$\Delta \tau$  – зміна часу охолодження суміші, діб.

Кількість свіжого вентиляційного повітря, яку необхідно подавати в потік рециркулюючого повітря для підтримання заданого рівня зниження температури, визначається з рівняння (II.24):

$$\frac{m_{II}^T}{m} = \frac{q_B \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau) - q_O (T - T_H) + c\theta}{I - I_H}. \quad (II.25)$$

Якщо при ферментації органічної сировини не враховувати втрати тепла через огорожу камери, а також знехтувати теплом від охолодження суміші, оскільки зміна температури не перевищує 1 – 2 °С за добу, то рівняння теплового балансу (II.22) та (II.24) зводяться до вигляду:

$$Q_B = Q_V \quad (II.26)$$

Відповідно рівняння (II.25) та (II.16) спрощуються й матимуть вид:

$$\frac{m_{II}^T}{m} = \frac{q_B \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau)}{I - I_H}. \quad (II.27)$$

Розбіжність у розрахунках питомої подачі вентиляційного повітря у пастеризаційну камеру для підтримання заданого температурного режиму з використанням формули (II.27) у порівнянні з формулами (II.23) – (II.25) складає від 5 до 14 %.

Під час ферментації в повітрі пастеризаційної камери необхідно підтримувати задане граничне значення концентрації вуглекислого газу. Для цього в потік рециркулюючого повітря необхідно додавати свіже вентиляційне повітря в кількості:

$$\frac{m_{II}^{BK}}{m} = \frac{\delta_{BK} \exp(-k_B \tau_B - k_K \tau)}{C_{BK} - C_{BK}^H}, \quad (\text{II.28})$$

де  $m_{II}^{BK}$  – подача свіжого повітря для підтримання заданої концентрації вуглекислого газу, кг/добу;

$\delta_{BK}$  – максимальне питома виділення вуглекислого газу під час біохімічних реакцій розкладу глюкози, кг/кг добу;

$C_{BK}$  – граничний уміст вуглекислого газу в повітрі пастеризаційної камери, кг/кг;

$C_{BK}^H$  – уміст вуглекислого газу в навколишньому повітрі, кг/кг.

Максимальне питома виділення вуглекислого газу під час біохімічних реакцій розкладу глюкози:

$$\delta_{BK} = \frac{264}{180} (1 - W) k_1 \alpha_0 k_K, \quad (\text{II.29})$$

де 264 – кількість вуглекислого газу, яка виділяється при розкладанні одного кіломоля глюкози, кг.

Під час пастеризації подача вентиляційного повітря за умов підтримання граничного значення концентрації вуглекислого газу перевищує рівень, необхідний для підтримання відповідної температури суміші, тобто:

$$\frac{m_{II}^{BK}}{m} > \frac{m_{II}^T}{m}. \quad (\text{II.30})$$

В цьому випадку забезпечення заданого температурного режиму можливе за рахунок подачі в потік рециркулюючого повітря водяної пари в кількості:

$$q_D = \frac{1}{r} \left[ \frac{m_{II}^{BK}}{m} (I - I_{II}) - q_B \exp(-k_B \tau_B) + q_O (T - T_H) \right], \quad (\text{II.31})$$

де  $T = 60$  °C – температура пастеризації компосту, або ж утилізації тепла вентиляційних викидів.

При використанні теплоутилізатора [185] його коефіцієнт утилізації тепла повинен становити не менше:

$$\varepsilon = 1 - \frac{m_{II}^T}{m_{II}^{BK}} = 1 - \frac{q_B (C_{BK} - C_{BK}^H)}{\delta_{BK} (I - I_H)}, \quad (\text{II.32})$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт утилізації тепла теплоутилізатора, відн. од.

Після завершення ферментації субстрат охолоджують і вивантажують із пастеризаційної камери. Подачу вентилятора для забезпечення охолодження вибирають по формулі (II.25) з урахуванням необхідної швидкості охолодження.

Утримання температурного рівня суміші у ферментаційній камері проходить за умови  $\Delta T = 0$ , тому рівняння теплового балансу запишеться у вигляді:

$$Q_B = Q_O + Q_V. \quad (\text{II.33})$$

Подачу свіжого вентиляційного повітря в цьому випадку визначають із необхідності підтримання заданого граничного значення концентрації вуглекислого газу у ферментаційній камері:

$$\frac{m_{II}^{BK}}{m} = \frac{\delta_{BK} \exp(-k_K \tau)}{C_{BK} - C_{BK}^H} \quad (\text{II.34})$$

або заданого рівня температури:

$$\frac{m_{II}^T}{m} = \frac{q_B \exp(-k_K \tau) - q_O (T - T_H)}{I - I_H}. \quad (\text{II.35})$$

Питомі втрати тепла через огорожу ферментаційної камери можуть бути визначені з умови досягнення необхідної температури розігріву суміші:

$$q_O = \frac{q_B - \frac{c}{\tau} (T - T_{II})}{T_{II} - T_H} \geq 0. \quad (\text{II.36})$$

Визначивши по швидкості розігріву суміші питомі втрати тепла, коефіцієнт теплопередачі огорожень необхідно розраховувати за формулою:

$$k_O = \frac{q_O m}{0,0864 S}, \quad (\text{II.37})$$

де  $S$  – площа огорожень камери,  $\text{м}^2$ .

Таким чином, отримані аналітичні вирази, які в залежності від технологічних вимог до термообробки компостів та субстратів дозволяють визначати основні параметри пастеризаційних та ферментаційних камер: питому подачу водяної пари для розігріву органічної сировини, тривалість ферментації органічної суміші в буртах, по закінченні якої іще можливий саморозігрів її у пастеризаційній камері без подачі водяної пари, граничну початкову температуру суміші, нижче якої неможливий саморозігрів до заданої температури без подачі водяної пари у пастеризаційну камеру, подачу свіжого вентиляційного повітря під час пастеризації та кондиціонування, подачу свіжого вентиляційного повітря для підтримання граничного значення концентрації вуглекислого газу, подачу повітря для забезпечення охолодження субстрату, подачу свіжого вентиляційного повітря для підтримання температури повітря під час ферментації та коефіцієнт теплопередачі огорожень ферментаційної камери.

### 2.3. Резюме по розділу 2

Визначені основні параметри пастеризаційних та ферментаційних камер: питому подачу водяної пари для розігріву субстрату, тривалість ферментації органічної суміші в буртах, по закінченні якої іще можливий саморозігрів її у пастеризаційній камері без подачі водяної пари, граничну початкову температуру суміші, нижче якої неможливий саморозігрів до заданої температури без подачі водяної пари у пастеризаційну камеру, подачу свіжого вентиляційного повітря під час пастеризації та кондиціювання та для підтримання граничного значення концентрації вуглекислого газу, подачу вентилятора для забезпечення охолодження субстрату, подачу свіжого вентиляційного повітря для підтримання температури повітря під час ферментації та коефіцієнт теплопередачі огорожень ферментаційної камери.

## **РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ СУБСТРАТУ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СУБСТРАТУ**

### **3.1. Обґрунтування технологічної схеми поршневого ущільнювача субстрату**

На основі проведеного аналізу літературних джерел, попередніх наукових досліджень та існуючих конструкцій ущільнювачів соломистих матеріалів можна стверджувати, що досягнення оптимальних показників продуктивності, якості та енергоємності роботи ущільнювача можливо за дотримання наступних умов:

- проведення процесу ущільнення субстрату в два етапи: попереднє та основне ущільнення;
- виключення багаторазової взаємодії робочих органів ущільнювача з субстратом;
- дотримання технологічно заданого діапазону щільності субстрату, з можливістю регулювання ступеня ущільнення;
- дотримання однорідності щільності субстрату відносно об'єму мішка;
- поєднання процесів ущільнення субстрату з одночасним пакуванням у мішок.

Найбільш істотно, на нашу думку, відповідають наведеним вимогам, наявні конструкції ущільнювачів [150, 151], призначених для ущільнення кормів, недоліком яких є відсутність можливості підтримання необхідного ступеню ущільнення матеріалу, особливо при зміні маси завантаженої порції, окрім цього вони складні за конструкцією і при їх використанні необхідні значні затрати енергії.

На практиці не відмічено конструкцій ущільнювачів соломистих матеріалів які б мали можливість за один робочий цикл проводити ущільнення матеріалу до заданих технологічних параметрів. Тому в експериментальному зразку ущільнювача процес ущільнення відбувається в два етапи: перший – в закритій

вертикальній ущільнювальній камері, другий – відкритій горизонтальній камері, що описується відповідно процесами опорного, безопорного та регульовано-опорного ущільнення соломистого субстрату. В першому випадку протидія створюється упором (кришкою вертикальної ущільнювальної камери), в другому – за рахунок сил тертя субстрату об стінки камери, в третьому – регульованим опором на днище пакувального мішка.

Основною конструкційною особливістю розробленого поршневого ущільнювача субстрату (рис. П.14) є те, що він містить завантажувальний бункер 1. Під завантажувальним бункером 1 розміщена вертикальна ущільнювальна камера 3. Між завантажувальним бункером 1 та вертикальною ущільнювальною камерою 3 встановлений клапан 2, який чинить опір матеріалу при ущільненні в ущільнювальній камері. В нижній частині вертикальної ущільнювальної камери 3, навпроти клапана 2 завантажувальної горловини, встановлений підпресовуючий поршень 4, який рухається. В боковій стінці, перпендикулярно до вертикальної ущільнювальної камери 3, прикріплена горизонтальна ущільнювальна камера 5. Навпроти неї розміщений поршень горизонтальної ущільнювальної камери 7, з приводом та можливістю рухатися в сторону до вивантажувальної горловини 6. При русі поршня 7, горизонтальної ущільнювальної камери, в напрямку до вивантажувальної горловини 6, завдяки опорному пристрою 9, який підпружинений, створюється тиск на субстрат. Внаслідок тертя субстрату об внутрішню поверхню горизонтальної ущільнювальної камери 5 і створеної протидії до вивантаження з камери відбувається його ущільнення. Подальше переміщення поршня 7 спричиняє витиснення ущільненого субстрату в мішок 8, одягнений на бічну поверхню вивантажувальної горловини 6 горизонтальної ущільнювальної камери 5 [186].

Від ущільнювача запропонованої конструкції можна очікувати зменшення питомих показників металоємності та енергоємності роботи через спрощення його конструкції, відсутність механізмів попереднього формування та подачі порції субстрату до ущільнювальних камер та підвищення ефективності процесу роботи, яка досягається шляхом дотримання однорідності щільності в об'ємі

субстрату та регулювання ступеню її ущільнення, особливо при зміні маси завантаженої порції та пакування у мішки відповідно до технологічних вимог (щільністю в межах  $380 \pm 20 \text{ кг/м}^3$ ).

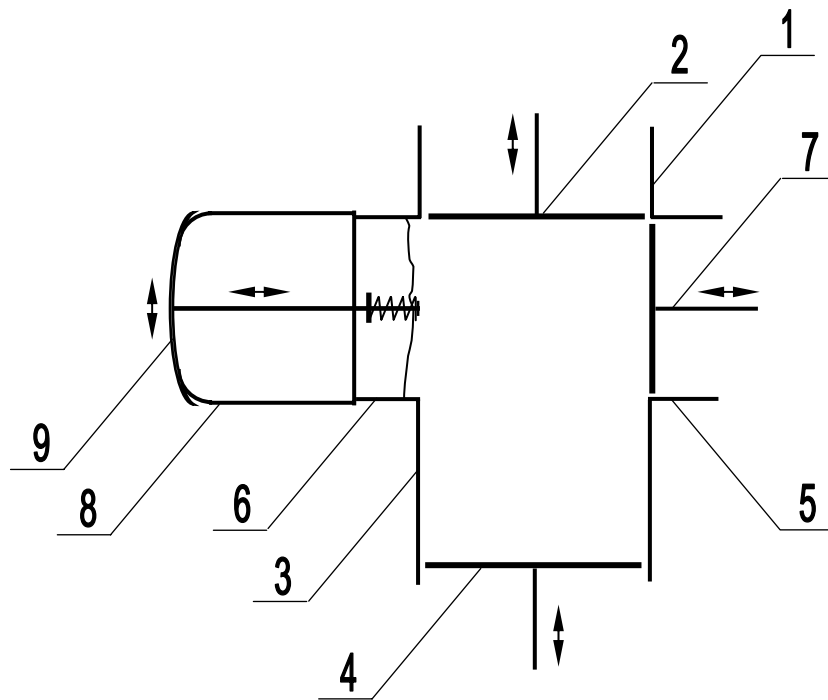


Рис. П.14 – Схема камер поршневого ущільнювача субстрату: 1 – горловина завантажувального бункера; 2 – клапан; 3 – вертикальна камера; 4 – підпресовуючий поршень; 5 – горизонтальна камера; 6 – вивантажувальна горловина; 7 – поршень горизонтальної камери; 8 – пакувальний мішок; 9 – опорний пристрій.

Ущільнювач субстрату працює таким чином: попередньо підготовлений субстрат (зволожений та засіяний зерновим міцелієм) дозувався та завантажувався, через горловину завантажувального бункера 1 до вертикальної ущільнювальної камери 3. При зменшенні об'єму вертикальної ущільнювальної камери 3, викликаного повздовжнім переміщенням підпресовуючого поршня 4 субстрат попередньо ущільнювався між боковими стінками, поршнем 7 горизонтальної ущільнювальної камери та клапаном горловини завантажувального бункера 2. Ущільнений таким чином субстрат спрямовується до горизонтальної ущільнювальної камери 5. При русі поршня 7, горизонтальної

ущільнювальної камери 5, в напрямку до вивантажувальної горловини 6, завдяки опорному пристрою 9, який підпружинений, створюється тиск на субстрат та внаслідок його тертя об внутрішню поверхню горизонтальної ущільнювальної камери 5 і створюваної протидії до вивантаження з камери відбувалося його ущільнення. Подальше переміщення поршня 7 спричиняє вивантаження ущільненого субстрату в мішок 8, одягненого на бічну поверхню вивантажувальної горловини 6 горизонтальної ущільнювальної камери 5.

Метою аналітичних досліджень є визначення залежності зовнішнього тиску при ущільненні субстрату від відносної деформації, а також отримання аналітичних залежностей, що характеризують процес регульовано-опорного процесу ущільнення субстрату для вирощування гливи.

### **3.2. Взаємодія поршня із субстратом у вертикальній камері під час попереднього ущільнення**

Рівномірний розподіл посівного міцелію в субстраті при вирощуванні гливи досягається завдяки розпушуванню субстрату. Перед подачею субстрату до культиваційних приміщень його ущільнюють у відповідності до технологічних вимог та пакують в мішки. При місткості культиваційних приміщень 20 т і менше застосовуються, як правило, поршневі ущільнювачі субстрату. Однак для них не визначені їх параметри з урахуванням пружних властивостей вологого соломистого субстрату, які протидіють ущільненню, що обмежує можливості розрахунку параметрів обладнання на етапі виконання дослідно-конструкторських робіт [187, 188].

Ущільнення соломистого субстрату для вирощування гливи при пакуванні в мішки проходить у три етапи:

- I – ущільнення субстрату в камері попереднього ущільнення;
- II – стиснення та рух ущільненого субстрату в камері заключного ущільнення;

III – вивантаження ущільненого субстрату з одночасним пакуванням у мішок [189].

Під час попереднього ущільнення дія зовнішнього тиску (рис. II.15) спричиняє внутрішні напруження в субстраті та викликає дію сили тертя, що протидіють переміщенню субстрату, а також є причиною зменшення тиску в об'ємі субстрату в напрямку ущільнення. Вважаючи, що щільність субстрату залежить тільки від величини переміщення поршня, для процесу ущільнення у вертикальній камері, диференціальне рівняння розподілу тиску по висоті шару субстрату можна записати в наступному вигляді [189]:

$$\begin{aligned} \left( p_h - \frac{m_h g}{A} \right) A = \left( p_h - \frac{m_h g}{A} - dp_h \right) A - \\ - \left( p_h - \frac{m_h g}{A} \right) \mu f l dh - g d m_h, \end{aligned} \quad (\text{II.38})$$

де  $p_h$  – тиск в об'ємі субстрату в залежності від відстані до поршня, Па;

$m_h$  – маса субстрату над поршнем в залежності від відстані до нього, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$A$  – площа поверхні поршня, м<sup>2</sup>;

$m_h$  – маса субстрату над поршнем в залежності від відстані до нього, кг;

$dp_h$  – елементарний тиск в об'ємі субстрату в залежності від відстані до поршня, Па;

$\mu$  – коефіцієнт бокового тиску, відн. од.;

$f$  – коефіцієнт тертя субстрату по боковій стінці камери ущільнення, відн. од.;

$l$  – периметр камери ущільнення, м;

$dh$  – висота елементарного шару субстрату, м;

$dm_h$  – маса елементарного шару субстрату, кг.

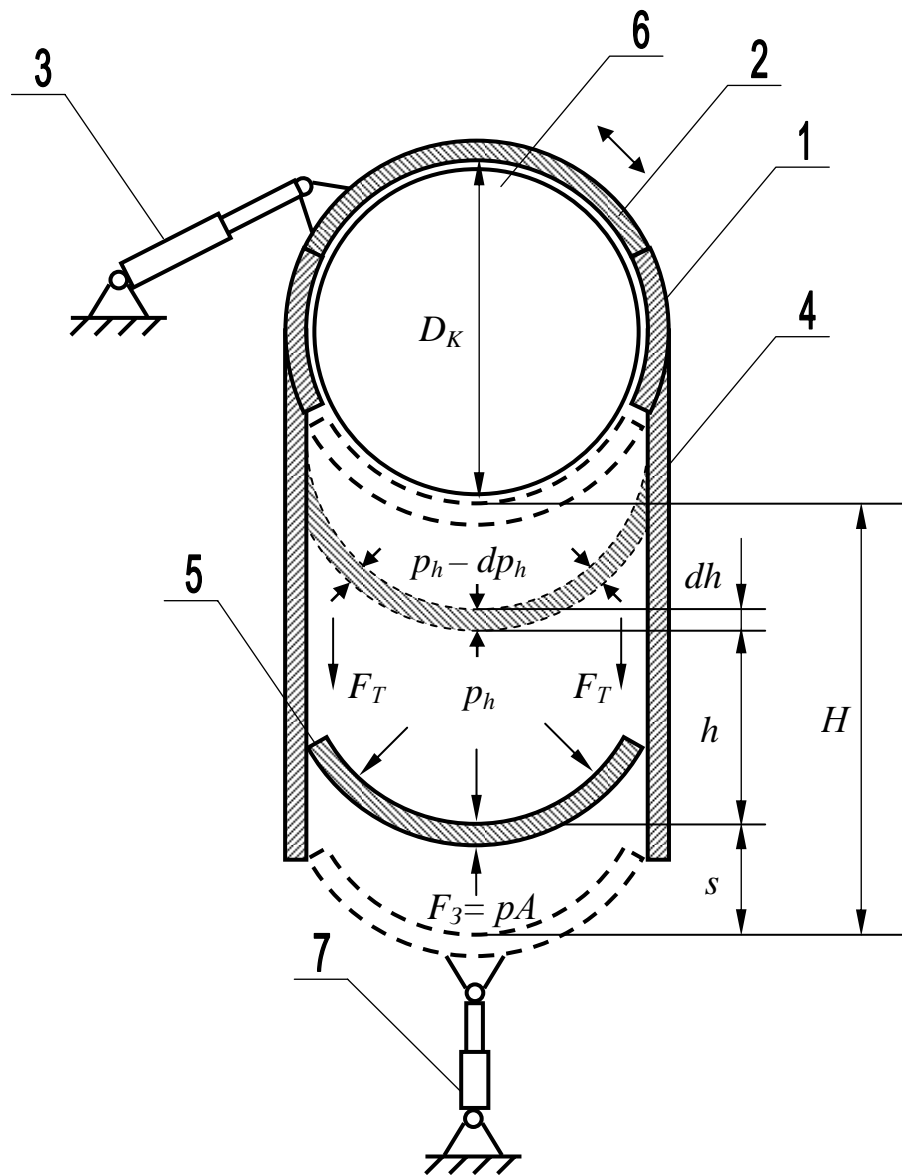


Рис. П.15 – Схема розподілу сил, діючих на субстрат в камері попереднього ущільнення: 1 – камера основного ущільнення; 2 – люк для завантаження субстрату; 3 – гідроциліндр; 4 – камера попереднього ущільнення субстрату; 5 – поршень камери попереднього ущільнення субстрату; 6 – поршень камери основного ущільнення субстрату; 7 – гідроциліндр камери попереднього ущільнення

Підставивши значення:

$$dm_h = \gamma_h dV_h = \gamma_h Adh;$$

$$m_h = \gamma_{h_{cp}} V_h = \gamma_{h_{cp}} Ah,$$

де  $\gamma_h$  – щільність в елементарному шарі субстрату, кг/м<sup>3</sup>;

$dV_h$  – об'єм елементарного шару субстрату, м<sup>3</sup>;

$V_h$  – об'єм шару субстрату над поршнем в залежності від відстані до нього, м<sup>3</sup>;

$\gamma_{h_{cp}}$  – середнє значення щільності субстрату над поршнем, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – поточне значення відстані від поршня до шару субстрату, м,

одержимо:

$$dp_h A = -(p_h - \gamma_{h_{cp}} gh) \mu f l dh - \gamma_h g A dh, \quad (II.39)$$

або:

$$dp_h = -p_h \mu f \frac{l}{A} dh + \gamma_{h_{cp}} gh \mu f \frac{l}{A} dh - \gamma_h g dh, \quad (II.40)$$

Зробивши припущення, що щільність субстрату залежить тільки від переміщення поршня, тобто:

$$\gamma_{h_{cp}} = \gamma_h,$$

формула II.40 набуде вигляду:

$$dp_h = -p_h \mu f \frac{l}{A} dh - \gamma_h g (1 - \mu f \frac{l}{A} h) dh, \quad (II.41)$$

або:

$$\frac{dp_h}{dh} = -p_h \mu f \frac{l}{A} - \gamma_h g \left( 1 - \mu f \frac{l}{A} h \right). \quad (\text{II.42})$$

Розв'язавши диференціальне рівняння методом підстановки [190]:

$$\frac{dp_h}{dh} = y'; \quad p_h = y; \quad y = uv; \quad y' = u'v + v'u,$$

та вводячи заміни:

$$a = \mu f \frac{l}{A}; \quad b = \gamma_h g,$$

одержимо:

$$y' = -ay - b(1 - ah), \quad (\text{II.43})$$

$$\begin{aligned} u'v + v'u + auv &= -b(1 - ah); \\ v(u' + au) + v'u &= -b(1 - ah). \end{aligned} \quad (\text{II.44})$$

Прирівнюючи вираз у дужках  $(u' + au)$  до нуля значення функції  $u$  становитиме:

$$\begin{aligned} u' + au &= 0; \quad \frac{du}{dh} = -au; \\ \frac{du}{u} &= -ah; \quad \ln u = -ah; \quad u = \exp(-ah). \end{aligned} \quad (\text{II.45})$$

Тоді диференційне рівняння зведеться до вигляду:

$$v' \exp(-ah) = -b(1-ah). \quad (\text{II.46})$$

Приймаючи допущення, що значення експонентної функції дорівнює сумі перших двох членів ряду, одержимо:

$$\exp(-ah) = 1 - ah, \quad (\text{II.47})$$

$$v' (1-ah) = -b(1-ah); \quad (\text{II.48})$$

або:

$$\frac{dv}{dh} = -b. \quad (\text{II.49})$$

Тоді значення функції  $v$  становитиме:

$$v = -bh + C. \quad (\text{II.50})$$

де  $C$  – постійна диференційного рівняння.

Після підстановки одержимо:

$$p_h = (-\gamma_h gh + C) \exp\left(-\mu f \frac{l}{A} h\right). \quad (\text{II.51})$$

Враховавши початкові умови, які означають, що при  $h=H-s$  значення внутрішніх напружень над поршнем, згідно закону Гука, становлять:

$$p_h = \frac{E_c}{H + D_K} s - \gamma_0 g (H + D_K), \quad (\text{II.52})$$

де  $E_c$  – модуль пружності субстрату, Па;

$s$  – величина переміщення поршня вертикальної камери, м;

$H$  – початкова висота шару субстрату над поршнем, м;

$D_K$  – діаметр камери основного ущільнення, м;

$\gamma_0$  – початкова щільність субстрату, кг/м<sup>3</sup>,

одержимо:

$$\begin{aligned} & \frac{E_c}{H + D_K} s - \gamma_0 g (H + D_K) = \\ & = \left[ -\gamma_h g (H - s) + C \right] \exp \left[ -\mu f \frac{l}{A} (H - s) \right]. \end{aligned} \quad (\text{II.53})$$

Врахувавши зміну щільності субстрату в залежності від переміщення поршня:

$$\gamma_h = \gamma_0 \frac{H + D_K}{H + D_K - s}, \quad (\text{II.54})$$

одержимо:

$$\begin{aligned} & \frac{E_c}{H + D_K} s - \gamma_0 g (H + D_K) = \\ & = \left[ -\gamma_0 g \frac{(H + D_K)(H - s)}{H + D_K - s} + C \right] \exp \left[ -\mu f \frac{l}{A} (H - s) \right]. \end{aligned} \quad (\text{II.55})$$

Виходячи з початкових умов, постійна диференційного рівняння становитиме:

$$C = \left[ \frac{E_c}{H + D_K} s - \gamma_0 g (H + D_K) \right] \exp \left[ \mu f \frac{l}{A} (H - s) \right] + \gamma_0 g \frac{(H + D_K)(H - s)}{H + D_K - s}. \quad (\text{II.56})$$

Тоді рішення диференційного рівняння матиме вигляд:

$$p_h = -\gamma_0 g \frac{H + D_K}{H + D_K - s} h \exp \left[ -\mu f \frac{l}{A} h \right] + \frac{E_c}{H + D_K} s \times \exp \left[ \mu f \frac{l}{A} (H - s) \right] \exp \left[ -\mu f \frac{l}{A} h \right] - \gamma_0 g (H + D_K) \times \exp \left[ \mu f \frac{l}{A} (H - s) \right] \exp \left[ -\mu f \frac{l}{A} h \right] + \gamma_0 g \frac{(H + D_K)(H - s)}{H + D_K - s} \exp \left[ -\mu f \frac{l}{A} h \right], \quad (\text{II.57})$$

або:

$$p_h = \frac{E_c}{H + D_K} s \exp \left[ \mu f \frac{l}{A} (H - s) \right] \exp \left[ -\mu f \frac{l}{A} h \right] - \gamma_0 g (H + D_K) \exp \left( -\mu f \frac{l}{A} h \right) \times \left[ \frac{h}{H + D_K - s} + \exp \left[ \mu f \frac{l}{A} (H - s) \right] - \frac{H - s}{H + D_K - s} \right]. \quad (\text{II.58})$$

Після перетворень одержимо:

$$p_h = \left\{ \frac{E_C}{H + D_K} s \exp \left[ \mu f \frac{l}{A} (H - s) \right] - \gamma_0 g (H + D_K) \right\} \times \left[ \frac{h - H + s}{H + D_K - s} + \exp \left[ \mu f \frac{l}{A} (H - s) \right] \right] \exp \left( - \mu f \frac{l}{A} h \right). \quad (\text{II.59})$$

Тиск на рівні кінцевого положення поршня, при  $h=H-s$ , буде становити:

$$p_h = \frac{E_C}{H + D_K} s - \gamma_0 g (H + D_K). \quad (\text{II.60})$$

Тиск у кінцевому положенні поршня, при  $h=0$  та  $s=H$ , буде становити:

$$p_{h_K} = \frac{E_C}{H + D_K} H - \gamma_0 g (H + D_K), \quad (\text{II.61})$$

де  $p_{h_K}$  – тиск в об'ємі субстрату у кінцевому положенні поршня, Па.

З формули II.61 знайдемо значення величини модуля пружності субстрату в кінцевому положенні поршня:

$$\frac{E_C}{H + D_K} H = p_{h_K} + \gamma_0 g (H + D_K).$$

Відповідно, значення величини модуля пружності субстрату в кінцевому положенні поршня становитиме:

$$E_C = [p_{h_K} + \gamma_0 g (H + D_K)] \frac{H + D_K}{H}. \quad (\text{II.62})$$

При зупинці поршня його переміщення та зовнішній тиск досягають максимального значення, а швидкість руху дорівнює нулю. Таким чином, максимальний тиск пакувального поршня камери попереднього ущільнення та тиск масла в гідросистемі визначаються фізико-механічними властивостями субстрату та його відносною деформацією.

Розроблена математична модель для розрахунку попереднього ущільнення субстрату поршневым робочим органом дозволяє визначити тиск поршня, а відповідно і тиск масла в гідросистемі в залежності від конструкційних параметрів камери попереднього ущільнення та фізико-механічних властивостей соломистого субстрату.

### 3.3. Взаємодія поршня із субстратом у горизонтальній камері при відсутності підпору

При безпорному ущільненні соломистого субстрату у горизонтальній камері (рис. II.16) протидія створюється за рахунок сил тертя ущільненого матеріалу об її стінки та залежить, як від фізико-механічних властивостей ущільнювального матеріалу, так і від конструкційних параметрів ущільнювальної камери.

Відомо, що диференційне рівняння зміни тиску по довжині стиснутого матеріалу має вигляд [132]:

$$p_h = C \exp\left(-\mu f \frac{l}{A} h\right), \quad (\text{II.63})$$

Для умов попередньо стисненого субстрату, коли  $h=0$ , тиск під поршнем становитиме:

$$p_{h=0} = \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX}. \quad (\text{II.64})$$

де  $p_0$  – тиск попередньо ущільненого субстрату, Па;

$H_0$  – довжина горизонтальної камери, яка заповнена субстратом перед безопорним ущільненням, м;

$s_{MAX}$  – максимальна величина переміщення поршня до початку руху порції субстрату, м.

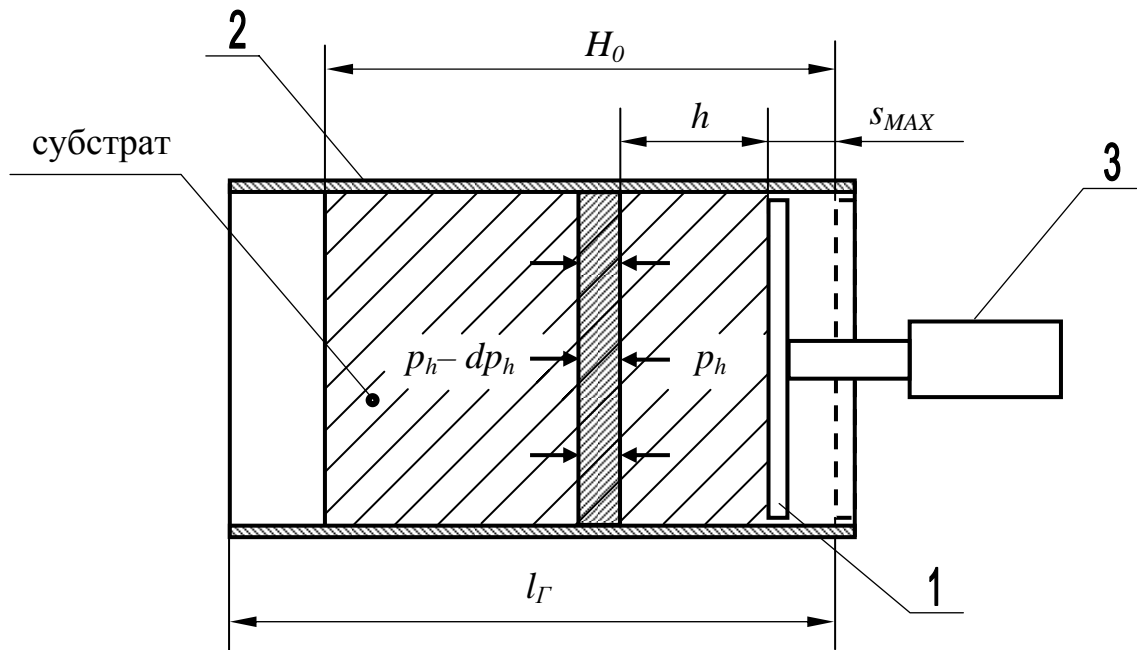


Рис. II.16 – Схема горизонтальної камери при ущільненні субстрату: 1 – поршень камери основного ущільнення субстрату; 2 – горизонтальна камера основного ущільнення субстрату; 3 – гідроциліндр

Тоді:

$$C = \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX}, \quad (\text{II.65})$$

а рішення диференційного рівняння (II.63) матиме вигляд:

$$p_h = \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX} \right) \exp\left( -\mu f \frac{l}{A} h \right). \quad (\text{II.66})$$

При  $s_{MAX} = 0$  розв'язання рівняння відповідає приведеному в [132]:

$$p_h = \mu p_0 \exp\left( -\mu f \frac{l}{A} h \right). \quad (\text{II.67})$$

Під час безпорного ущільнення субстрату в початковий момент спостерігається стиснення нерухомого субстрату, а в подальшому – переміщення до вивантажувального отвору (рис. II.17). Рух субстрату починається із того моменту, коли зовнішня сила тиску компенсує силу тертя, тобто:

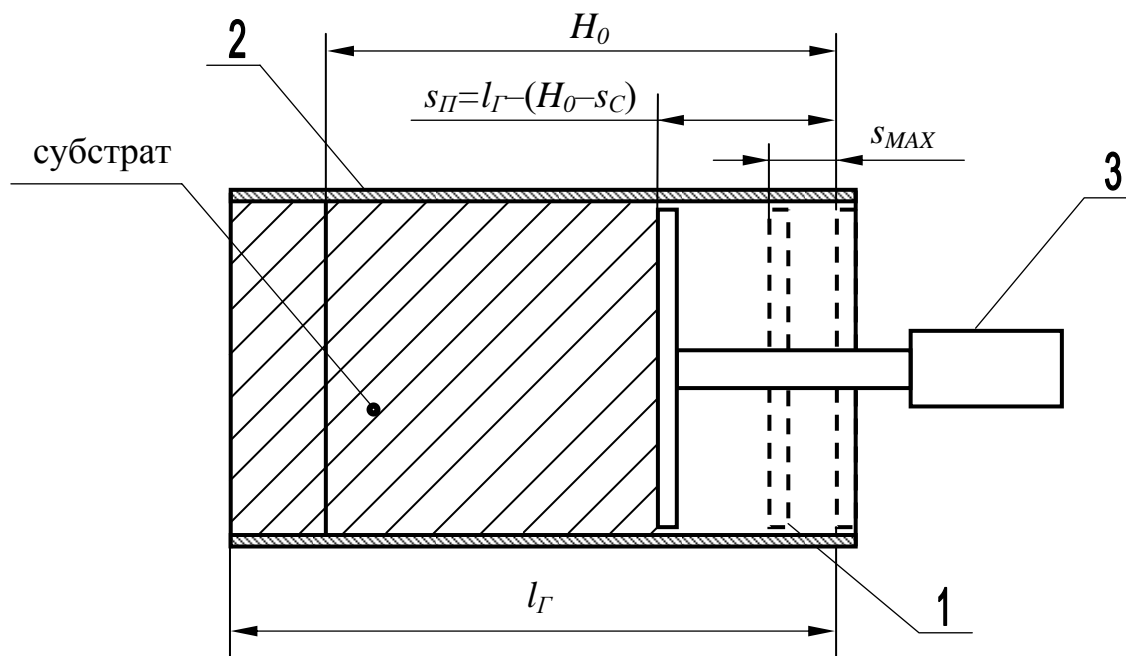


Рис. II.17 – Схема горизонтальної камери при переміщенні субстрату: 1 – поршень камери основного ущільнення субстрату; 2 – горизонтальна камера основного ущільнення субстрату; 3 – гідроциліндр

$$\dot{A} p_{h=0} \geq F_T,$$

де  $F_T$  – сила тертя субстрату по сталі, Н.

Розмір стисненої порції, що рухається, буде становити (рис. II.18):

$$H_C = H_0 - s_{MAX}, \quad (II.68)$$

де  $H_C$  – розмір стисненої порції субстрату, м.

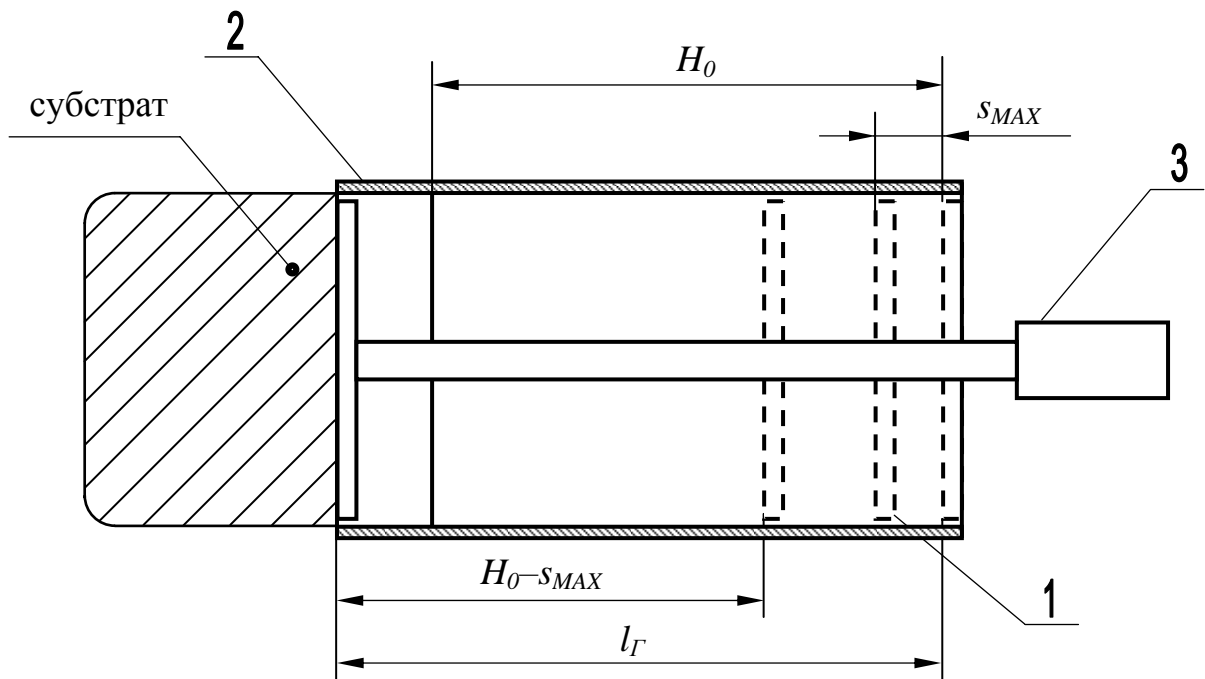


Рис. II.18 – Схема горизонтальної камери при вивантаженні субстрату:  
1 – поршень камери основного ущільнення субстрату; 2 – горизонтальна камера основного ущільнення субстрату; 3 – гідроциліндр

Сила тертя, яка протидіє руху порції субстрату становить:

$$F_T = A \mu p_0 + \frac{E_C A}{H_0} s_{MAX}. \quad (II.69)$$

Максимальний тиск поршня, який необхідний для подолання сили тертя:

$$p_{MAX} = \frac{F_T}{A} = \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX}, \quad (\text{II.70})$$

де  $p_{MAX}$  – максимальний тиск поршня, Па.

Відповідно сила тертя і тиск, які діють при вивантаженні ущільненого субстрату становлять:

$$F_{TB} = p_{MAX} A = \left( A \mu p_0 + \frac{E_C A}{H_0} s_{MAX} \right) \frac{H_0 - s_{MAX} - s}{H_0 - s_{MAX}}, \quad (\text{II.71})$$

де  $F_{TB}$  – сила тертя, яка діє при вивантаженні ущільненого субстрату, Н;

$s$  – величина переміщення поршня при вивантаженні субстрату, м.

$$p_{BM} = \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX} \right) \frac{H_0 - s_{MAX} - s}{H_0 - s_{MAX}}, \quad (\text{II.72})$$

де  $p_{BM}$  – тиск, який діє при вивантаженні ущільненого субстрату, Па.

Переміщення поршня при вивантаженні субстрату із пакувальної камери може змінюватися в межах від 0 до  $H_0 - s_{MAX}$ , а відповідно, тиск при вивантаженні буде змінюватися від максимального необхідного для подолання сил тертя до нуля.

Таким чином, отримані рівняння для розрахунку тиску на кожному етапі взаємодії поршня із субстратом у горизонтальній камері.

### 3.4. Взаємодія поршня із субстратом у горизонтальній камері при його вивантаженні та наявності рухомого підпору

Горизонтальна ущільнювальна камера відкритого типу з постійним поперечним перерізом має ряд суттєвих недоліків а саме те, що її опір, а відповідно і щільність субстрату не регулюються. Тому при ущільненні в камері з постійним поперечним перерізом робочий процес порушується зі зміною фізико-механічних властивостей матеріалу [123]. Даний недолік можна усунути методом дообладнання ущільнювальної камери опорним пристроєм, який підпружинений та прикріплений шарнірно до зовнішньої стінки з можливістю перешкоджати вільному русі мішка з субстратом при виході із вивантажувальної горловини камери відкритого типу [186, 191] (рис. П.19).

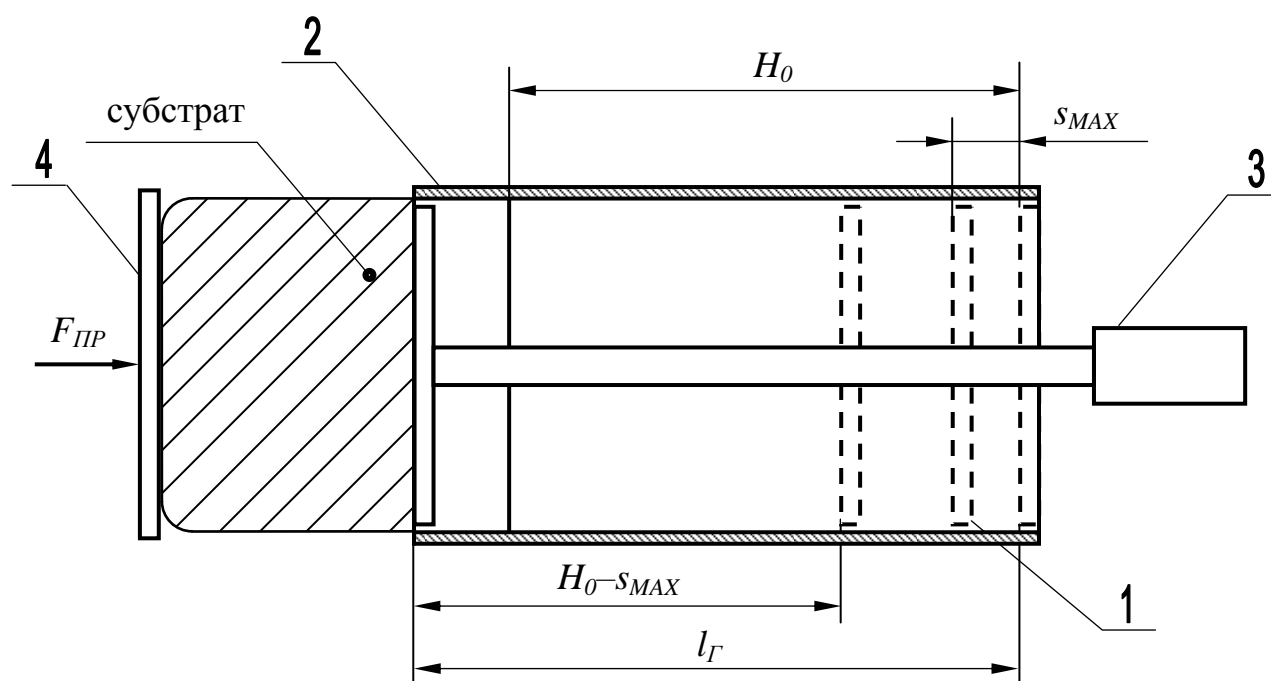


Рис. П.19 – Схема ущільнювальної камери при наявності підпору: 1 – поршень камери основного ущільнення субстрату; 2 – горизонтальна камера основного ущільнення субстрату; 3 – гідроциліндр; 4 – стінка рухомого підпору

Відомі такі види протидій вільному руху мішка з субстратом, які мають місце при вивантаженні ущільненого субстрату з вивантажувальної горловини камери:

- по мірі вивантаження збільшується;
- по мірі вивантаження зменшується;
- постійна по величині.

Під час опорного-регульованого ущільнення субстрату в початковий момент спостерігається стиснення нерухомого субстрату, а в подальшому – переміщення до отвору вивантажувальної горловини. Під час вивантаження субстрату зовнішня сила тиску компенсує силу тертя та силу протидії рухомого підпору днища мішка, тобто:

$$Ap_{h=0} = F_T + F_{PP}, \quad (\text{II.73})$$

де  $F_{PP}$  – сила протидії рухомого підпору, Н.

Аналогічно безопорному ущільненню, розмір стисненої порції, що рухається, буде становити:

$$H_C = H_0 - s_{MAX}. \quad (\text{II.74})$$

Максимальний тиск поршня, який необхідний для подолання сили тертя та сили протидії рухомого підпору і діє при вивантаженні субстрату становить:

$$P_{MAX} = \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX} \right) \frac{H_0 - s_{MAX} - s}{H_0 - s_{MAX}} + \frac{F_{PP}}{A}. \quad (\text{II.75})$$

Сила тертя, яка діє при вивантаженні ущільненого субстрату становить:

$$F_{TB} = p_{MAX}A - F_{ПР} = \left( A \mu p_0 + \frac{E_C A}{H_0} s_{MAX} \right) \frac{H_0 - s_{MAX} - s}{H_0 - s_{MAX}}. \quad (II.76)$$

Переміщення поршня при вивантаженні мішка з субстратом із пакувальної камери може змінюватися в межах від 0 до  $H_0 - s_{MAX}$ , а відповідно, тиск при вивантаженні буде змінюватися від максимально необхідного для подолання сил тертя та сили протидії рухомого підпору до величини сили протидії рухомого підпору  $p_{BM} = \frac{F_{ПР}}{A}$ .

Розроблена математична модель поршневого ущільнювача субстрату дозволяє визначити тиск в субстраті та тиск поршня на субстрат в залежності від конструкційно-технологічних параметрів ущільнювача та фізико-механічних властивостей ущільнювального субстрату. Дообладнання ущільнювача підпором дозволяє вдосконалити конструкцію поршневих ущільнювачів та досягнути поліпшення технологічних показників субстрату при мінімальних витрат енергії.

### 3.5. Визначення витрат енергії на ущільнення субстрату

Загальновідомо, що витрати енергії на здійснення циклу ущільнення і вивантаження субстрату становлять:

$$W = W_B + W_G^C + W_G^П + W_G^B, \quad (II.77)$$

де  $W$  – загальні витрати енергії, Дж;

$W_B$  – витрати енергії на ущільнення субстрату у вертикальній камері, Дж;

$W_G^C, W_G^П, W_G^B$  – витрати енергії на стиснення, переміщення та вивантаження субстрату у горизонтальній камері, Дж.

У вигляді інтегрального рівняння вираз (II.77) записують наступним чином:

$$W = \int_{V_{ПВ}}^{V_{KB}} p_B dV + \int_{V_{ПГ}}^{V_{КГ}} p_G dV, \quad (\text{II.78})$$

де  $V_{ПВ}, V_{KB}$  – відповідно початковий та кінцевий об'єм субстрату у вертикальній камері, м<sup>3</sup>;

$V_{ПГ}, V_{КГ}$  – відповідно початковий та кінцевий об'єм субстрату у горизонтальній камері, м<sup>3</sup>;

$p_B, p_G$  – тиск поршнів на субстрат відповідно у вертикальній та горизонтальній камерах, Н/м<sup>2</sup>,

або:

$$W = A_B \int_{s=0}^{H_B} p_B ds + A_G \int_{s=0}^{H_G} p_G ds, \quad (\text{II.79})$$

де  $A_B, A_G$  – площа поршнів відповідно вертикальної та горизонтальної камер, м<sup>2</sup>;

$s$  – переміщення поршнів, м;

$H_B, H_G$  – максимальне переміщення поршня у вертикальній та горизонтальній камерах, м.

Врахувавши тиск поршня на субстрат у вертикальній камері згідно формули (II.59) при  $h=0$ , визначимо витрати енергії на ущільнення субстрату у вертикальній камері, які становитимуть:

$$\begin{aligned}
W_B = A_B \left\{ \frac{E_C}{H_B + D_K} \exp\left(\mu f \frac{l}{A_B} H_B\right) \int_{s=0}^{H_B} s \exp\left(-\mu f \frac{l}{A_B} s\right) ds - \right. \\
- \gamma_0 g(H_B + D_K) \left[ \exp\left(\mu f \frac{l}{A_B} H_B\right) \int_{s=0}^{H_B} \exp\left(-\mu f \frac{l}{A_B} s\right) ds - \right. \\
\left. \left. - \int_{s=0}^{H_B} \frac{H_B + s}{-H_B - D_K + s} ds \right] \right\}. \quad (II.80)
\end{aligned}$$

Після інтегрування одержимо:

$$\begin{aligned}
W_B = A_B \left\{ \frac{E_C}{H_B + D_K} \left( \frac{1}{\left(\mu f \frac{l}{A_B}\right)^2} \left( \exp\left(\mu f \frac{l}{A_B} H_B\right) - 1 \right) - \frac{H_B}{\mu f \frac{l}{A_B}} \right) - \right. \\
- \gamma_0 g(H_B + D_K) \left[ \frac{1}{\mu f \frac{l}{A_B}} \left( \exp\left(\mu f \frac{l}{A_B} H_B\right) - 1 \right) - \right. \\
\left. \left. - H_B + (2H_B + D_K) \ln \frac{H_B + D_K}{D_K} \right] \right\}. \quad (II.81)
\end{aligned}$$

Таким чином, отримано рівняння, яке встановлює залежність витрат енергії на ущільнення у вертикальній камері від конструкційних параметрів ущільнювача та фізико-механічних властивостей субстрату.

Витрати енергії на стиснення субстрату у горизонтальній камері становлять:

$$W_{\Gamma}^C = A_{\Gamma} \int_{s=0}^{s_{MAX}} p_{\Gamma}^C ds, \quad (II.82)$$

де  $p_{\Gamma}^C$  – тиск поршня у горизонтальній камері під час стискання субстрату, Н/м<sup>2</sup>.

Проводимо інтегрування формули (II.82), скориставшись значенням тиску при стисненні субстрату згідно формули (II.64):

$$W_{\Gamma}^C = A_{\Gamma} \int_{s=0}^{s_{MAX}} \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s \right) ds, \quad (II.83)$$

Після інтегрування одержимо:

$$W_{\Gamma}^C = A_{\Gamma} \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} \frac{s_{MAX}}{2} \right) s_{MAX}. \quad (II.84)$$

Витрати енергії на переміщення субстрату у горизонтальній камері становлять:

$$W_{\Gamma}^{\Pi} = A_{\Gamma} \int_{s_{MAX}}^{s_{\Pi}} p_{\Gamma}^{\Pi} ds, \quad (II.85)$$

де  $p_{\Gamma}^{\Pi}$  – тиск поршня у горизонтальній камері під час переміщення субстрату, Н/м<sup>2</sup>.

Інтегрування формули (II.85) проводимо скориставшись значенням тиску, який необхідний для подолання сили тертя згідно формули (II.70):

$$W_{\Gamma}^{\Pi} = A_{\Gamma} \int_{S_{MAX}}^{S_{\Pi}} \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX} \right) ds. \quad (II.86)$$

Після інтегрування одержимо:

$$W_{\Gamma}^{\Pi} = A_{\Gamma} \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX} \right) (l_{\Gamma} - H_0), \quad (II.87)$$

де  $l_{\Gamma}$  – довжина горизонтальної камери основного ущільнення, м.

Витрати енергії на вивантаження субстрату у горизонтальній камері становлять:

$$W_{\Gamma}^B = A_{\Gamma} \int_0^{H_0 - s_{MAX}} p_{\Gamma}^B ds, \quad (II.88)$$

де  $p_{\Gamma}^B$  – тиск поршня у горизонтальній камері під час вивантаження субстрату, Н/м<sup>2</sup>.

Підставивши у формулу (II.88) вираз для визначення тиску, який діє при вивантаженні ущільненого субстрату згідно формули (II.72), одержимо:

$$W_{\Gamma}^B = A_{\Gamma} \int_0^{H_0 - s_{MAX}} \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX} \right) \frac{H_0 - s_{MAX} - s}{H_0 - s_{MAX}} ds. \quad (II.89)$$

Провівши інтегрування та відповідні скорочення одержимо:

$$W_{\Gamma}^B = A_{\Gamma} \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX} \right) \frac{H_0 - s_{MAX}}{2}. \quad (\text{II.90})$$

У випадку, коли при вивантаженні буде мати місце сила протидії рухомого підпору  $F_{\text{ПР}}$ , формула (II.90) для визначення витрат енергії на вивантаження субстрату у горизонтальній камері набуде вигляду:

$$W_{\Gamma}^B = A_{\Gamma} \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX} \right) \frac{H_0 - s_{MAX}}{2} + F_{\text{ПР}} (H_0 - s_{MAX}), \quad (\text{II.91})$$

або:

$$W_{\Gamma}^B = (H_0 - s_{MAX}) \left[ \frac{A_{\Gamma}}{2} \left( \mu p_0 + \frac{E_C}{H_0} s_{MAX} \right) + F_{\text{ПР}} \right]. \quad (\text{II.92})$$

Використовуючи отримані математичні моделі (II.81, II.84, II.87 та II.90) доцільно провести порівняння даних, отриманих за їх допомогою, з експериментальними даними процесу ущільнення соломистого субстрату поршневым ущільнювачем.

### 3.6. Обґрунтування критерію оптимізації процесу ущільнення субстрату

Основними напрямками удосконалення механізованих технологічних процесів є зменшення потужності, збільшення продуктивності та якості роботи машин. У зв'язку з цим, роботу окремого обладнання або машини в загальному технологічному процесі виробництва субстрату доцільно оцінювати комплексним показником, що враховує потужність машини, її продуктивність та якість

виконання заданої окремої операції як складової загального технологічного процесу. Величина комплексного показника, як критерію оптимізації для визначення параметрів ущільнювача субстрату поршневого типу повинна бути прямо пропорційною потужності та кількісному показнику, що характеризує якість роботи і обернено пропорційною продуктивності ущільнювача та приймати мінімальне значення. Формалізовано це буде виглядати наступним чином [125, 192]:

$$E = \frac{N}{M_C} (1 + \lambda) \rightarrow \min, \quad (\text{II.93})$$

де  $E$  – питома енергомісткість ущільнення субстрату ущільнювачем поршневого типу з урахуванням якості роботи, кВт год./т;

$N$  – витрати енергії, затраченої на ущільнення субстрату, кВт год.;

$M_C$  – маса ущільненого та запакованого субстрату, т;

$\lambda$  – показник якості виконання технологічного процесу.

Загальновідомо, що продуктивність поршневого ущільнювача субстрату становить:

$$M_C = n M_B, \quad (\text{II.94})$$

де  $n$  – кількість ущільнених та запакованих мішків з субстратом, шт.;

$M_B$  – середня маса ущільненого та запакованого мішка субстратом, т.

Якість виготовлення ущільнених та запакованих мішків субстрату визначаємо за величиною відхилення значень щільності запакованого субстрату від технологічно заданого значення та визначимо за виразом:

$$\lambda = \left| \frac{\gamma - \gamma_{TЗ}}{\gamma_{TЗ}} \right|, \quad (\text{II.95})$$

де  $\gamma$  – фактичне значення щільності ущільненого та запакованого мішка з субстратом, кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_{T3}$  – технологічно задане значення щільності ущільненого та запакованого мішка з субстратом, кг/м<sup>3</sup>.

Для розрахунку значення технологічно заданої щільності субстрату скористаємося формулою [193]:

$$\gamma_{T3} = \frac{\gamma_B(1 - W_{T3})}{W_{T3} + \frac{\gamma_B}{\gamma_C}(1 - W_{T3})}, \quad (\text{II.96})$$

де  $\gamma_B$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_C$  – щільність сухої речовини соломи, кг/м<sup>3</sup>;

$W_{T3}$  – технологічно задане значення вологості субстрату, відн. од.

Якщо вологість має технологічно задане значення і має становити  $W_{T3}=0,75$  відн. од., то формула (II.96) набуде вигляду:

$$\gamma_{T3} = \gamma_B(1 - W_{T3}), \quad (\text{II.97})$$

Таким чином, критерій оптимізації для визначення параметрів поршневого ущільнювача субстрату визначатиметься наступною залежністю:

$$E = A \left( 1 + \left| \frac{\gamma - \gamma_{T3}}{\gamma_{T3}} \right| \right) \rightarrow \min, \quad (\text{II.98})$$

де  $A = \frac{N}{M_C}$  – питома енергомідкість процесу ущільнення та пакування субстрату без урахуванням якості роботи, кВт год./т.

Враховуючи вищезазначені умови, значення комплексного показника розраховували за формулою:

$$E = \frac{W_{EL}}{n M_B} \left( 1 + \left| \frac{\gamma - \gamma_{T3}}{\gamma_{T3}} \right| \right) \rightarrow \min . \quad (\text{II.99})$$

Питома енергомiсткiсть процесу ущiльнення та пакування субстрату з урахуванням якостi роботи може досягати свого мiнiмального значення лише у випадку коли  $\gamma = \gamma_{T3}$ . В цьому випадку, питома енергомiсткiсть процесу ущiльнення та пакування субстрату без урахуванням якостi роботи буде дорiвнювати питомiй енергомiсткостi процесу ущiльнення та пакування субстрату з урахуванням якостi роботи.

Для оцiнки якостi роботи поршневого ущiльнювача було застосовано алгоритм визначення вiдхилень показникiв щiльностi ущiльнених мiшкiв з субстратом вiд нормативних значень, заданих технологiчними вимогами, iз врахуванням iх допустимих значень [193].

### 3.7. Резюме по роздiлу 3

1. Запропоновано та обгрунтовано технологiчну схему поршневого ущiльнювача субстрату, який дозволяє досягти однорiдностi щiльностi субстрату по об'єму мiшка та регулювання ступеню її ущiльнення, особливо при змiнi маси завантаженої порцiї та пакування у мiшки вiдповiдно до технологiчних вимог.

2. Розроблена математична модель для розрахунку попереднього ущiльнення субстрату поршневим робочим органом дозволяє визначити тиск поршня, а вiдповiдно i тиск масла в гiдросистемi в залежностi вiд конструкцiйних параметрiв камери попереднього ущiльнення та фiзико-механiчних властивостей субстрату.

3. Розроблено математичнi моделi розрахунку ущiльнення субстрату в горизонтальнiй камерi без пiдпору та при наявностi рухомого пiдпору, що

дозволяє визначити тиск поршня, а відповідно і тиск масла в гідросистемі в залежності від конструкційних параметрів горизонтальної камери основного ущільнення та фізико-механічних властивостей субстрату.

4. Розроблено математичні моделі розрахунку витрати енергії на ущільнення субстрату у вертикальній камері та витрати енергії на стиснення, переміщення та вивантаження субстрату у горизонтальній камері.

5. Обґрунтовано критерій оптимізації процесу ущільнення субстрату, що характеризує якість роботи, продуктивність поршневого ущільнювача субстрату та витрати енергії.

## РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ СУБСТРАТУ

### 4.1. Опис експериментальної установки та її роботи

На основі результатів проведених лабораторних досліджень був розроблений експериментальний зразок поршневого ущільнювача субстрату (рис. П.20, П.21) призначений для ущільнення соломистого субстрату, з одночасним пакуванням його у мішки, для послідуочого вирощування гливи звичайної.

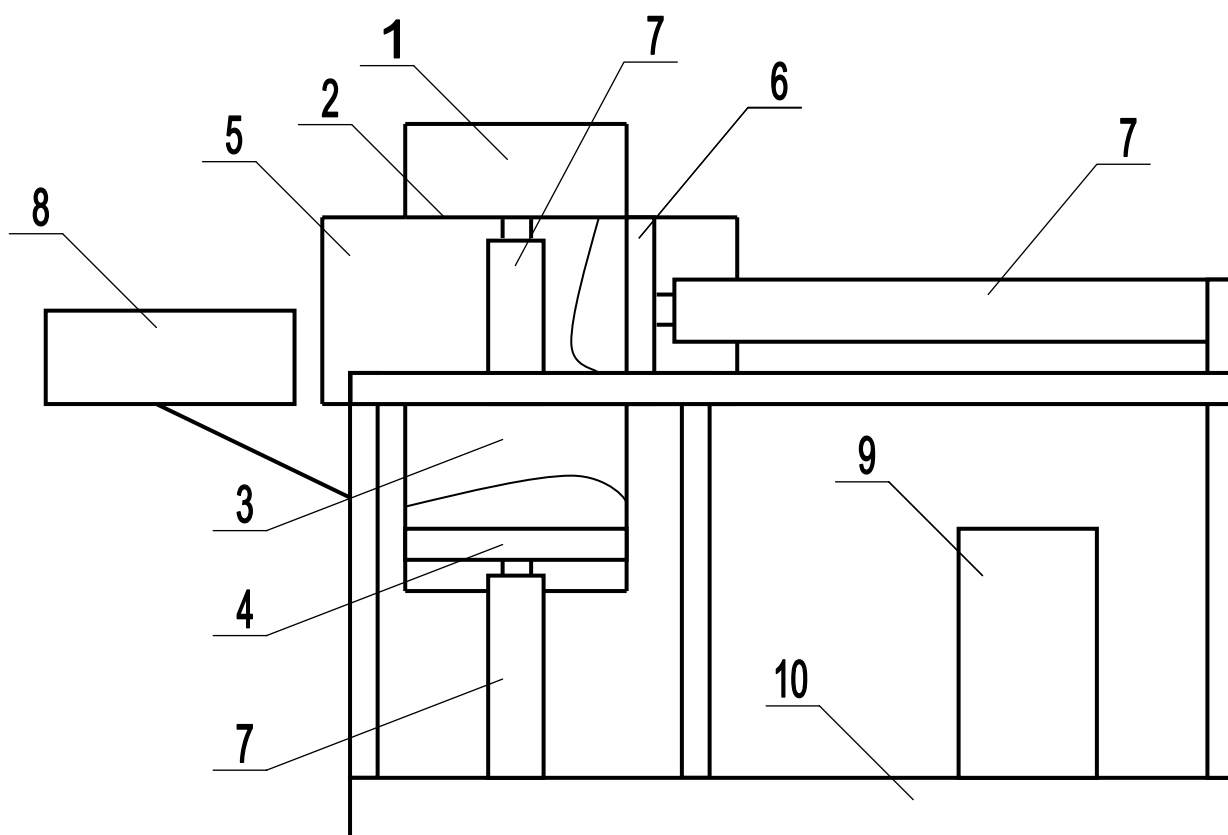


Рис. П.20 – Схема поршневого ущільнювача субстрату:  
1 – завантажувальний бункер; 2 – кришка (клапан завантажувального вікна);  
3 – приймальна камера; 4 – дно (поршень) вертикальної камери; 5 – горизонтальна ущільнювальна камера; 6 – поршень; 7 – гідроциліндри; 8 – лоток для ущільнених блоків; 9 – гідравлічна станція; 10 – рама



Рис. П.21 – Загальний вигляд поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи

Розроблений та виготовлений експериментальний зразок ущільнювача субстрату містить завантажувальний бункер, під яким розташована приймальна камера для субстрату, відділена від бункера клапаном, причому в нижній частині приймальної камери розміщений підпресовуючий пристрій, виконаний у вигляді поршня, встановленого з можливістю переміщення вздовж приймальної камери, а в боковій стінці приймальної камери розміщена горловина для вивантаження ущільненого субстрату в мішки, навпроти якої, в протилежній стінці розміщений додатковий поршень основного ущільнювача, за допомогою якого відбувається переміщення субстрату до вікна вивантажувальної горловини. Завдяки повздовжньому переміщенню штока через додатковий поршень створюється тиск на ущільнювальний матеріал, внаслідок тертя матеріалу об внутрішню поверхню пресувальної камери та створюваної протидії до виштовхування з камери

відбувається його ущільнення. Подальше переміщення поршня спричиняє витіснення ущільненого субстрату в пакувальну тару, що одягнена на бічну поверхню пресувальної камери. Таким чином відбувається процес регульовано-опорного ущільнення субстрату з одночасним пакуванням його в мішок [186, 191, 194].

Роботу гідравлічних циліндрів забезпечує гідравлічна станція, яка закріплена на рамі ущільнювача. Керування роботою гідравлічних циліндрів відбувається за допомогою важелів гідророзподільника гідравлічної станції.

Електрообладнання поршневого ущільнювача субстрату складається з пуско-захисної апаратури для вмикання та вимикання електродвигуна приводу масляного насоса гідравлічної станції.

#### **4.2. Методика визначення фізико-механічних властивостей субстрату**

До фізичних властивостей сіно-соломистих матеріалів відносять вологість, гранулометричний склад або розмірні дані, щільність, об'ємну масу та ін.

Опір маси сіно-соломистих матеріалів до переміщення по різних поверхнях в залежності від тиску та швидкості, релаксація напруг, повзучість та інші властивості відносяться до механічних. Вони, зазвичай, виражаються відповідними коефіцієнтами або залежностями [126, 127].

Вихідним матеріалом при проведенні досліджень була солома злакових культур (пшениця, ячмінь).

Основні фізико-механічні властивості вихідної сировини визначалися відповідно до діючих методик [195, 196, 197, 198]. При цьому використовувалося наступне устаткування: ваги шкальні РН-50ШВП-1, ваги лабораторні квадрантні ВЛК-500-М, сушильна шафа 2В-151, мішечки для взяття проб, ящик для визначення об'ємної маси, штангенциркуль, лінійка інженерна, секундомір годинникового типу S 0,2.

Необхідна кількість дослідів при надійності досліду 0,95 та помилці  $\pm 3 \sigma$  була рівною 3 [199]. При цьому відносна похибка середнього арифметичного не перевищувала 5 %.

Відбір проб для визначення масової частки вологи субстрату  $W_{\text{вол}}$  із загального об'єму досліджуваної партії проводили згідно ГОСТ 27262-87 [195]. Визначення масової частки вологи субстрату в досліджуваній партії проводили термобалансовим методом згідно ГОСТ 27548-97 [196].

Відбір проб для визначення насипної щільності субстрату із загального об'єму досліджуваної партії проводили згідно ГОСТ 27262-87 [195]. Насипну щільність в кілограмах на кубічний метр пастеризованого субстрату  $\gamma_0$  визначали згідно з ДСТУ 46.007-2000 [197] методом зважування його маси без ущільнення, розміщеної у ящику, який має розміри 0,5 м×0,5 м×0,4 м. Маса субстрату в ящику зважували з використанням вагів РН-50ШВП-1.

Відбір проб для визначення фракційного складу субстрату за ознаками середньозваженої довжини часточок в загальному об'ємі досліджуваної партії проводили згідно ГОСТ 27262-87 [195]. Середньозважену довжину часточок вихідної сировини  $L_{\text{СЗВ}}$  визначали відповідно до методики ДСТУ 46.007-2000 [197].

Коефіцієнт поперечного розширення ущільненого та запакованого в мішок субстрату  $k_P$  визначали шляхом замірів діаметра мішка. Для цього в ущільненого мішка з субстратом в 3-х перерізах за допомогою вимірювальної стрічки визначали діаметр. З 3-х значень діаметрів, визначали середнє значення діаметра мішка. За допомогою формули 3.1 та значень діаметрів визначали коефіцієнт поперечного розширення мішка:

$$k_P = \frac{D_M}{D_{\text{КО}}}, \quad (\text{П.100})$$

де  $k_P$  – коефіцієнт поперечного розширення мішка, відн. од.;

$D_M$  – діаметр мішка з ущільненим субстратом, м;

$D_{KO}$  – діаметр камери основного ущільнення, м.

Коефіцієнт бокового тиску характеризує розпірну дію маси субстрату, обмеженої жорсткими стінками, під впливом навантаження. Цей коефіцієнт визначали за допомогою приладу, розробленого ВНДІтваринмаш (рис. П.22, П.23) [200, 201].

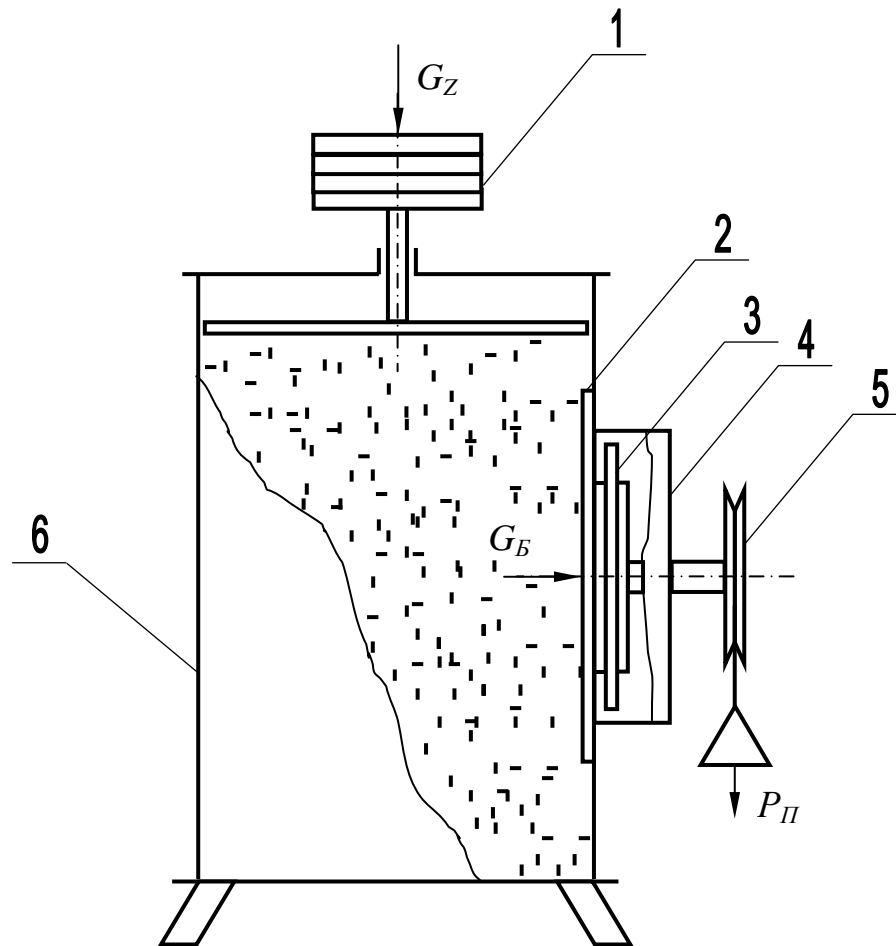


Рис. П.22 – Схема приладу для визначення коефіцієнта бокового тиску:  
1 – вантаж; 2 – діафрагма; 3 – диски тертя; 4 – корпус; 5 – шків; 6 – бункер

Прилад складається з циліндричного бункера 6, до якого прикріплено корпус 4 з розміщеними всередині дисками тертя 3. Між дисками знаходиться фіксуєча шайба. Внутрішній диск закріплений на валу, з іншої сторони якого

насаджений шків, який передає крутний момент. Від потрапляння матеріалу всередину корпусу захищає діафрагма 2 з поліетиленової плівки.

Прилад складається з циліндричного бункера 6, до якого прикріплено корпус 4 з розміщеними всередині дисками тертя 3. Між дисками знаходиться фіксуюча шайба. Внутрішній диск закріплений на валу, з іншої сторони якого насаджений шків, який передає крутний момент. Від потрапляння матеріалу всередину корпусу захищає діафрагма 2 з поліетиленової плівки.



Рис. П.23 – Загальний вигляд приладу для визначення коефіцієнта бокового тиску субстрату

Тарування приладу проводили в боковому положенні при натисканні вантажу на диски тертя. За отриманими даними будували тарувальний графік залежності зусилля прокручування дисків і бокового тиску (рис. П.24).

Відважена порція субстрату засипалася в бункер приладу. Зверху закладалася ущільнююча пластина та кріпилася фіксуюча кришка. Потім в направляючу втулку вводився навантажуючий стержень, який послідовно навантажувався. При кожному інтервалі нормального навантаження визначали зусилля прокручування шківів.

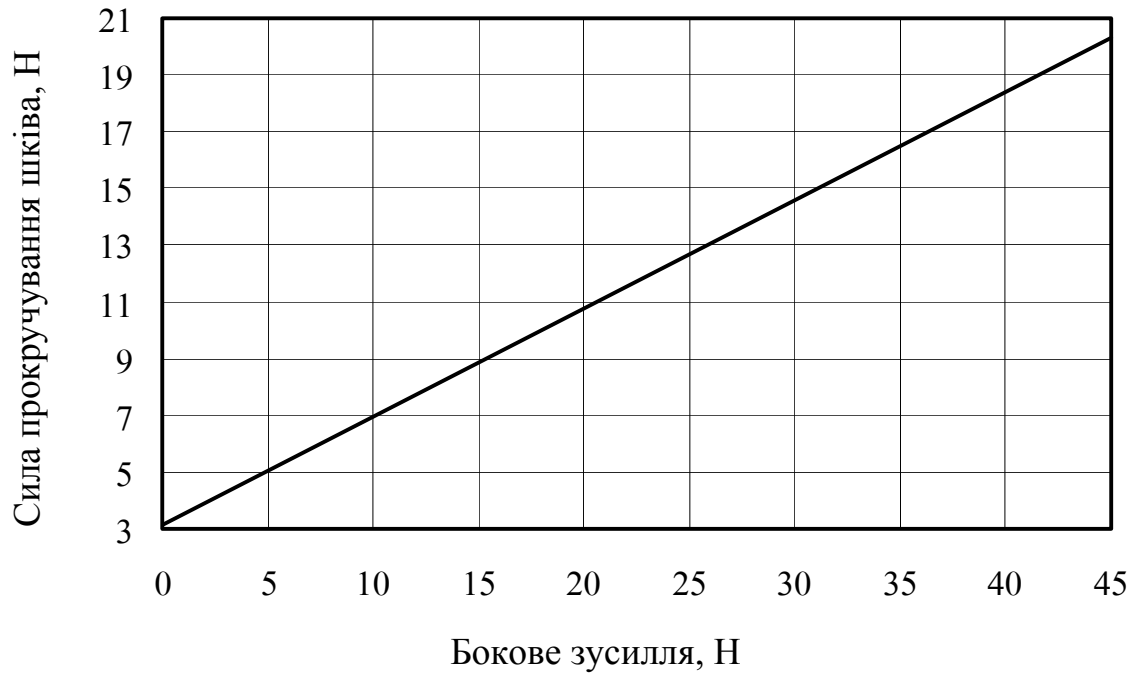


Рис. II.24 – Тарувальний графік залежності зусилля прокручування шківа і бокового тиску

Значення коефіцієнта бокового тиску субстрату  $\mu$  визначали із співвідношення [200, 201]:

$$\mu = K \frac{G_B}{G_Z}, \quad (\text{II.101})$$

де  $\mu$  – коефіцієнт бокового тиску, відн. од.;

$\sigma_Z$ ,  $\sigma_B$  – відповідно нормальний та боковий тиск, Па;

$F_H$ ,  $F_D$  – площі поверхні відповідно ущільнюючої пластини ( $F_H = 479,16 \text{ см}^2$ )

та зовнішнього диску тертя ( $F_D = 38,48 \text{ см}^2$ );

$G_Z$ ,  $G_B$  – відповідно нормальне та бокове зусилля, Н;

$K$  – стала приладу ( $K = 12,45$  відн. од.).

Значення  $G_B$  знаходили по тарувальному графіку в залежності від отриманого в досліді зусилля прокручування шківів  $P_{II}$ . По отриманих даних будували залежність коефіцієнта бокового тиску від нормального тиску.

Коефіцієнт тертя субстрату  $f$  по сталі визначали відповідно до методики [202], за допомогою приладу П10-С (рис. П.25). Для цього відібрані зразки субстрату вміщували до компресійних гільз приладу. До досліджуваного зразка субстрату по черзі прикладали спочатку вертикальне стискуюче навантаження, а потім горизонтальне зсуваюче.

Коефіцієнт тертя розраховували за формулою [202]:

$$f = (T_K - T_{II}) / (P_K - P_{II}), \quad (\text{П.102})$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя субстрату по сталі, відн. од.;

$T_K, T_{II}$  – величина горизонтального зусилля зсуву відповідно в кінцевій та початковій точках, кгс/см<sup>2</sup>;

$P_K, P_{II}$  – величина вертикального стискуючого навантаження відповідно в кінцевій та початковій точках, кгс/см<sup>2</sup>.



Рис. П.25 – Загальний вигляд приладу для визначення коефіцієнта тертя субстрату по сталі

### 4.3. Результати визначення фізико-механічних властивостей соломистого субстрату

В якості вихідної сировини при проведенні випробувань, передбачених програмою та методикою експериментальних досліджень, використовували соломистий субстрат, під час вивантаження його з пастеризаційної камери.

За результатами досліджень значення насипної щільності  $\gamma_0$  досліджуваної партії соломистого субстрату коливалось в межах від 100,1 до 125,5 кг/м<sup>3</sup>. Середнє значення насипної щільності субстрату становило  $\gamma_0=110$  кг/м<sup>3</sup>.

За результатами досліджень значення вологості  $W_{ВОЛ}$  досліджуваної партії соломистого субстрату коливалось в межах від 80,6 до 82,5 %. Середнє значення вологості субстрату становило  $W_{ВОЛ}=81,7$  %.

В таблиці П.1 та на рис. П.26 представлено результати визначення фракційного складу соломистого субстрату за ознаками середньозваженої довжини складових елементів.

Таблиця П.1 – Результати визначення фракційного складу субстрату

Розмір частинок, мм	Маса фракцій за повтореннями, г			Сума значень, г	Середнє значення, г	Співвідношення, %
	1	2	3			
до 10	1,2	1,6	2,6	5,4	1,8	2,12
10–30	4,9	9,0	5,5	19,4	6,47	7,63
30–50	7,5	5,6	11,7	24,8	8,27	9,75
50–70	8,2	5,0	8,9	22,1	7,37	8,69
70–100	8,5	13,0	8,0	29,5	9,8	11,56
100–150	13,4	12,9	11,6	37,9	12,6	14,86
150–200	12,3	10,3	8,5	31,1	10,37	12,23
200 і більше	36,0	23,6	24,7	84,3	28,1	33,14
Всього	92,0	81,0	81,5	254,5	84,8	100

Результати визначення фракційного складу соломистого субстрату за ознакою довжини складових елементів свідчать про те, що близько 39 % маси субстрату становили елементи довжиною від 70 до 200 мм та 32 % елементи

довжиною понад 200 мм, решта вмісту субстрату становили елементи довжиною до 70 мм. Середньозважена довжина часточок соломистого субстрату досліджуваної партії становила  $L_{CЗВ}=142,8$  мм.

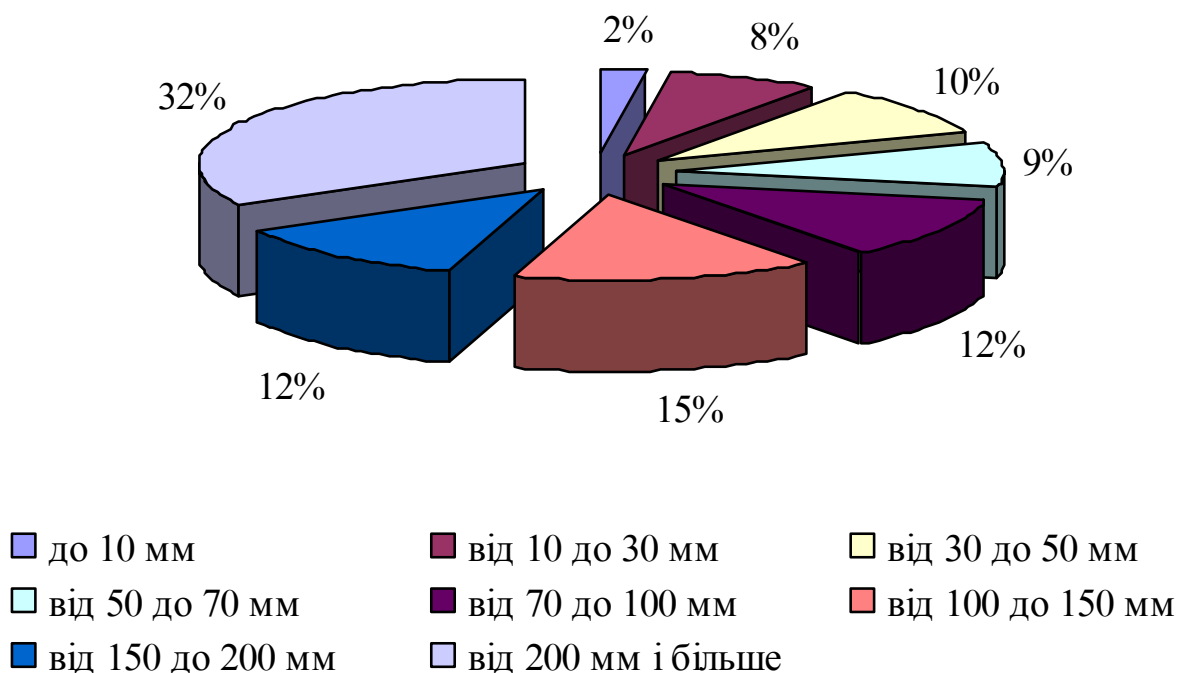


Рис. П.26 – Фракційний склад соломистого субстрату

За результатами досліджень значення коефіцієнта тертя субстрату  $f$  по сталі досліджуваної партії соломистого субстрату коливалось в межах від 0,25 до 0,3 відн. од. Середнє значення коефіцієнта тертя субстрату по сталі становило  $f=0,28$  відн. од.

За результатами досліджень значення коефіцієнта поперечного розширення ущільнених та запакованих мішків з субстратом  $k_P$  коливалось в межах від 1,21 до 1,24 відн. од. Середнє значення коефіцієнта поперечного розширення ущільнених мішків з субстратом становило  $k_P=1,22$  відн. од.

За формулою П.101 розраховували значення коефіцієнта бокового тиску соломистого субстрату та визначали залежність його від нормального тиску (рис. П.27) та щільності (рис. П.28).

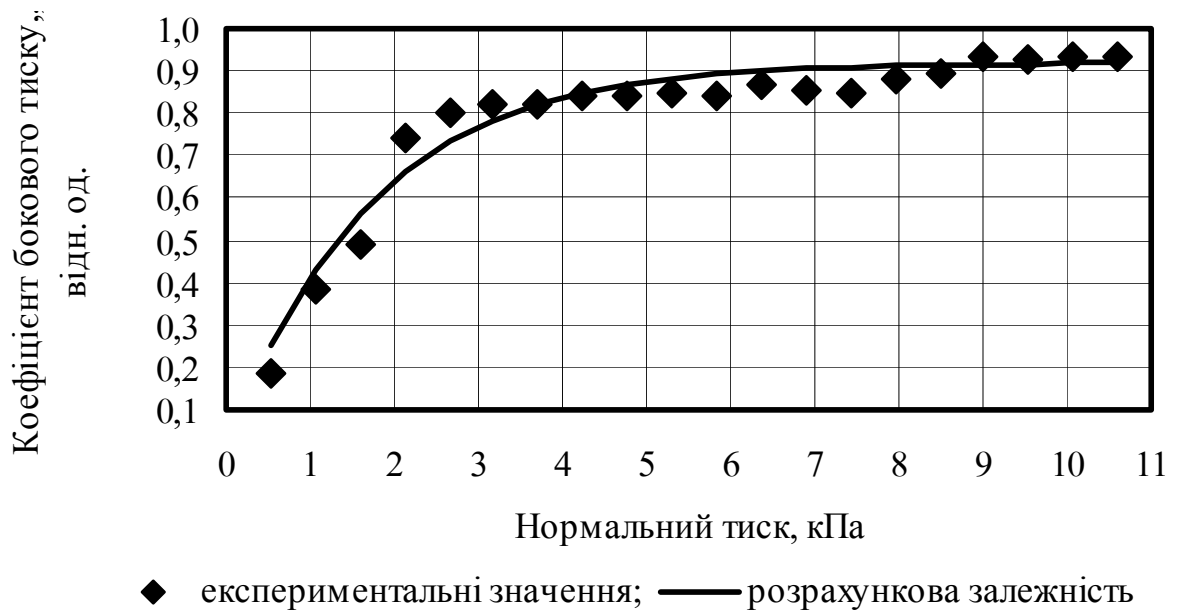


Рис. П.27 – Залежність коефіцієнта бокового тиску субстрату від нормального тиску

Апроксимація експериментальних даних дозволила отримати емпіричну залежність коефіцієнта бокового тиску субстрату від нормального тиску (рис. П.27) у вигляді експоненціального рівняння:

$$\mu = 0,92 (1 - \exp(-0,6G_z)), \quad (\text{П.103})$$

де  $G_z$  – нормальний тиск, Па,  
яка має індекс детермінації з експериментальними даними 0,95.

За результатами проведеного кореляційного та регресійного аналізів отриманих значень встановлено, що збільшення нормального тиску на 1 кПа відповідає збільшенню значення коефіцієнта бокового тиску на 0,049 відн. од. Зміна коефіцієнта бокового тиску на 59,9 % обумовлена зміною нормального тиску, а 40,1 % змін пов'язано з іншими факторами. Встановлено, що при зміні значень нормального тиску в межах від 0,53 до 6 кПа значення коефіцієнта бокового тиску субстрату зростає за експоненціальною залежністю, а при

значеннях нормального тиску більше 6 кПа коефіцієнт бокового тиску має значення  $0,9 \pm 0,03$  відн. од.

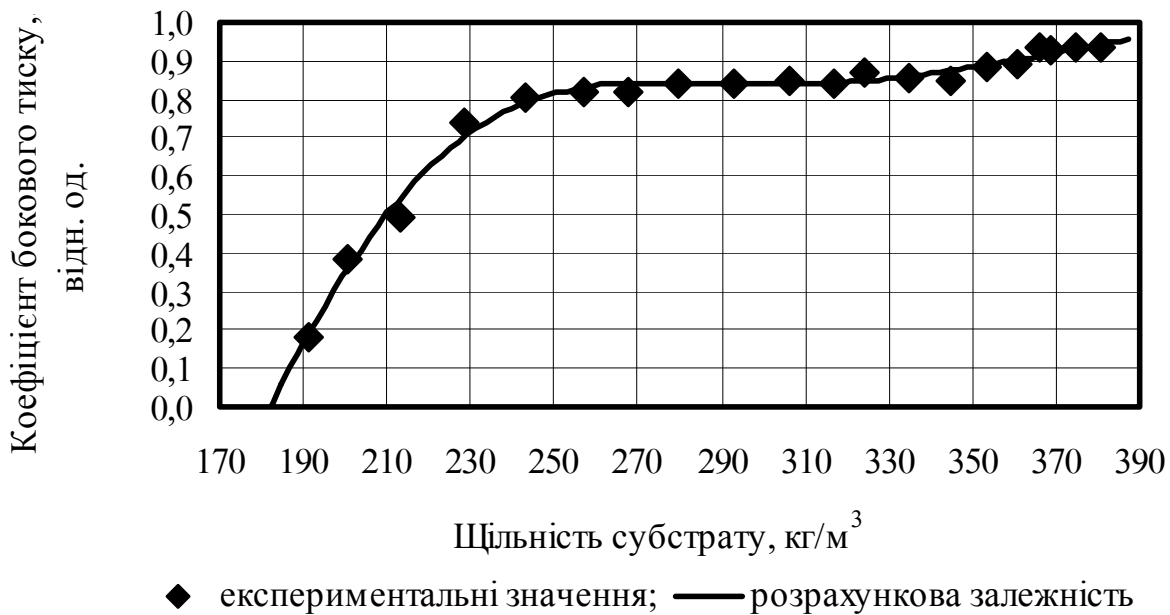


Рис. П.28 – Залежність коефіцієнта бокового тиску субстрату від щільності

За формулою П.62 розраховували значення модуля пружності пастеризованого субстрату  $E_C$  для вирощування гливи на основі соломи від початкової щільності субстрату. За результатами проведених експериментальних досліджень отримано залежності модуля пружності від початкової щільності пастеризованого субстрату для вертикальної та горизонтальної ущільнювальних камер поршневого ущільнювача.

Апроксимація експериментальних даних дозволила отримати емпіричну залежність модуля пружності пастеризованого субстрату для вирощування гливи на основі соломи від початкової щільності субстрату (рис. П.29) у вигляді експоненціального рівняння:

$$E_C = 2,49 \exp(0,016\gamma_0), \quad (\text{П.104})$$

яка має індекс детермінації з експериментальними даними 0,79.

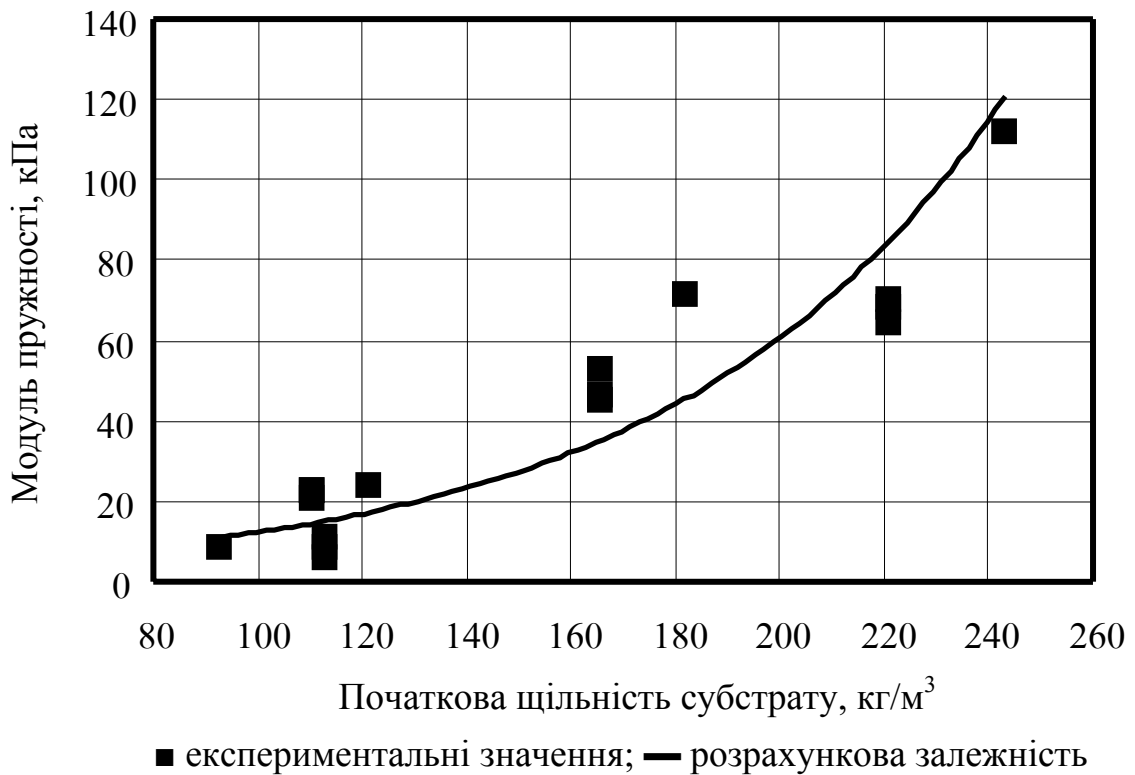


Рис. П.29 – Залежність модуля пружності від початкової щільності субстрату для вертикальної ущільнювальної камери

За результатами проведеного кореляційного та регресійного аналізів отриманих значень встановлено, що збільшення початкової щільності субстрату на 1 кг/м³ відповідає збільшенню значення модуля пружності на 0,57 кПа. Зміна модуля пружності на 89,7 % обумовлена зміною початкової щільності, а 10,3 % змін пов'язано з іншими факторами. Встановлено, що при зміні значень початкової щільності субстрату в межах від 93 до 243 кг/м³ значення модуля пружності субстрату відповідно зростають в межах від 8 до 112 кПа.

Для визначення залежності модуля пружності від щільності субстрату було проведено експериментальні дослідження процесу безпорного ущільнення в горизонтальній ущільнювальній камері при умовах аналогічних попередньому ущільненню. За результатами проведених експериментальних досліджень

отримано залежність модуля пружності від початкової щільності пастеризованого субстрату (рис. П.30).

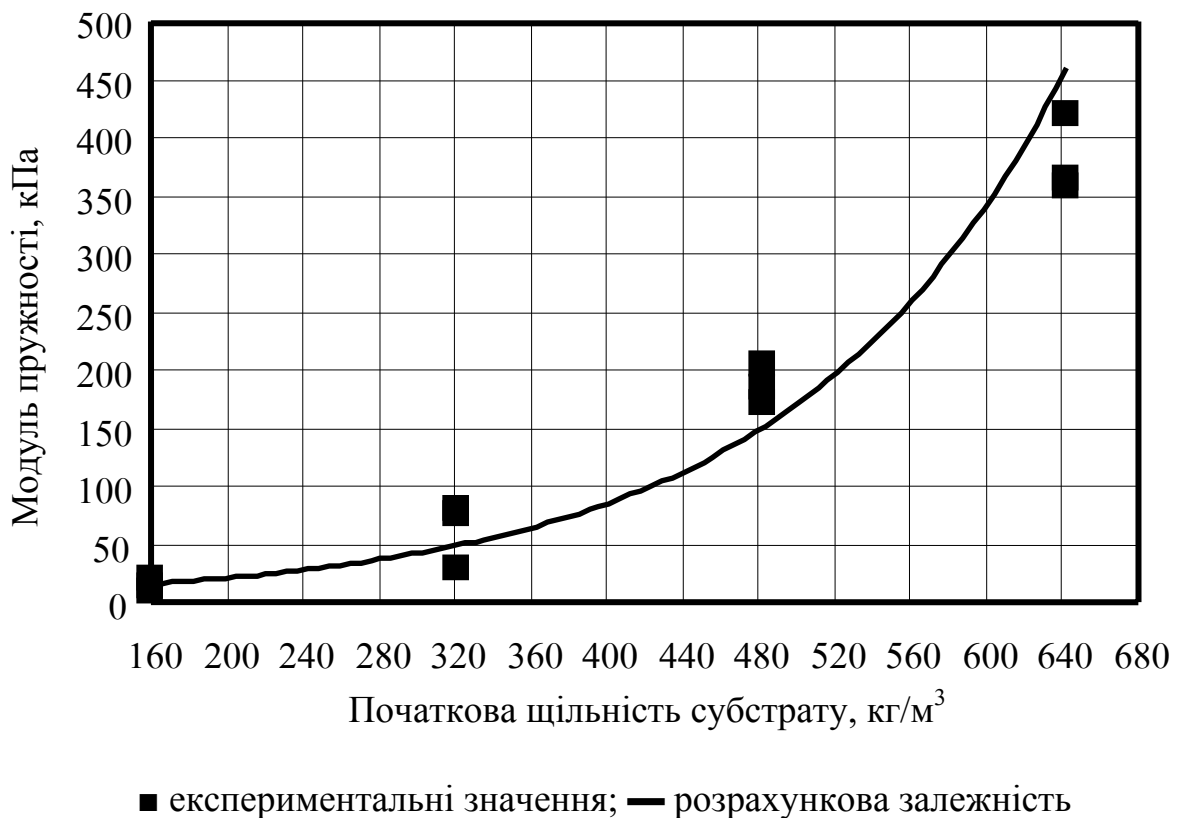


Рис. П.30 – Залежність модуля пружності від початкової щільності субстрату для горизонтальної ущільнювальної камери

Апроксимація експериментальних даних дозволила отримати емпіричну залежність модуля пружності субстрату від початкової щільності у вигляді експоненціального рівняння:

$$E_c = 5,18 \exp(0,007\gamma_0), \quad (\text{П.105})$$

яка має індекс детермінації з експериментальними даними 0,93.

За результатами проведеного кореляційного та регресійного аналізів отриманих значень встановлено, що збільшення початкової щільності субстрату на 1 кг/м³ відповідає збільшенню значення модуля пружності на 0,76 кПа. Зміна

модуля пружності на 91,6 % обумовлена зміною початкової щільності, а 8,4 % змін пов'язано з іншими факторами. Встановлено, що при зміні значень початкової щільності субстрату в межах від 161 до 643 кг/м<sup>3</sup> значення модуля пружності субстрату відповідно зростають в межах від 9 до 420 кПа [188].

За результатами проведених експериментальних досліджень будували узагальнений графік залежності модуля пружності від початкової щільності субстрату для вертикальної та горизонтальної ущільнювальних камер (рис. П.31), так як вони характеризують одну і ту ж залежність, а тому їх доцільно поєднати. Апроксимація експериментальних даних дозволила отримати емпіричну залежність модуля пружності субстрату від щільності для вертикальної та горизонтальної ущільнювальних камер у вигляді експоненціального рівняння:

$$E_c = 9,54 \exp(0,006\gamma_0), \quad (\text{П.106})$$

яка має індекс детермінації з експериментальними даними 0,77.

За результатами проведеного кореляційного та регресійного аналізів отриманих значень встановлено, що збільшення початкової щільності субстрату на 1 кг/м<sup>3</sup> відповідає збільшенню значення модуля пружності на 0,62 кПа. Зміна модуля пружності на 75,9 % обумовлена зміною початкової щільності, а 24,1 % змін пов'язано з іншими факторами. Встановлено, що в межах зміни початкової щільності від 93 до 643 кг/м<sup>3</sup>, модуль пружності пастеризованого субстрату на основі вологої соломи має експоненційну залежність від його початкової щільності і змінюється в межах від 8 до 420 кПа.

Таким чином, встановлені фізико-механічні властивості пастеризованого субстрату на основі вологої соломи, які впливають на процес його ущільнення.

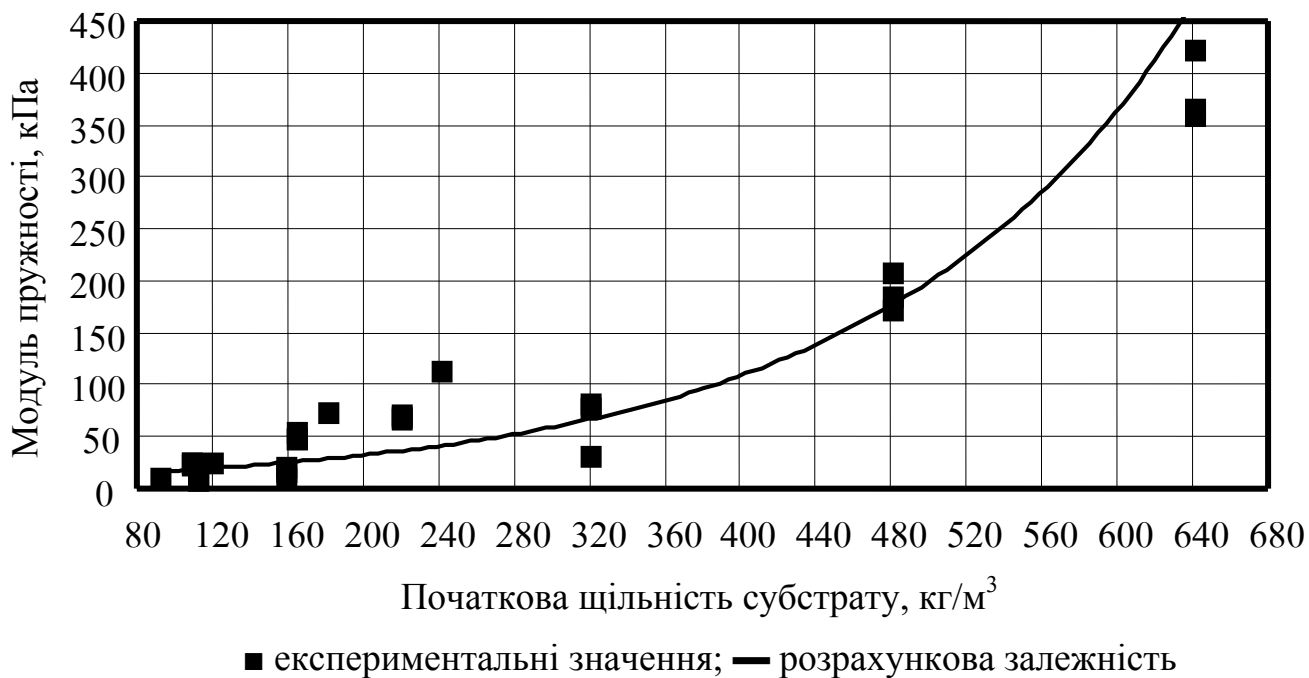


Рис. П.31 – Залежність модуля пружності від щільності субстрату для горизонтальної та вертикальної ущільнювальних камер

#### 4.4. Методика експериментальних досліджень поршневого ущільнювача субстрату

Визначення залежності якісних і енергетичних показників роботи поршневого ущільнювача субстрату від режимів роботи та конструкційних параметрів проводилися з використанням методу математичної теорії планування експерименту, яка дозволяє зменшити кількість дослідів, час на їх проведення і затрати матеріально-технічних засобів без шкоди для якості інформації. Основним завданням планування експерименту в даному випадку є отримання статистичної математичної моделі залежності якісних і експлуатаційних показників роботи об'єкту дослідження від режимів роботи та його конструкційних параметрів у вигляді поліному (рівняння регресії).

Для встановлення основних факторів і їх границь проведено попереднє вивчення об'єкта дослідження, яке показало, що факторами які впливають на

якісні і енергетичні показники роботи поршневого ущільнювача субстрату є діаметр поршня та конструкційні параметри ущільнювальної камери, час проходження процесу ущільнення, величина деформації (хід поршня) ущільнюваного матеріалу, вид та стан ущільнюваного матеріалу (вологість, щільність, механічний склад та ін.).

Але при дослідженнях по різних причинах ми не можемо проконтролювати всі перераховані фактори. Тому метою експерименту є визначення факторів, які суттєво впливають на проходження процесу і рівні їх варіювання.

Результати пошукового експерименту і теоретичних досліджень показали, що основними факторами які впливають на показники роботи ущільнювача поршневого типу є максимальна сила протидії руху мішка з субстратом, час утримання субстрату під тиском та маса порції завантаженого субстрату.

Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів при випробуванні ущільнювача наведено в табл. П.2.

Таблиця П.2 – Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів при випробуванні ущільнювача

№ п/п	Найменування фактора та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
		-1	0	+1	
1	Максимальна сила протидії руху мішка з субстратом, Н	0	50	100	50
2	Час утримання матеріалу, с	0	10	20	10
3	Маса порції завантаженого матеріалу, кг	10	15	20	5

Для проведення оптимізації конструкційно-режимних параметрів роботи ущільнювача з використанням прижимного пристрою для утримання мішків необхідно визначити значення показників якості виконання технологічного процесу та питомої енергоємності процесу ущільнення. Результати пошукового експерименту і теоретичних досліджень показали, що основними факторами які впливають на показники роботи ущільнювача з використанням прижимного

пристрою для утримання мішків є: ширина та мінімальний діаметр прижимного ролика, прикладене зусилля на важелі прижимного пристрою.

Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів при випробуванні важільно-амортизаційного прижимного пристрою ущільнювача наведено в табл. П.3.

Методикою проведення досліджень процесу виготовлення ущільнених мішків субстрату передбачалося визначення основних технологічних параметрів як ущільнюваного матеріалу, так і виготовленої в процесі роботи продукції.

Основні фізико-геометричні властивості субстрату та ущільнених мішків визначали за загальновідомими методиками [198, 203].

Таблиця П.3 – Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів при випробуванні важільно-амортизаційного прижимного пристрою ущільнювача

№ п/п	Найменування фактора та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
		-1	0	+1	
1	Ширина прижимного ролика, мм	60	90	120	30
2	Мінімальний діаметр прижимного ролика, мм	29	42	55	13
3	Прикладене зусилля на важелі, Н	5	15	25	10

Процес виготовлення ущільнених та запакованих мішків субстрату експериментальним зразком ущільнювача проходив наступним чином: спочатку підготовлений належним чином субстрат (попередньо зволожений та засіяний зерновим міцелієм) відважували порціями по 10, 15 та 20 кг, та завантажували до завантажувального бункера 1 ущільнювача.

В кожному експерименті з ущільнених мішків з субстратом, отриманих при встановленому режимі роботи машини, відбирали мішки та вимірювали їх лінійні розміри та масу (рис. П.32).

Ущільнений та запакований мішок з субстратом при виході його з ущільнювача встановлювали у вертикальне положення і в 3-х перерізах за допомогою вимірювальної стрічки визначали діаметр та висоту. З 3-х отриманих значень, визначали середнє значення. На терезах РП-100 визначали масу мішка.



а)



б)

Рис. П.32 – Визначення маси (а) та габаритних розмірів (б) ущільнених та запакованих мішків з субстратом

Щільність виготовленого мішка з субстратом визначали за загальновідомою формулою:

$$\gamma = \frac{4M_B}{\pi d^2 h}, \quad (\text{П.107})$$

де  $M_B$  – маса ущільненого та запакованого мішка з субстратом, кг;

$d, h$  – середні значення діаметра та висоти ущільненого та запакованого мішка з субстратом, м.

При проведенні досліджень виникає потреба в реєстрації вимірювальних величин, які мали місце при роботі експериментальної установки ущільнювача субстрату. Для цього було застосовано спеціальні прилади, які були розміщені на

стенді та під'єднані до ущільнювача за допомогою електричних кабелів (рис. П.33, П.34).



а)



б)

Рис. П.33 – Загальний вигляд вимірювального приладу (а) та процес фіксації показів приладу (б)

Визначення потужності, необхідної для роботи експериментальної установки ущільнювача субстрату (приводу масляного насоса гідравлічної станції), відбувалось за допомогою ватметра самопишучого щитового Н 395 [204], який відповідає вимогам ТУ 25-04-3149-79 та двох трансформаторів струму И 54 М ГОСТ 23624-79. За результатами попередніх досліджень відома тривалість одного циклу роботи ущільнювача, відповідно до чого встановлювали швидкість руху діаграмного паперу на рівні 5400 мм/год.

Для проведення хронометражних спостережень за процесом ущільнення та пакування субстрату експериментальним ущільнювачем відмічався час проходження кожного етапу процесу. Відлік часу виконували за допомогою секундоміра механічного, з балансовим осцилятором, однострілкового, перервної простої дії типу СОП пр-2а-3-000 “Агат” 4282 ГОСТ 5072-79, призначеного для виміру інтервалів часу методом вмикання його на початку та вимикання по

закінченню процесу, відмічаючи таким чином час проходження кожного етапу процесу виготовлення ущільнених та запакованих мішків субстрату.

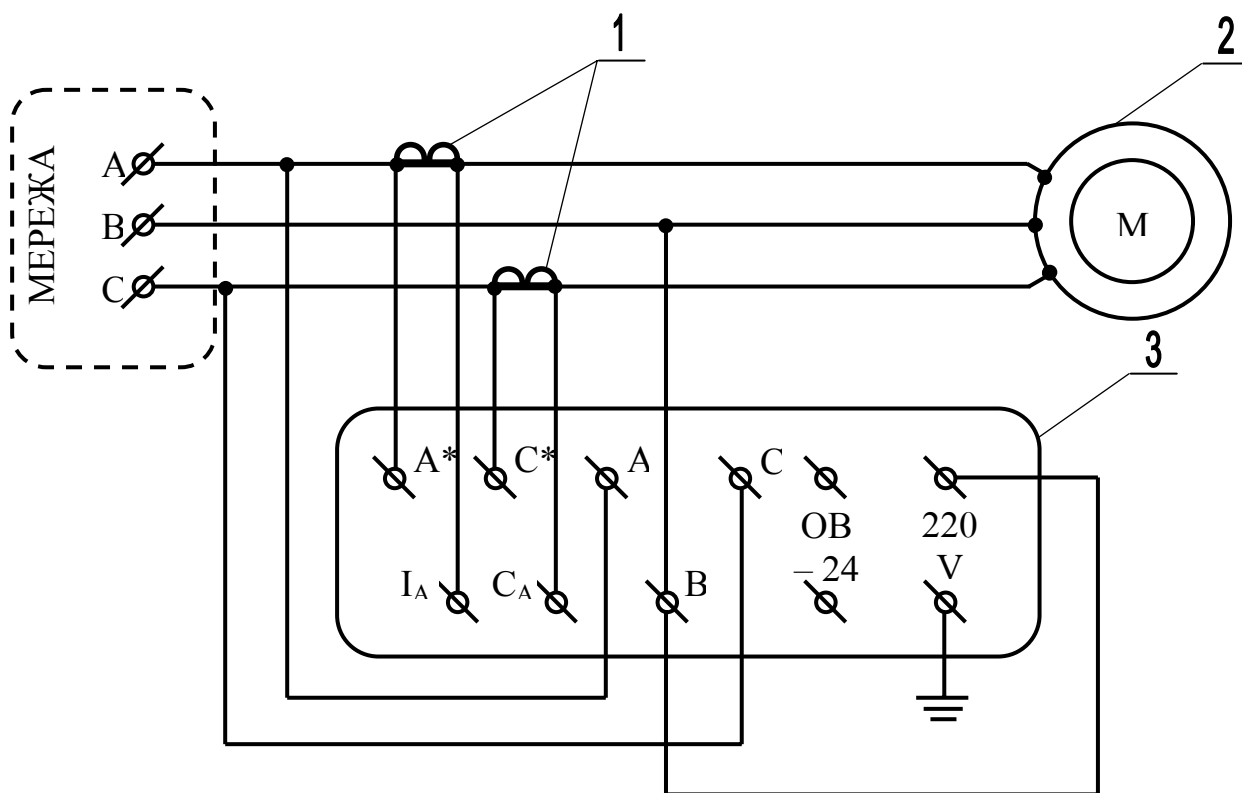


Рис. П.34 – Схема принципова вимірювального приладу:  
 1 – трансформатори струму И 54 М; 2 – електродвигун гідростанції А 02-32-4М100; 3 – клемна колодка ватметра самопишучого щитового Н 395

Значення величини модуля пружності субстрату в кінцевому положенні поршня для вертикальної та горизонтальної ущільнювальних камер розраховували за формулою (П.62).

Значення тиску, з яким поршень машини діє на субстрат розраховували за загальновідомою формулою:

$$p_0 = \frac{H_H S_{ПГЦ}}{A_B}, \quad (\text{П.108})$$

де  $p_0$  – значення тиску, з яким поршень машини діє на субстрат, Па;

$H_H$  – значення тиску масла в гідросистемі машини, який забезпечує гідронасос, Па; [205];

$S_{ггц}$  – площа поршня гідроциліндра, м<sup>2</sup>; [206];

$A_B$  – площа поршня вертикальної ущільнювальної камери машини, м<sup>2</sup>.

Значення тиску масла в гідросистемі машини, який забезпечує гідронасос, розраховували за формулою:

$$H_H = \frac{P_{MAX} \eta}{Q}, \quad (II.109)$$

де  $P_{MAX}$  – максимальне значення потужності, затраченої на виконання процесу ущільнення субстрату, Вт;

$\eta$  – ККД гідронасоса;

$Q$  – продуктивність гідронасоса, м<sup>3</sup>/с; [205].

Так як потужність, затрачена на виконання процесу ущільнення субстрату складається із потужності затраченої на холосте переміщення робочих органів та потужності затраченої на стискання субстрату, тоді значення  $P_{MAX}$  знаходимо за формулою:

$$P_{MAX} = P_{MAX i} - P_{XX}, \quad (II.110)$$

де  $P_{MAX i}$  – значення потужності, затраченої на виконання процесу ущільнення  $i$ -тої порції субстрату, кВт;

$P_{XX}$  – значення потужності, затраченої на холосте переміщення робочих органів (поршнів ущільнювальних камер) ущільнювача, кВт.

Кількість енергії, витраченої на процес ущільнення, визначали за допомогою ватметра самопишучого та послідуною обробкою діаграмної стрічки.

Отримана в результаті проведення експериментів діаграма (рис. П.35) має лінію 1 відмітку нульового значення стрілки приладу та тривалістю циклу ущільнення  $T_{ц}$  і криву 2 значення зміни потужності електродвигуна  $P$ , затраченої на виконання процесу ущільнення субстрату. Графічне зображення зміни споживаної потужності електродвигуна гідростанції отримано в функції тривалості циклу ущільнення.

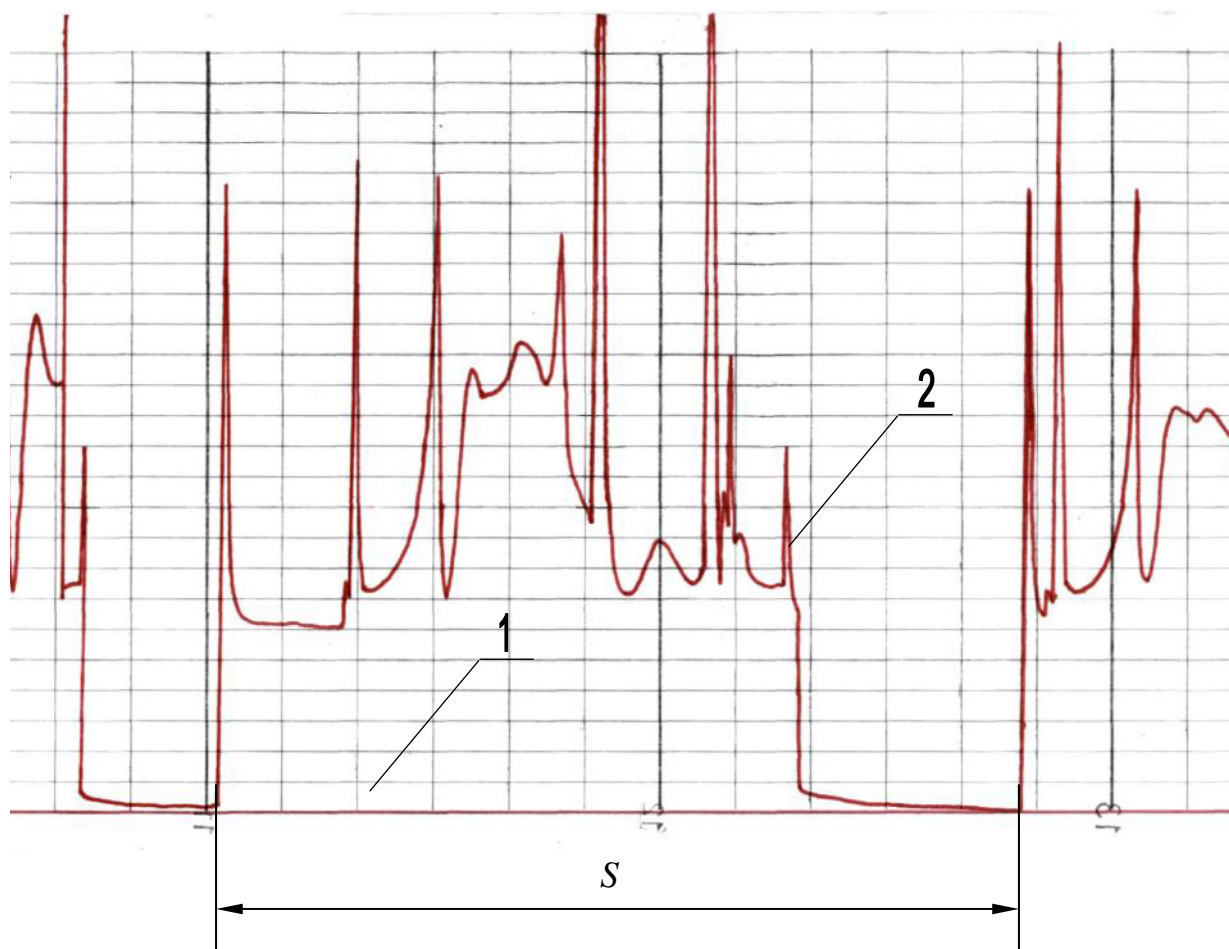


Рис. П.35 – Циклограма зміни потужності двигуна гідростанції під час ущільнення субстрату: 1 – лінія відмітки нульового значення стрілки приладу; 2 – крива зміни потужності електродвигуна гідростанції

Діаграму потужності обробляли методом ординат з використанням наступної формули перерахування:

$$N = \frac{N_{ГР} k_{СЕР} \Pi_{ТР}}{\text{Ш}_{СТР}}, \quad (\text{II.111})$$

де  $N_{ГР}$  – граничне значення шкали потужності самописця, кВт;

$k_{СЕР}$  – середні значення ординати, мм;

$\Pi_{ТР}$  – коефіцієнт трансформації пристрою, відн. од.;

$\text{Ш}_{СТР}$  – ширина стрічки діаграми, мм.

Середні значення ординати визначали за формулою:

$$k_{СЕР} = \frac{\sum k_i}{\sum p_i}, \quad (\text{II.112})$$

де  $\sum k_i$  – сума значень ординати, мм;

$\sum p_i$  – сума вимірів ординати на ділянці шляху  $S$ .

Питому енергоємність процесу ущільнення визначали за залежністю (II.111) з урахуванням величини подачі субстрату та розрахункового значення потужності (II.112).

Тривалість циклу ущільнення субстрату на ділянці діаграмного паперу визначалася за формулою:

$$T_{ц} = \frac{S}{V_1}, \quad (\text{II.113})$$

де  $S$  – довжина контрольної ділянки, відміченої на діаграмному папері, м;

$V_1$  – швидкість руху діаграмного паперу в записуючому пристрої, м/с.

Швидкість руху діаграмного паперу в записуючому пристрої була постійною і рівнялася 0,0015 м/с.

Вирішення поставленої задачі здійснювали на експериментальному зразку ущільнювача, принцип роботи якого описаний вище. Масляний насос НШ-10, який отримував крутний момент від трьохфазного короткозамкнутого асинхронного двигуна А 02-32-4М100 [207] ГОСТ 19523-74, через систему трубопроводів високого стиску забезпечував подачу гідрорідини до гідравлічних циліндрів ущільнювальних камер (рис. II.36).

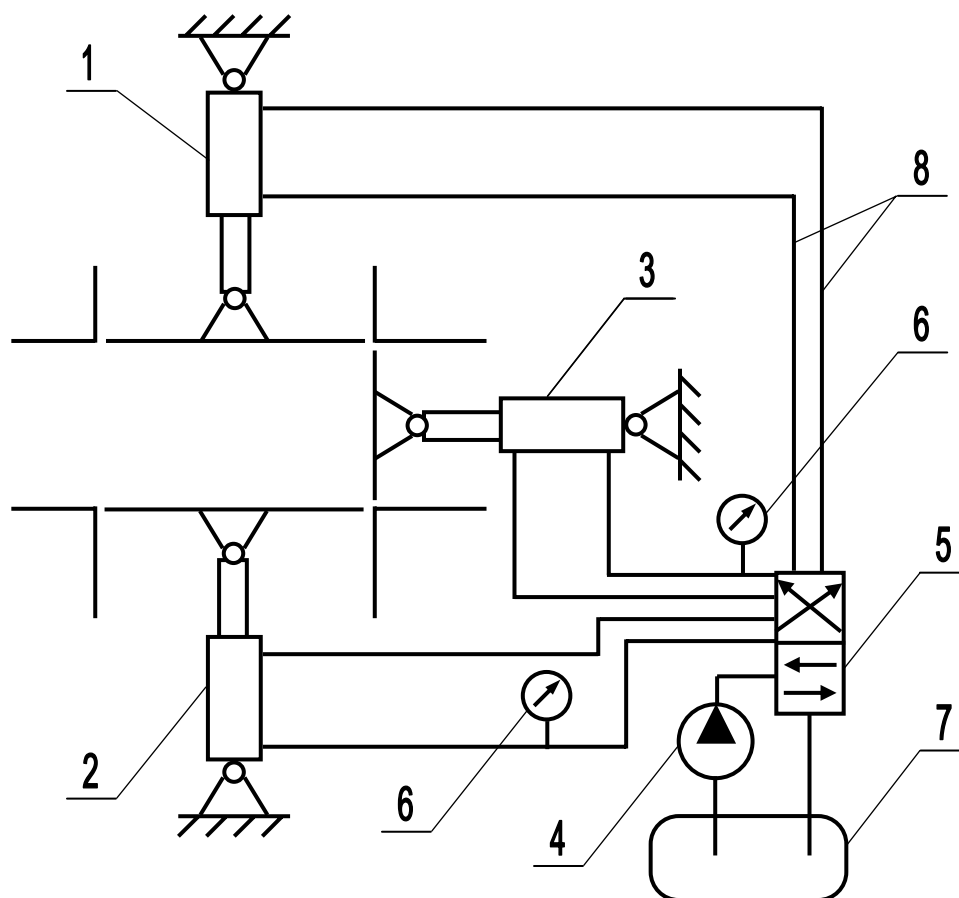


Рис. II.36 – Схема виміру тиску мастила в гідросистемі ущільнювача: 1 – гідроциліндр клапана завантажувального бункера; 2 – гідроциліндр підпресовуючого поршня; 3 – гідроциліндр додаткового поршня; 4 – масляний насос НШ-10; 5 – гідророзподільник Р 80; 6 – манометр МТПСд-100-ОМ2; 7 – бак для гідрорідини; 8 – трубопроводи

Керування роботою гідравлічних циліндрів ущільнювача здійснювалось за допомогою гідророзподільника Р 80. Контроль тиску гідравлічної рідини в гідравлічній системі ущільнювача проводили за допомогою манометра

МТПСд-100-ОМ2 ГОСТ 12733-74. Загальна потужність холостої роботи ущільнювача визначалась без подачі субстрату до ущільнювальних камер.

Результати вимірювання тиску, потужності та витрат енергії протягом циклу ущільнення усереднювалися і шляхом визначення індексу детермінації порівнювалися з теоретичними розрахунками.

#### **4.5. Визначення споживаної потужності електродвигуна гідростанції ущільнювача протягом циклу ущільнення субстрату**

За результатами проведених досліджень отримано циклограму роботи гідравлічної станції ущільнювача з вимиканням (рис. П.37) та без вимикання електродвигуна під час холостого ходу (рис. П.38). Відповідно до технологічних вимог процесу виготовлення ущільнених та запакованих мішків з субстратом були зафіксовані такі робочі цикли ущільнювача: I – завантаження субстрату до вертикальної ущільнювальної камери; II – закриття клапана завантажувальної горловини; III – ущільнення субстрату в вертикальній ущільнювальній камері; IV – ущільнення субстрату в горизонтальній ущільнювальній камері з одночасним пакуванням у мішок; V – повернення поршня горизонтальної ущільнювальної камери в попереднє положення; VI – повернення поршня вертикальної ущільнювальної камери в попереднє положення; VII – відкриття клапана завантажувальної горловини; VIII – холоста робота електродвигуна (одягання та зав'язування мішка).

При роботі з вимкненням електродвигуна гідравлічної станції ущільнювача під час холостого ходу, зміна потужності може бути описана наступним рівнянням:

$$y=0,001x^4 - 0,13x^3 + 4,5171x^2 - 10,825x + 647,02, \quad (\text{П.114})$$

при цьому величина достовірності апроксимації складає  $R^2=0,51$ .

При роботі без вимикання електродвигуна гідравлічної станції ущільнювача під час холостого ходу, зміна потужності може бути описана наступним рівнянням:

$$y=0,0014x^4 - 0,1677x^3 + 5,3917x^2 - 19,699x + 653,19, \quad (\text{II.115})$$

при цьому величина достовірності апроксимації складає  $R^2=0,38$ .

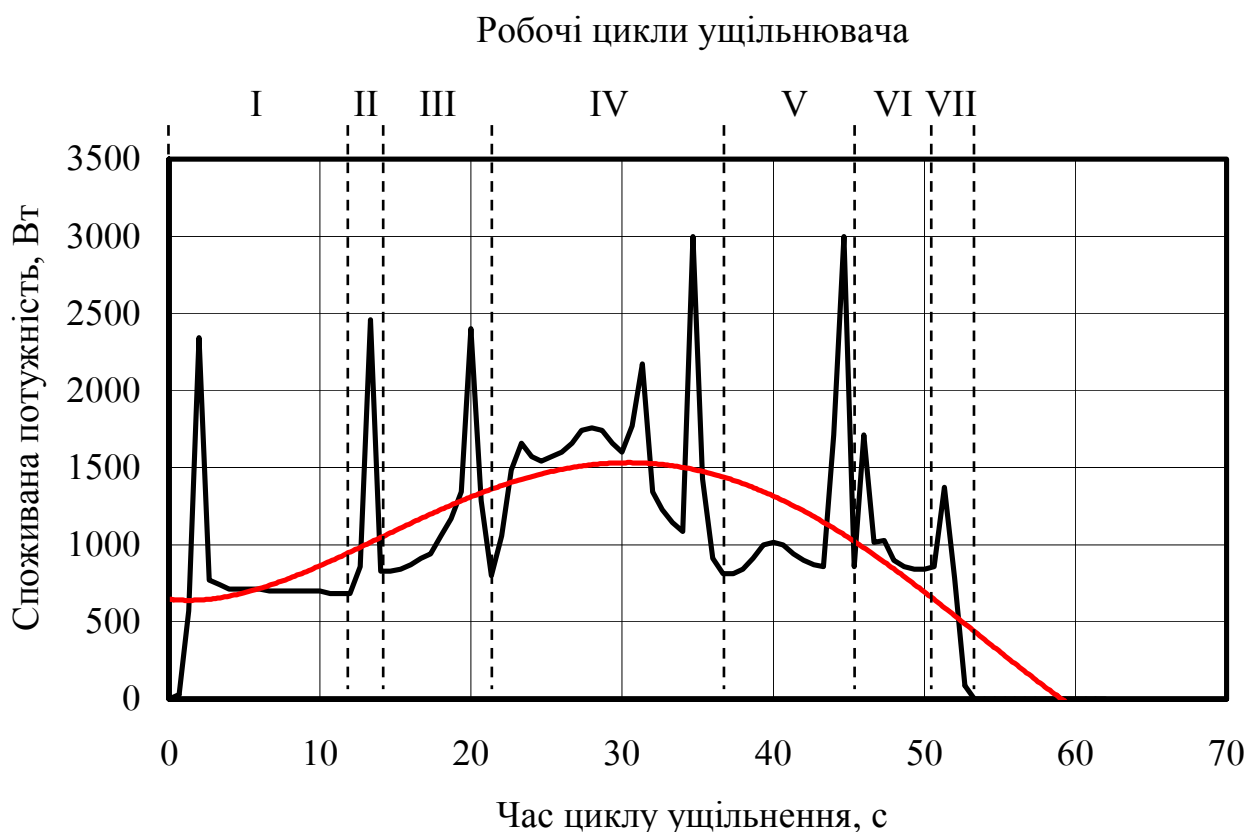


Рис. II.37 – Споживана потужність електродвигуна гідростанції з вимиканням під час холостого ходу

Середнє значення споживаної потужності, затраченої на виконання одного циклу процесу ущільнення субстрату з періодичним вимиканням електродвигуна гідравлічної станції ущільнювача становило 961,5 Вт. Середнє значення споживаної потужності, затраченої на виконання одного циклу ущільнення та пакування субстрату без вимикання електродвигуна гідростанції під час

холостого ходу становило 1098,4 Вт, що на 12,5 % більше, в порівнянні до варіанту роботи з вимикання електродвигуна гідроелектростанції під час холостого ходу.

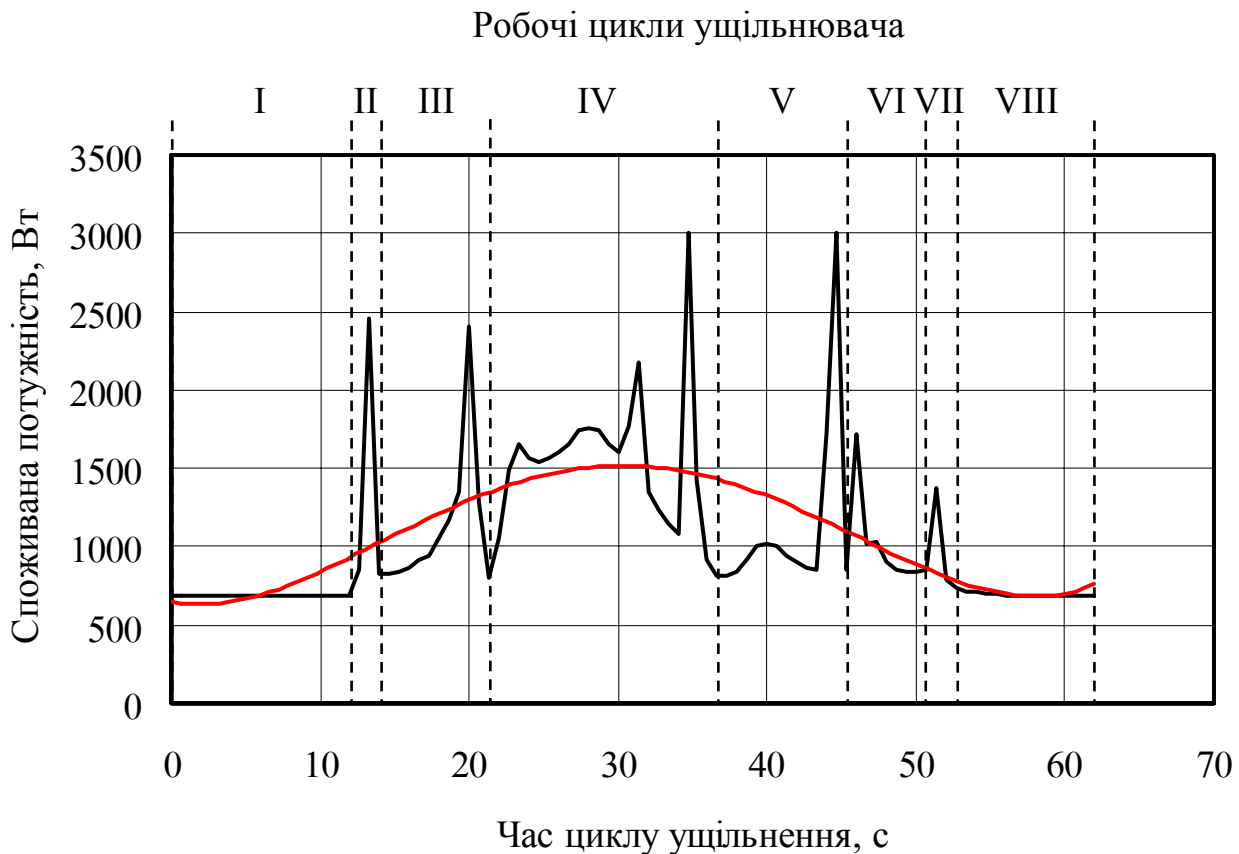


Рис. П.38 – Споживана потужність електродвигуна гідроелектростанції без вимикання під час холостого ходу

#### 4.6. Визначення продуктивності поршневого ущільнювача субстрату

Для встановлення взаємозв'язку впливу максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$  (Н), часу утримання матеріалу під тиском  $t$  (с) та маси порції завантаженого субстрату  $M_{П}$  (кг) на продуктивність ущільнювача  $M_C$  (т/год.), споживану потужність електродвигуна гідроелектростанції  $P$  (кВт), питому енергомісткість процесу ущільнення та пакування субстрату  $A$  (кВт год./т), кінцеву щільність субстрату  $\gamma_K$  (кг/м<sup>3</sup>), питому енергомісткість процесу ущільнення та пакування субстрату з урахуванням показника якості роботи  $E$  (кВт год./т) та питому енергомісткість процесу ущільнення та пакування

субстрату з урахуванням діапазону щільності  $E_D$  (кВт год./т) у виробничих умовах було проведено експерименти за планом Бокса-Бенкіна.

При цьому постійними були такі конструкційно-технологічні параметри ущільнювача: продуктивність масляного насоса гідростанції  $Q=0,00037$  м<sup>3</sup>/с, внутрішній діаметр горизонтальної камери основного ущільнення  $D_{KO}=0,257$  м, об'єм порції субстрату на поршні камери попереднього ущільнення  $V_{II}=0,006$  м<sup>3</sup> [208, 209].

За результатами багатофакторних експериментів були отримані математичні моделі – рівняння регресії у вигляді поліномів другого порядку.

Аналіз отриманих залежностей (рис. П.39) показує, що максимальна сила протидії руху мішка з субстратом  $F_{II}$  на продуктивність ущільнювача  $M_C$  практично не впливає (рис. П.40, а) [210].

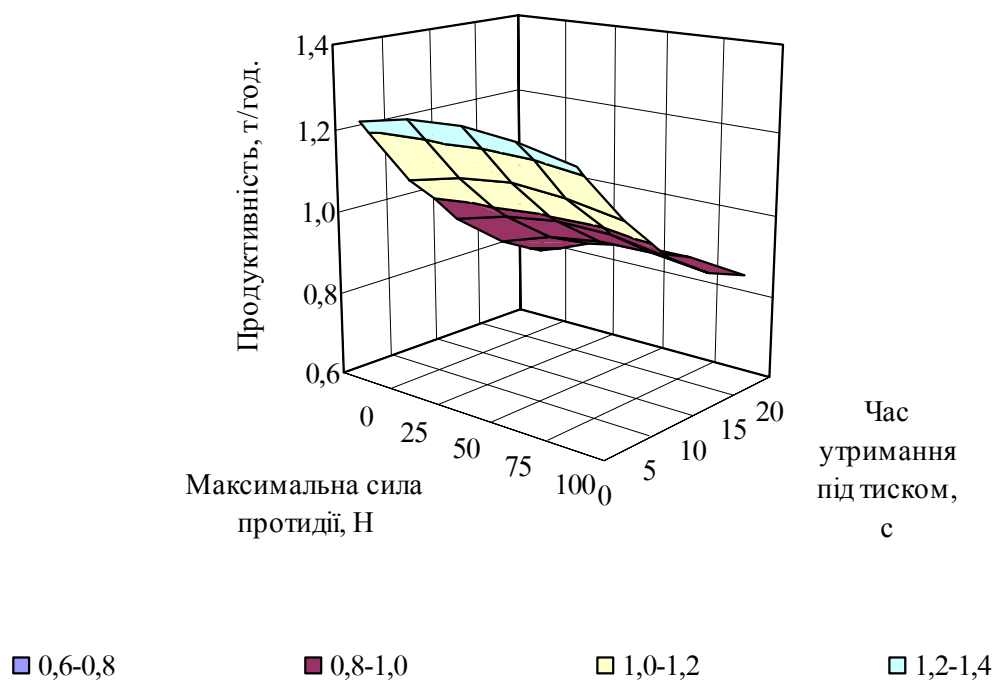


Рис. П.39 – Залежність продуктивності ущільнювача від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом та часу утримання матеріалу під тиском

Встановлено зменшення продуктивності поршневого ущільнювача  $M_C$  при збільшенні часу утримання матеріалу під тиском  $t$ , що пояснюється збільшенням тривалості циклу ущільнення та пакування субстрату (рис. П.40, б). Зокрема, при

утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с продуктивність ущільнювача зменшується на 33,2 %, у порівнянні з варіантом без утримання матеріалу під тиском. Максимальну продуктивність ущільнювач має у варіанті роботи без утримання субстрату під тиском та становить 1,228; 1,263 та 1,22 т/год. для відповідних значень максимальної сили протидії руху мішка з субстратом 0; 50 та 100 Н.

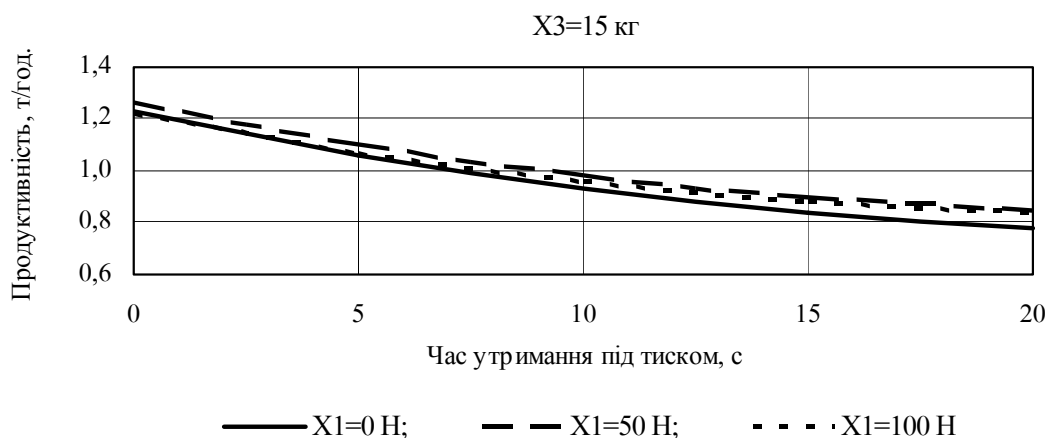
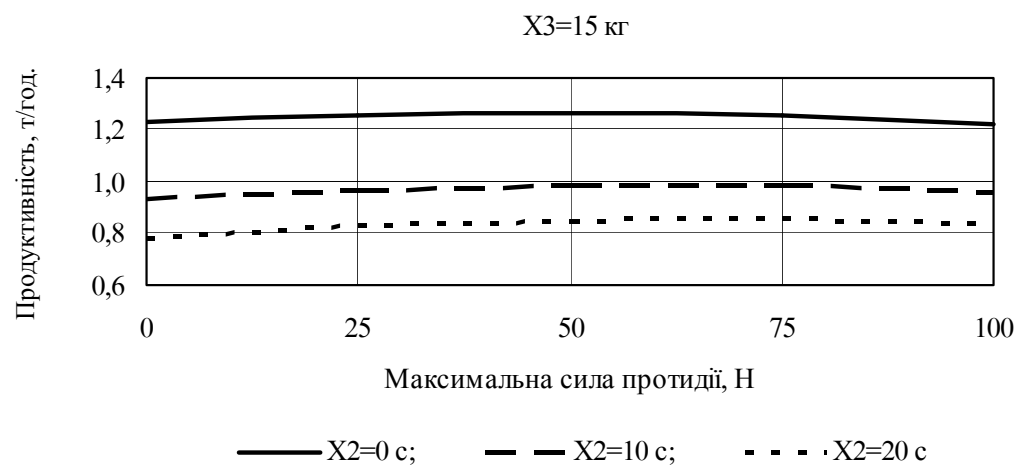


Рис. П.40 – Залежності продуктивності поршневого ущільнювача від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом (а) та часу утримання матеріалу під тиском (б)

Аналіз залежностей (рис. П.41) показує, що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  від 10 до 20 кг продуктивність ущільнювача  $M_C$  збільшується на 44,6 %. Максимальну продуктивність ущільнювач має при масі завантаженої порції 20 кг та дорівнює 1,11; 1,193 та 1,199 т/год. для відповідних значень максимальної сили протидії руху мішка з субстратом 0; 50 та 100 Н (рис. П.42).

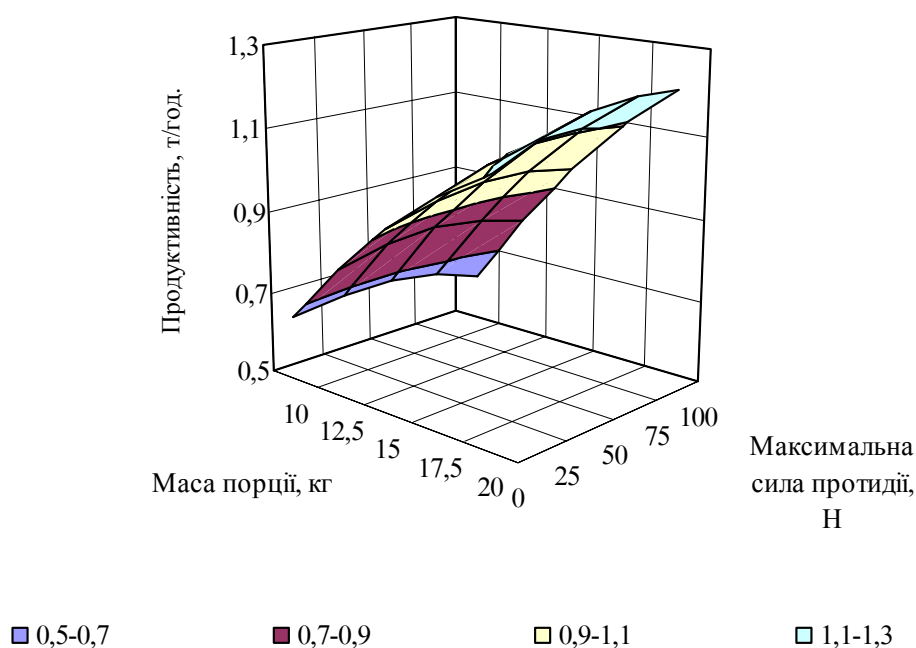


Рис. П.41 – Залежність продуктивності поршневого ущільнювача від маси порції завантаженого субстрату та максимальної сили протидії руху мішка з субстратом

При збільшенні часу утримання матеріалу під тиском  $t$  (рис. П.43), продуктивність ущільнювача  $M_C$  зменшується, що пояснюється збільшенням тривалості циклу ущільнення та пакування субстрату. Максимальну продуктивність ущільнювач має у варіанті без утримання субстрату під тиском та становить 0,898; 1,263 та 1,526 т/год. для відповідних значень маси порції завантаженого субстрату 10; 15 та 20 кг (рис. П.43).

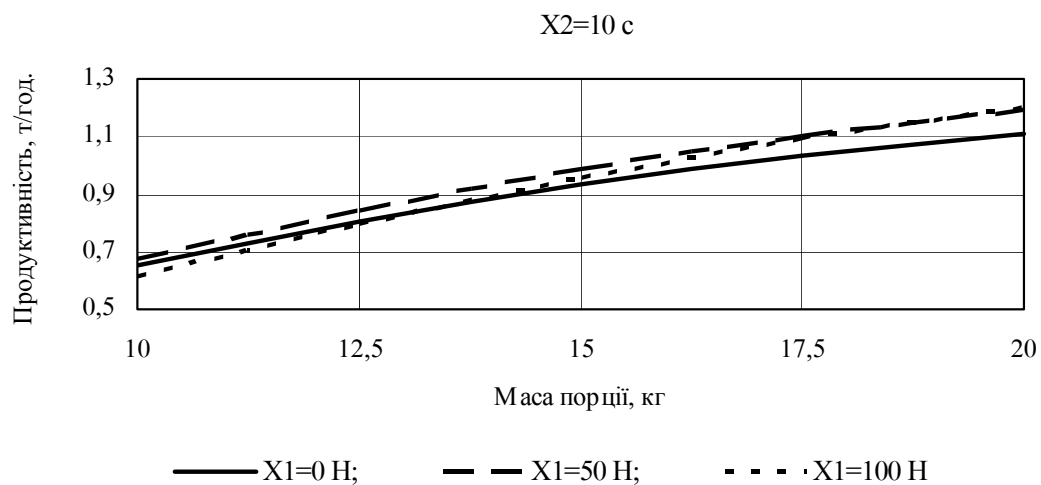


Рис. П.42 – Залежність продуктивності ущільнювача від маси порції завантаженого субстрату

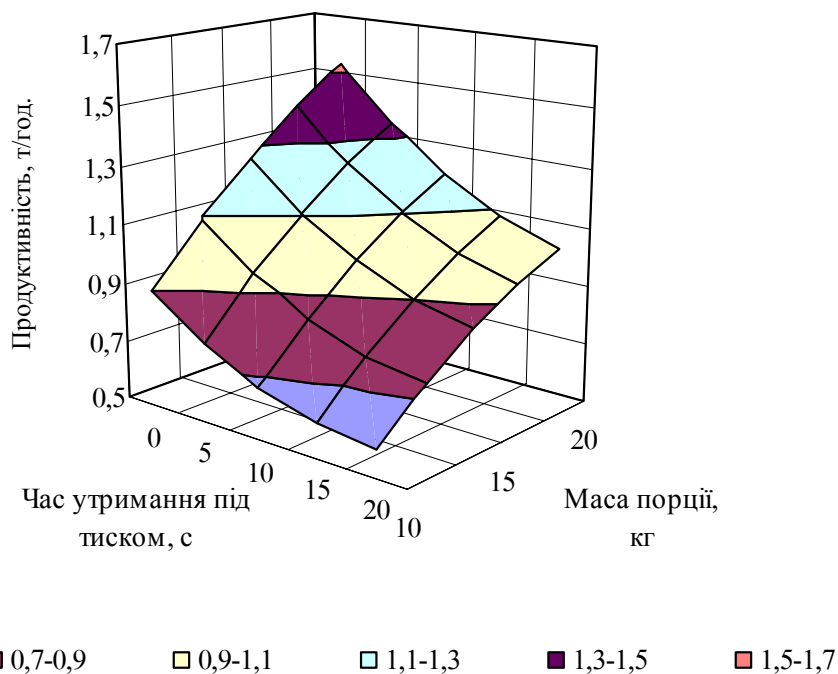


Рис. П.43 – Залежність продуктивності ущільнювача від часу утримання матеріалу під тиском та маси порції завантаженого субстрату

Рівняння регресії залежності продуктивності роботи ущільнювача  $M_C$  від зміни максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}(x_1)$ , часу

утримання матеріалу під тиском  $t$  ( $x_2$ ) та маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  ( $x_3$ ) за результатами проведеного ПФЕ  $3^3$  в закодованих величинах має вигляд:

$$M_C = 0,984 + 0,0127x_1 - 0,2063x_2 + 0,26x_3 - 0,0389x_1^2 + 0,0723x_2^2 - 0,0509x_3^2 + 0,0166x_1x_2 + 0,0323x_1x_3 - 0,0544x_2x_3. \quad (\text{II.116})$$

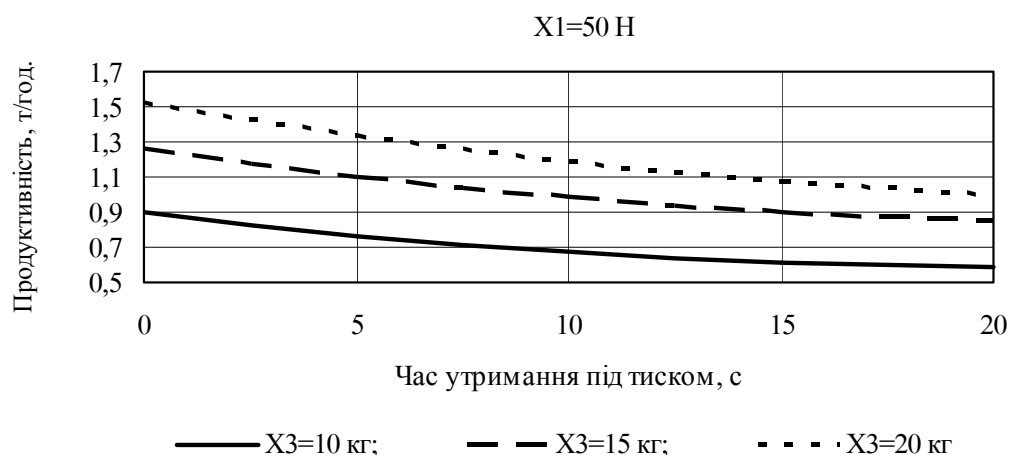


Рис. II.44 – Залежність продуктивності ущільнювача від часу утримання матеріалу під тиском

У розкодованому вигляді рівняння регресії (II.116) має вигляд:

$$M_C = -0,0767 - 0,0005F_{II} - 0,0204t + 0,1175M_{II} + 0,0007t^2 - 0,002M_{II}^2 + 0,0001F_{II}M_{II} - 0,0011tM_{II}. \quad (\text{II.117})$$

Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на однорідність дисперсій за критерієм Кохрена. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Визначення значущості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стюдента. Гіпотеза про адекватність рівняння підтверджується і його можна використовувати для опису процесу.

На основі експериментальних досліджень було встановлено, що продуктивність ущільнювача змінюється від 0,594 до 1,526 т/год. Із-за

збільшенням часу утримання матеріалу під тиском від 0 до 20 с спостерігається зменшення продуктивності ущільнювача на 33,2 %, в той же час зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату від 10 до 20 кг відбувається збільшення продуктивності ущільнювача на 44,6 %.

#### 4.7. Вплив досліджуваних факторів на споживану потужність електродвигуна гідростанції ущільнювача

Аналіз залежностей (рис. П.45) показує, що максимальна сила протидії руху мішка з субстратом  $F_{ДР}$  в незначній мірі впливає на споживану потужність електродвигуна гідростанції  $P$ .

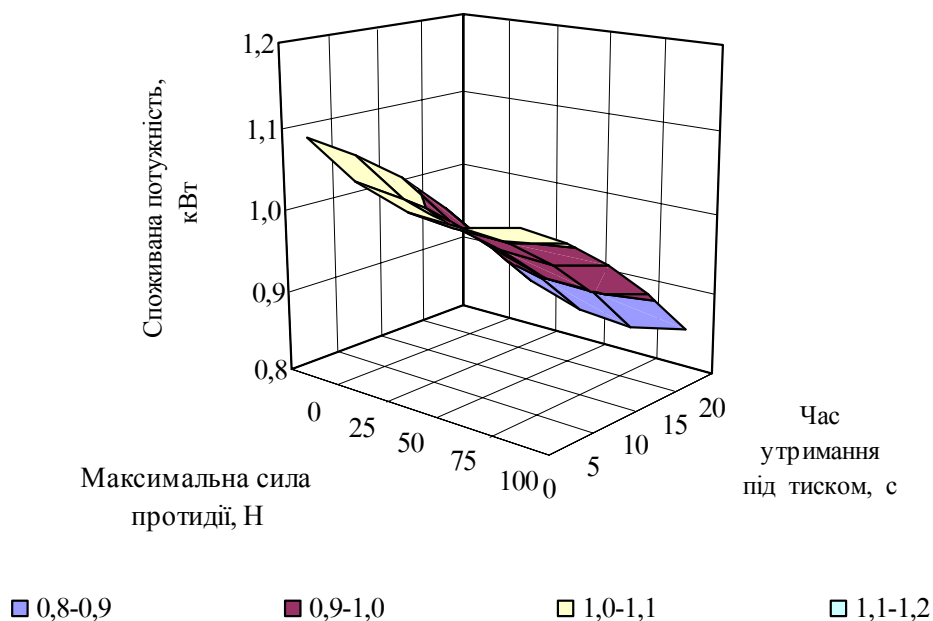


Рис. П.45 – Залежність споживаної потужності електродвигуна гідростанції ущільнювача від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом та часу утримання матеріалу під тиском

Так, наприклад, при зміні максимальної сили протидії руху мішка з субстратом від 0 до 100 Н споживана потужність електродвигуна гідростанції без утримання субстрату під тиском становила  $1061 \pm 33$  Вт, при часі утримання під тиском протягом 10 с –  $984 \pm 33$  Вт, а при часі утримання субстрату під тиском

протягом 20 с –  $867 \pm 33$  Вт (рис. П.46), що пояснюється незначним впливом сили протидії руху мішка порівняно із силою тертя субстрату по внутрішній поверхні камери ущільнення [133].

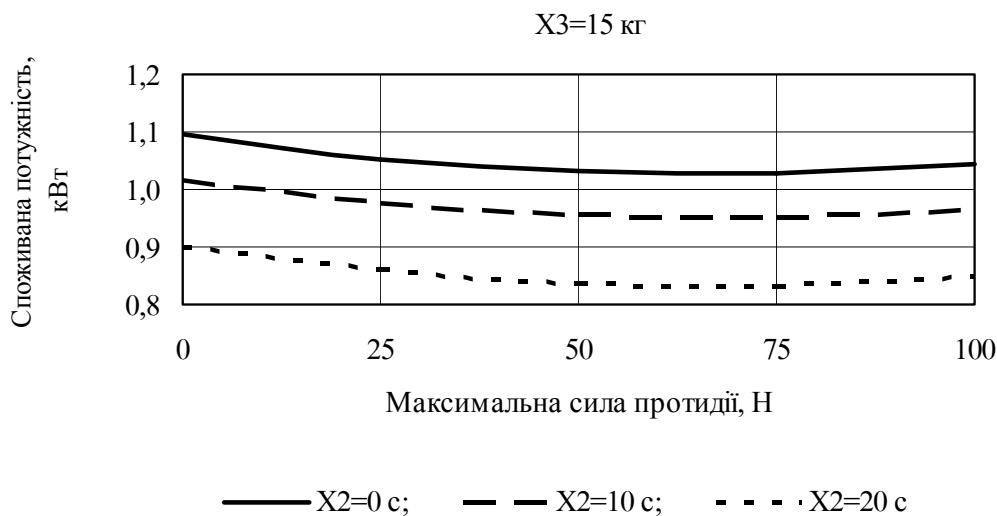


Рис. П.46 – Залежність споживаної потужності електродвигуна гідростанції від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом

Було встановлено (рис. П.47) зменшення споживаної потужності електродвигуна гідростанції  $P$  в залежності від збільшення часу утримання матеріалу під тиском  $t$ , що пояснюється зменшенням внутрішніх напружень в субстраті при збільшенні часу утримання його під тиском та відповідним зменшенням сили тертя субстрату по внутрішній поверхні камери ущільнення. Зокрема, при утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с потужність електродвигуна зменшується на 18,5 %, в порівнянні до варіанту роботи без утримання субстрату під тиском. Мінімальну споживану потужність двигун має при часі утримання субстрату під тиском протягом 20 с та становить 0,9; 0,837 та 0,848 кВт для відповідних значень максимальної сили протидії руху мішка з субстратом 0; 50 та 100 Н.

Аналіз залежностей (рис. П.48) показує, що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  від 10 до 20 кг споживана потужність

електродвигуна  $P$  збільшується на 30,9 %, що пояснюється збільшенням витрат енергії на ущільнення та переміщення маси субстрату вздовж камер ущільнення.

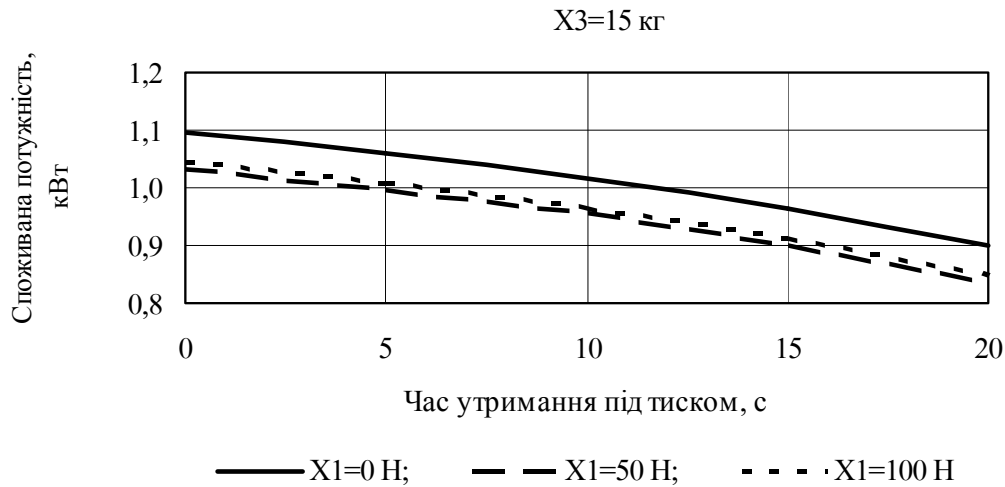


Рис. II.47 – Залежність споживаної потужності електродвигуна гідростанції від часу утримання матеріалу під тиском

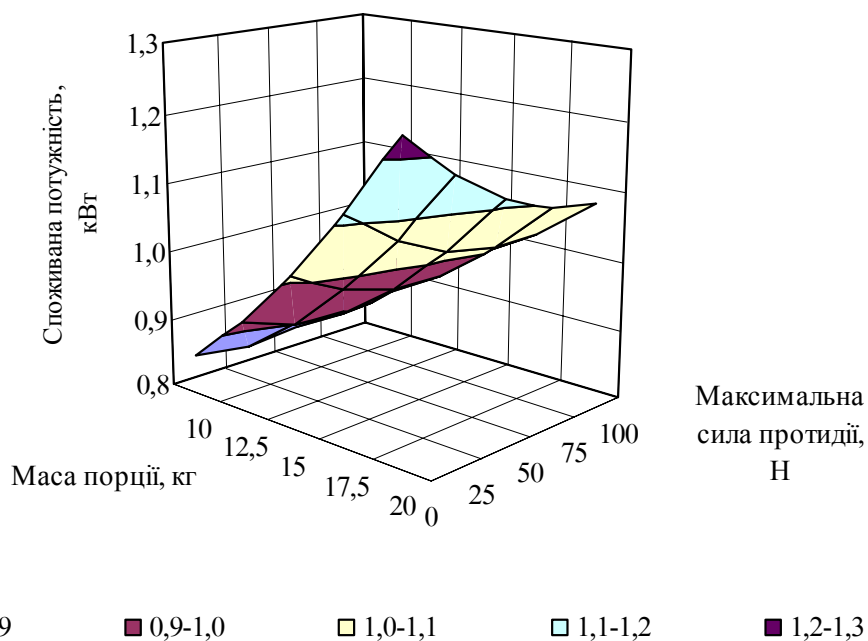


Рис. II.48 – Залежність споживаної потужності електродвигуна гідростанції ущільнювача від маси порції завантаженого субстрату та максимальної сили протидії руху мішка з субстратом

Мінімальну споживану потужність ущільнювач має при масі завантаженої порції 10 кг та дорівнює 0,858; 0,85 та 0,915 кВт для відповідних значень максимальної сили протидії руху мішка з субстратом 0; 50 та 100 Н (рис. П.49).

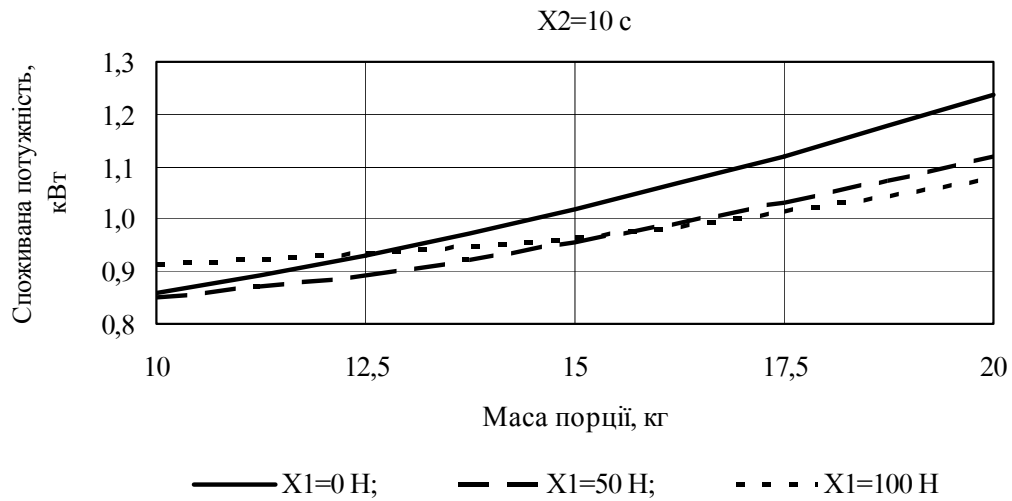


Рис. П.49 – Залежність споживаної потужності електродвигуна гідростанції ущільнювача від маси порції завантаженого субстрату

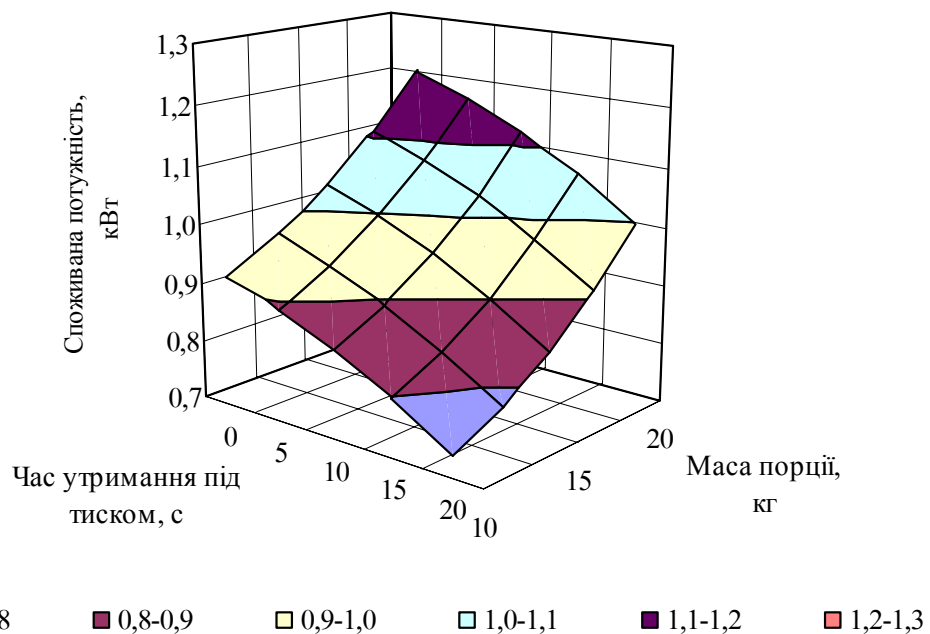


Рис. П.50 – Залежність споживаної потужності електродвигуна гідростанції ущільнювача від часу утримання матеріалу під тиском та маси порції завантаженого субстрату

Взаємний вплив часу утримання матеріалу під тиском  $t$  та маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  споживаної потужності електродвигуна гідростанції  $P$  приведено на рис. П.50. Було встановлено, що при утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с споживана потужність електродвигуна гідростанції зменшується на 18,5 % порівняно до варіанту без утримання під тиском та становить 0,737; 0,837 та 0,998 кВт для відповідних значень маси порції завантаженого субстрату 10; 15 та 20 кг (рис. П.51).

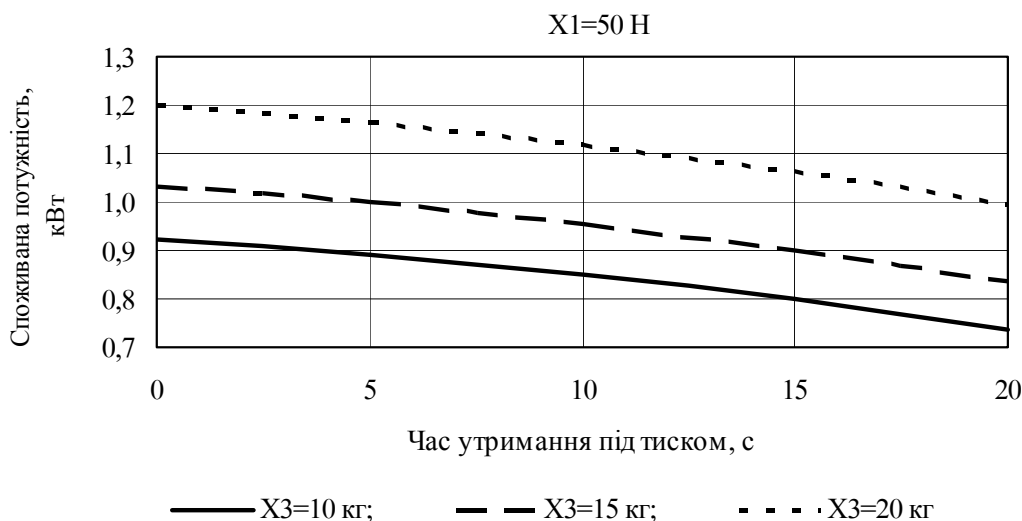


Рис. П.51 – Залежність споживаної потужності електродвигуна гідростанції ущільнювача від часу утримання матеріалу під тиском

Було встановлено (рис. П.52), що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  від 10 до 20 кг споживана потужність електродвигуна  $P$  збільшується на 24,3 %. Мінімальну споживану потужність електродвигун ущільнювача має при масі завантаженої порції 10 кг, яка дорівнює 0,923; 0,85 та 0,737 кВт для відповідних значень часу утримання матеріалу під тиском 0; 10 та 20 с.

Рівняння регресії залежності споживаної потужності електродвигуна  $P$  від зміни максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{II} (x_1)$ , часу

утримання матеріалу під тиском  $t$  ( $x_2$ ) та маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  ( $x_3$ ) за результатами проведеного ПФЕ  $3^3$  в закодованих величинах має вигляд:

$$P = 0,954 - 0,0257x_1 - 0,0975x_2 + 0,1347x_3 + 0,0371x_1^2 - 0,0197x_2^2 + 0,0303x_3^2 - 0,0542x_1x_3 - 0,0044x_2x_3. \quad (\text{II.118})$$

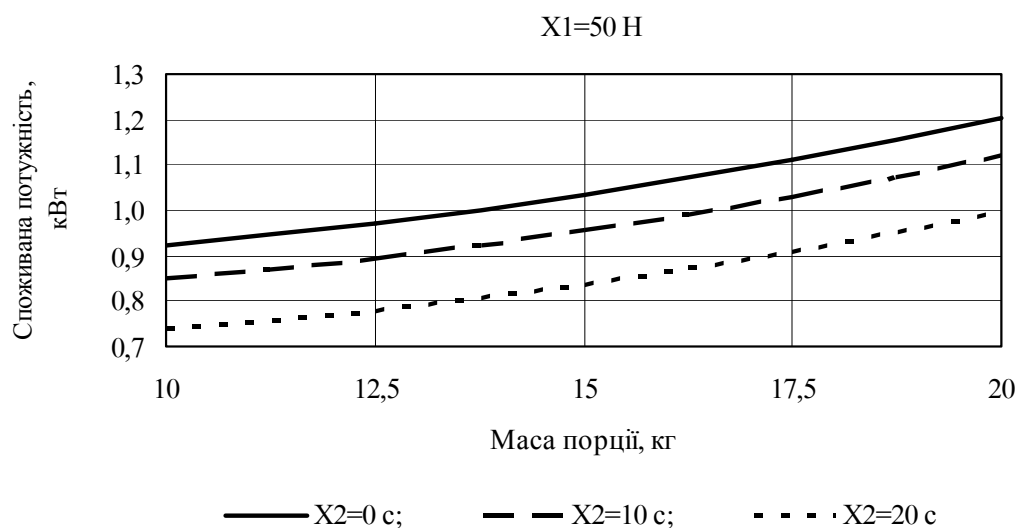


Рис. II.52 – Залежність споживаної потужності електродвигуна гідростанції ущільнювача від маси порції завантаженого субстрату

У розкодованому вигляді рівняння регресії (II.118) має вигляд:

$$P = 0,7879 + 0,0013F_{II} - 0,0045t + 0,0023M_{II} - 0,0002t^2 + 0,0012M_{II}^2 - 0,0022F_{II}M_{II} - 0,0001tM_{II}. \quad (\text{II.119})$$

Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на однорідність дисперсій за критерієм Кохрена. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Визначення значущості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стюдента. Гіпотеза про адекватність рівняння підтверджується і його можна використовувати для опису процесу.

На основі експериментальних досліджень було встановлено, що споживана потужність електродвигуна гідростанції ущільнювача залежить в першу чергу від маси порції завантаженого субстрату та часу утримання його під тиском. В той же час максимальна сила протидії руху мішка з субстратом в незначній мірі впливає на величину споживаної потужності електродвигуна гідростанції.

#### 4.8. Визначення залежності питомої енергомідкості процесу ущільнення від досліджуваних факторів

Аналіз залежностей (рис. П.53) показує, що зі збільшенням максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{ДР}$  питома енергомідкості процесу ущільнення  $A$  змінюється за параболічною функцією, яка має оптимум – мінімальні значення питомої енергомідкості знаходяться в діапазоні зміни максимальної сили протидії від 50 до 75 Н і становлять 0,801; 0,97 та 1,008 кВт год./т для відповідних значень часу утримання під тиском 0; 10 та 20 с (рис. П.54, а), що пояснюється накладанням незначних впливів максимальної сили протидії на продуктивність та споживану потужність ущільнювача [211].

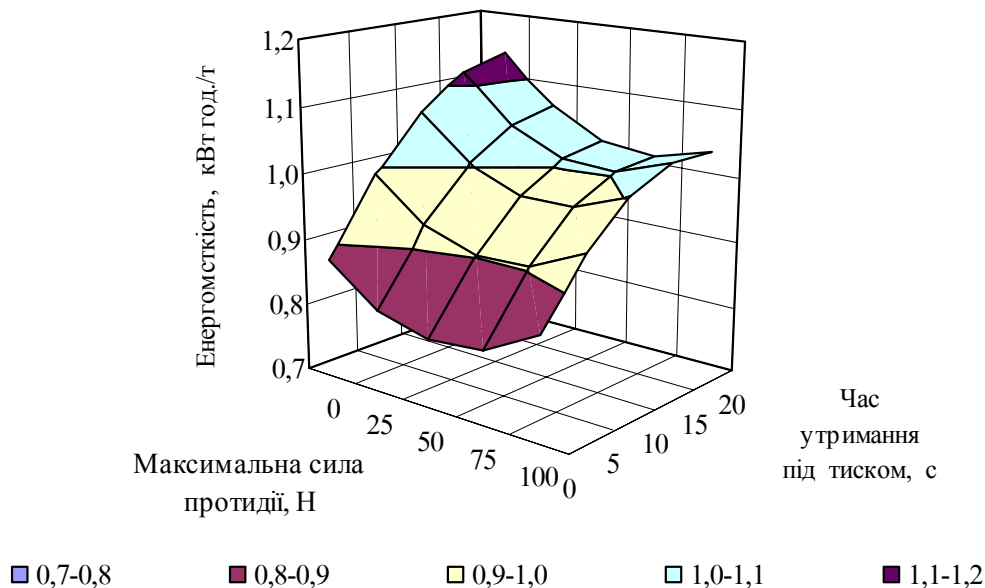


Рис. П.53 – Залежність питомої енергомідкості процесу ущільнення від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом та часу утримання матеріалу під тиском

Встановлено (рис. П.54, б) збільшення питомої енергомосткості процесу ущільнення  $A$  в залежності від збільшення часу утримання матеріалу під тиском  $t$ , що пояснюється зменшенням продуктивності ущільнювача.

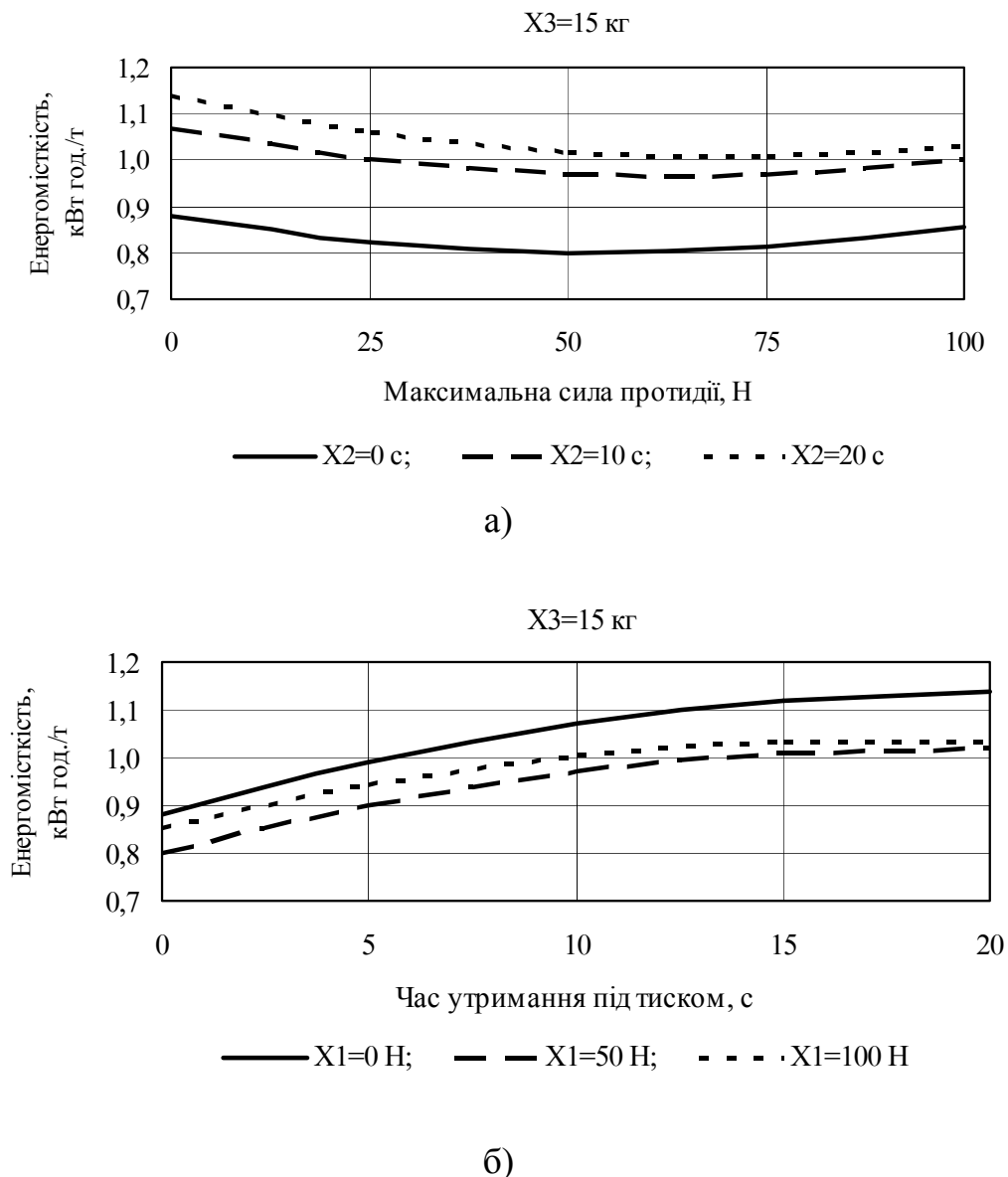


Рис. П.54 – Залежності питомої енергомосткості процесу ущільнення від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом (а) та часу утримання матеріалу під тиском (б)

Зокрема, при утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с питома енергомосткість процесу ущільнення збільшується на 25,6 %, в порівнянні до

варіанту роботи без утримання під тиском. Мінімальне значення питомої енергомосткості процесу ущільнення спостерігається при варіанті роботи без утримання матеріалу під тиском, яка становить 0,881; 0,801 та 0,854 кВт год./т, при максимальній силі протидії руху мішка з субстратом 0; 50 та 100 Н.

Аналіз залежностей (рис. П.55) показує, що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  питома енергомосткість процесу ущільнення  $A$  змінюється за параболічною функцією, яка має оптимум – мінімальні значення питомої енергомосткості знаходяться в діапазоні зміни маси порції від 15 до 17,5 кг та дорівнює 1,07; 0,93 та 0,923 кВт год./т для відповідних значень максимальної сили протидії руху мішка з субстратом 0; 50 та 100 Н, що пояснюється збільшенням продуктивності, а в подальшому – більшим, порівняно з ростом продуктивності, збільшенням витрат енергії на ущільнення (рис. П.56).

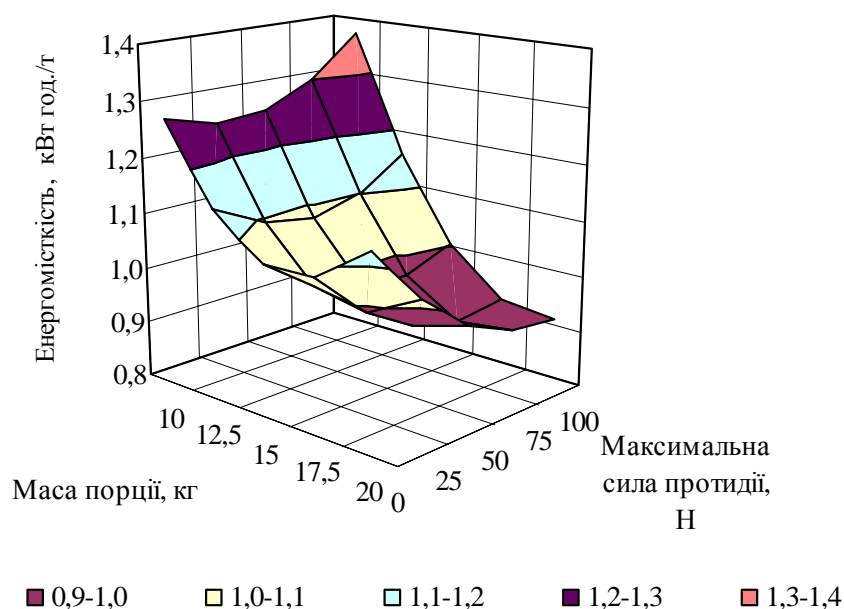


Рис. П.55 – Залежність питомої енергомосткості процесу ущільнення від маси порції завантаженого субстрату та максимальної сили протидії руху мішка з субстратом

Аналіз залежностей (рис. П.57) показує, що зі збільшенням часу утримання матеріалу під тиском, спостерігається збільшення питомої енергомосткості

процесу ущільнення  $A$ , що пояснюється збільшенням тривалості циклу ущільнення та пакування субстрату та відповідним зменшення продуктивності. Зокрема, при утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с питома енергомісткість процесу ущільнення збільшується на 24,2 %, порівняно до варіанту роботи без утримання матеріалу під тиском.

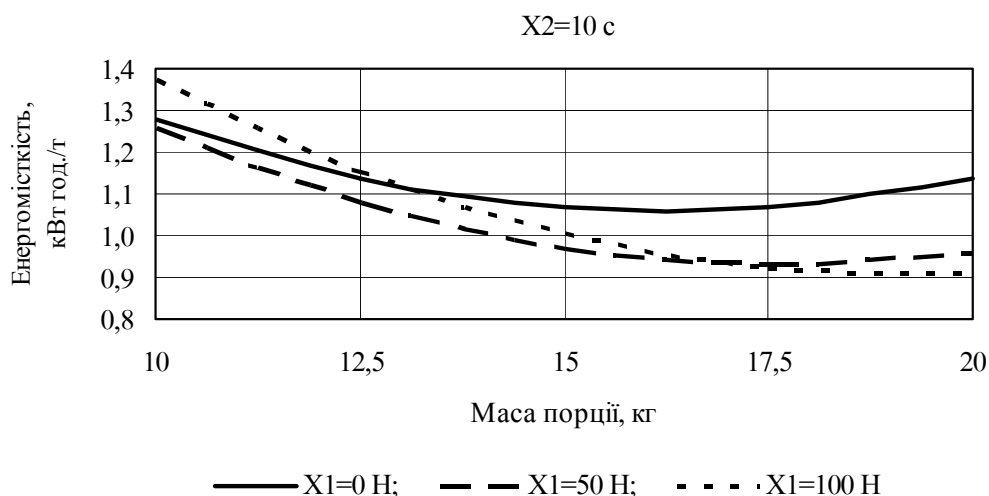


Рис. П.56 – Залежність питомої енергомісткості процесу ущільнення від маси порції завантаженого субстрату

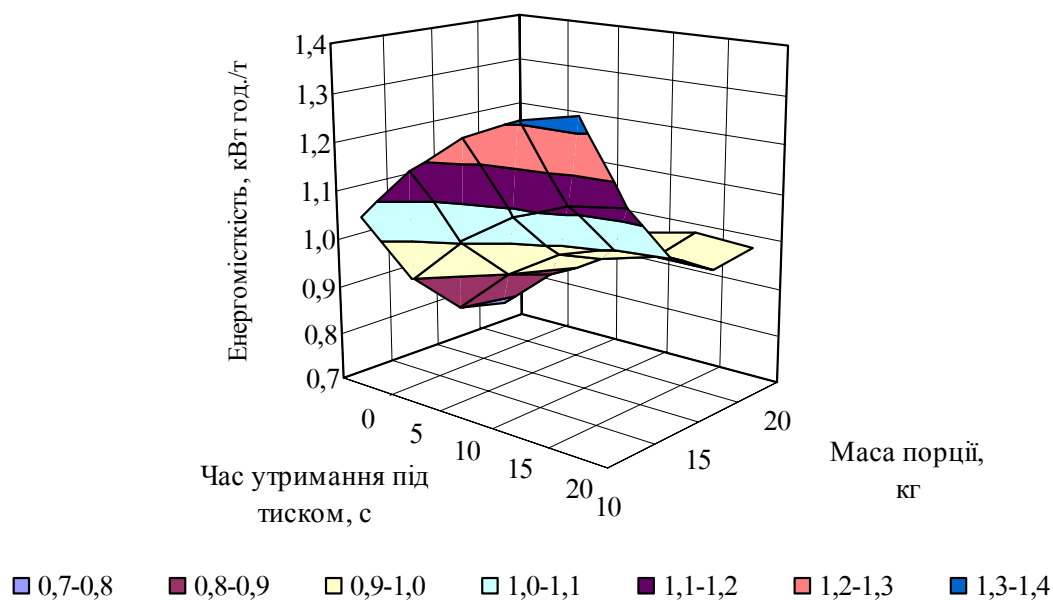


Рис. П.57 – Залежність питомої енергомісткості процесу ущільнення від часу утримання матеріалу під тиском та маси порції завантаженого субстрату

Мінімальне значення питомої енергомосткості процесу ущільнення відмічено при відсутності утримання матеріалу під тиском та становить 1,061; 0,801 та 0,819 кВт год./т для відповідних значень маси порції завантаженого субстрату 10; 15 та 20 кг (рис. П.58).

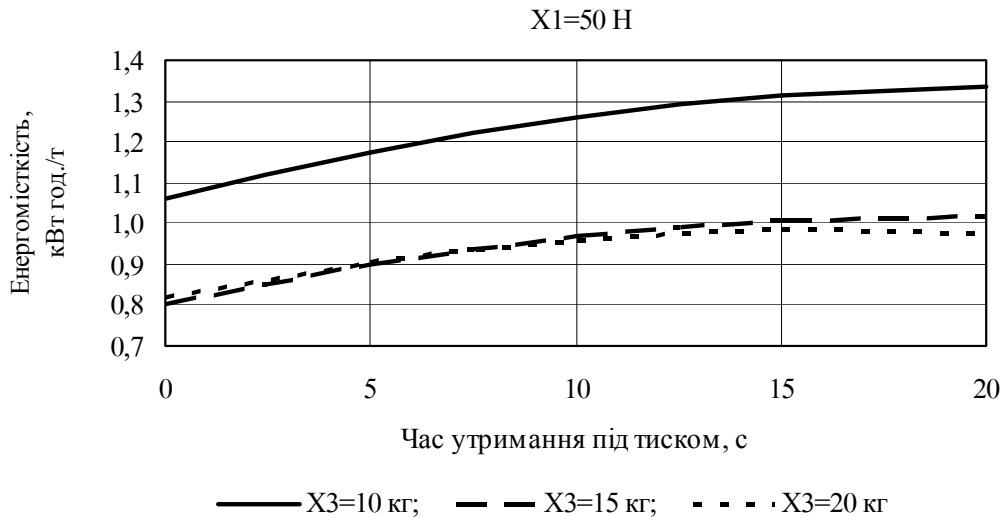


Рис. П.58 – Залежність питомої енергомосткості процесу ущільнення субстрату від часу утримання матеріалу під тиском

Встановлено (рис. П.59), що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  питома енергомосткості процесу ущільнення  $A$  спочатку зменшується, а потім збільшується, що пояснюється збільшенням продуктивності, а в подальшому – більшим, порівняно з ростом продуктивності, збільшенням витрат енергії на ущільнення та пакування субстрату. Мінімальне значення питомої енергомосткості відмічено при масі завантаженої порції 17,5 кг та становить 0,775; 0,93 та 0,963 кВт год./т для відповідних значень часу утримання матеріалу під тиском 0; 10 та 20 с.

Рівняння регресії залежності питомої енергомосткості процесу ущільнення  $A$  від зміни максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{IIР} (x_1)$ , часу утримання матеріалу під тиском  $t (x_2)$  та маси порції завантаженого субстрату  $M_{II} (x_3)$  за результатами проведеного ПФЕ  $3^3$  в закодованих величинах має вигляд:

$$A = 0,970 - 0,033x_1 + 0,1082x_2 - 0,1502x_3 + 0,0664x_1^2 - 0,0609x_2^2 + 0,1388x_3^2 - 0,0196x_1x_2 - 0,0808x_1x_3 - 0,0290x_2x_3. \quad (\text{II.120})$$

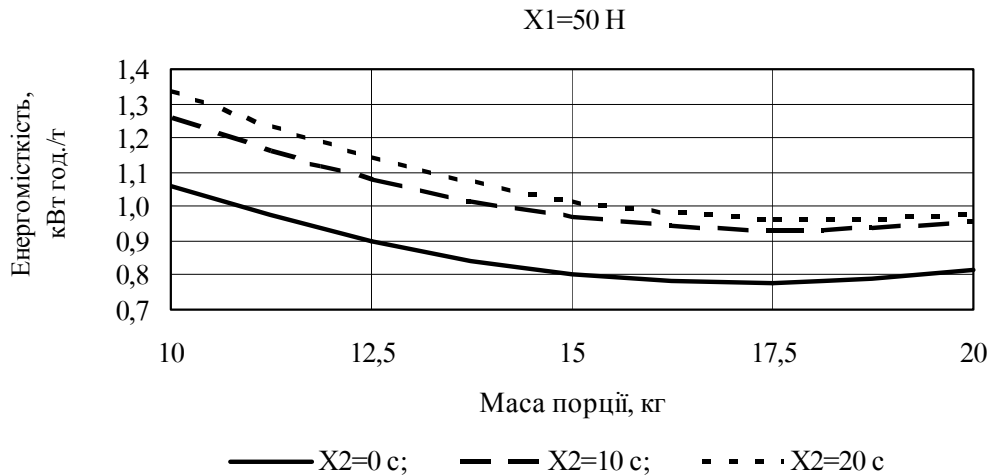


Рис. II.59 – Залежність питомої енергомідкості процесу ущільнення субстрату від маси порції завантаженого субстрату

У розкодованому вигляді рівняння регресії (II.120) має вигляд:

$$A = 2,2512 + 0,0019F_{\text{ПР}} + 0,0337t - 0,1746M_{\text{П}} - 0,0006t^2 + 0,0056M_{\text{П}}^2 - 0,0003F_{\text{ПР}}M_{\text{П}} - 0,0006tM_{\text{П}}. \quad (\text{II.121})$$

Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на однорідність дисперсій за критерієм Кохрена. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Визначення значущості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стюдента. Гіпотеза про адекватність рівняння підтверджується і його можна використовувати для опису процесу.

На основі експериментальних досліджень було встановлено, що питома енергомідкості процесу ущільнення змінюється від 0,775 до 1,335 кВт год./т. Із збільшенням часу утримання матеріалу під тиском від 0 до 20 с спостерігається

збільшення питомої енергомосткості процесу ущільнення на 25,6 %, в той же час зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату спостерігається зменшення питомої енергомосткості процесу ущільнення та пакування соломистого субстрату на 24,6 %.

Провівши оптимізаційний розрахунок на основі рівняння (П.121), було встановлено, що питома енергомосткість процесу ущільнення та пакування субстрату приймає мінімальне значення при  $F_{ПР}=92,2$  Н;  $t=15,5$  с та  $M_{П}=19,2$  кг.

#### 4.9. Вплив досліджуваних факторів на щільність субстрату

Аналіз залежностей (рис. П.60) показує, що зі збільшенням максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$  щільність субстрату  $\gamma_K$  зростає, та має максимальне значення в діапазоні зміни максимальної сили протидії від 50 до 75 Н і становить 388,3; 388,4 та 381,7  $\text{кг}/\text{м}^3$  для відповідних значень часу утримання під тиском 0; 10 та 20 с, що пояснюється зростанням сили опору вільному руху субстрату при його ущільненні та пакуванні в мішок (рис. П.61, а) [212].

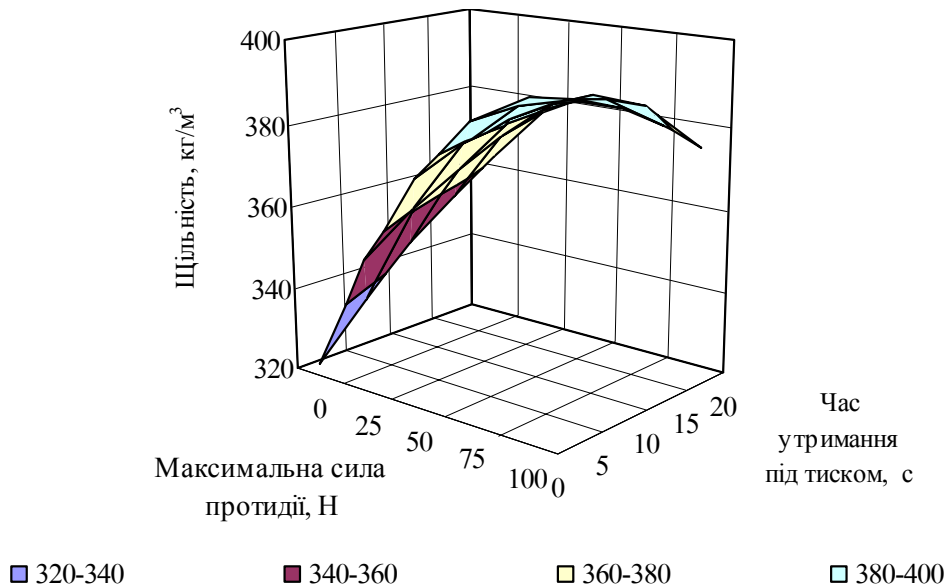
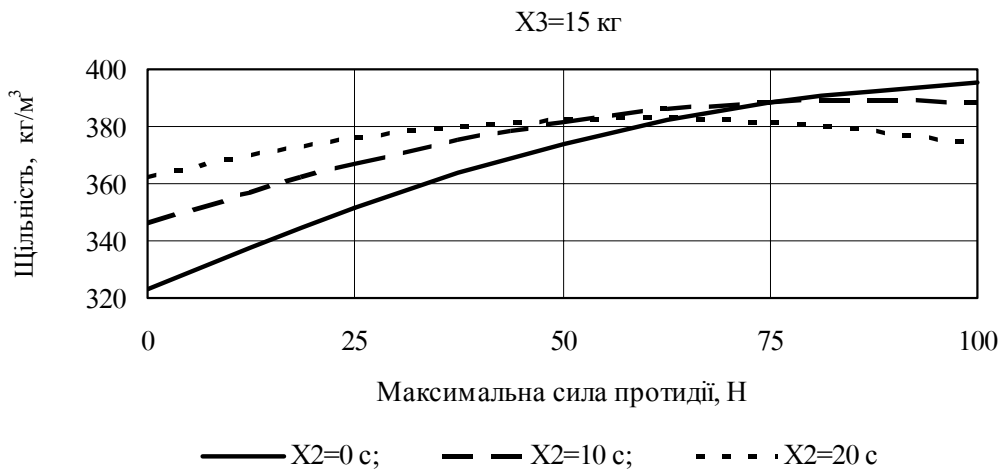
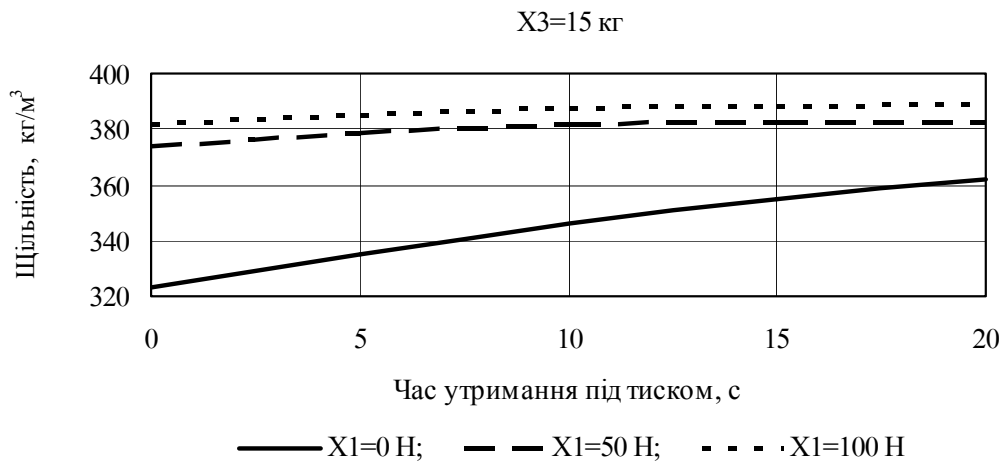


Рис. П.60 – Залежність щільності субстрату від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом та часу утримання матеріалу під тиском

Встановлено збільшення щільності субстрату  $\gamma_K$  в залежності від збільшення часу утримання матеріалу під тиском  $t$ , що пояснюється розсіюванням енергії стиснутого субстрату (рис. П.61, б). Зокрема, при утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с щільність субстрату збільшується на 6,9 %, в порівнянні до варіанту роботи без утримання під тиском.



а)



б)

Рис. П.61 – Залежності щільності субстрату від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом (а) та часу утримання матеріалу під тиском (б)

Максимальне значення щільності субстрату при часі утримання під тиском протягом 20 с становить 362,12 та 382,4 кг/м<sup>3</sup>, що відповідає силі протидії руху

мішка з субстратом 0 та 50 Н. За виключенням значень щільності субстрату, при максимальній силі протидії руху мішка з субстратом 100 Н, які збільшуються лише на 2 % в діапазоні від 382,32 до 389,44 кг/м<sup>3</sup> по мірі збільшення часу утримання матеріалу під тиском від 0 до 20 с.

Аналіз залежностей (рис. П.62) показує, що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  від 10 до 20 кг щільність субстрату  $\gamma_K$  збільшується на 65,8 %. Відмічено максимальне значення щільності субстрату при масі завантаженої порції 20 кг, яке становить 416,6; 467,9 та 490,5 кг/м<sup>3</sup> для відповідних значень максимальної сили протидії руху мішка з субстратом 0; 50; та 100 Н (рис. П.63, а).

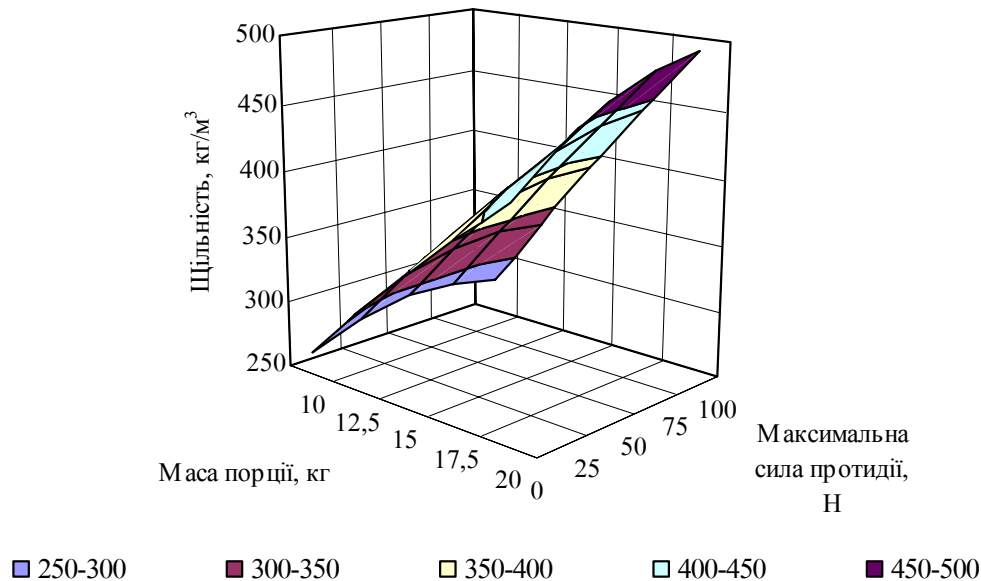
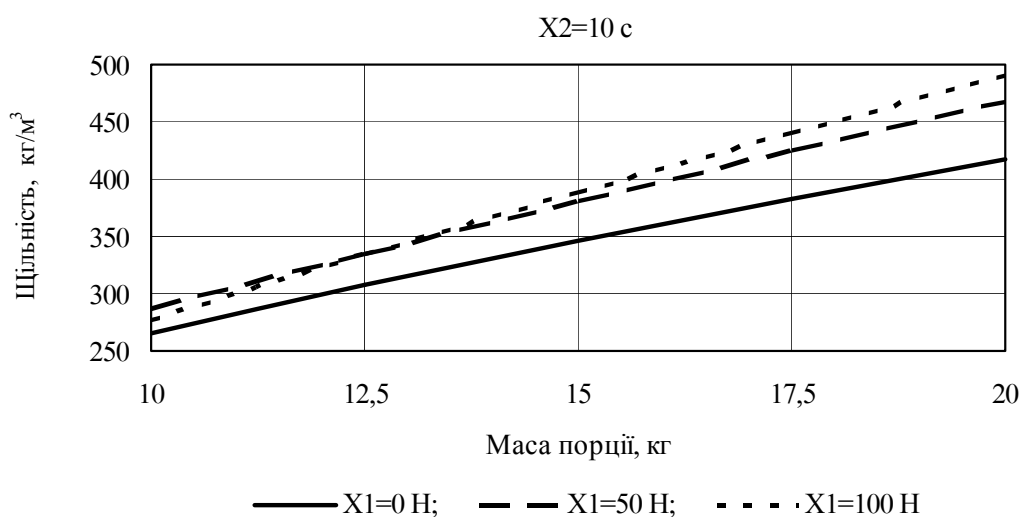


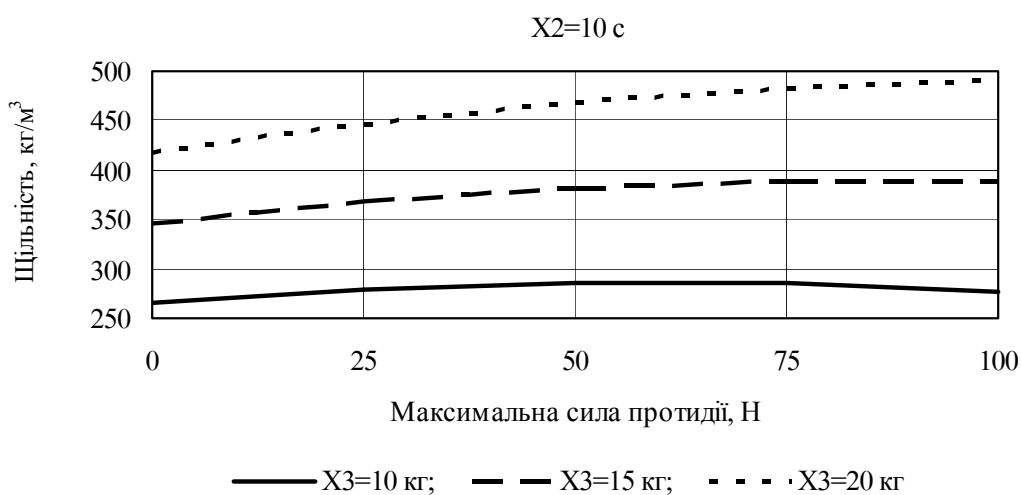
Рис. П.62 – Залежність щільності субстрату від маси порції завантаженого субстрату та максимальної сили протидії руху мішка з субстратом

Встановлено (рис. П.63, б), що зі збільшенням максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{II}$  від 0 до 100 Н щільність субстрату  $\gamma_K$  збільшується на 15,2 %. Максимальне значення щільності субстрат має при максимальній силі протидії руху мішка з субстратом 100 Н, яка становить 388,2 та 490,5 кг/м<sup>3</sup> для відповідних значень маси порції завантаженого субстрату 15 та 20 кг, що

пояснюється зростанням сили опору вільному руху субстрату при його ущільненні та пакуванні в мішок.



а)



б)

Рис. П.63 – Залежності щільності субстрату від маси порції завантаженого субстрату (а) та максимальної сили протидії руху мішка з субстратом (б)

Аналіз залежностей (рис. П.64) показує незначне зростання щільності субстрату  $\gamma_K$  в залежності від збільшення часу утримання матеріалу під тиском  $t$ . Це пояснюється тим, що початкова щільність субстрату досить велика, а тривалість дії поршня недостатня для розсіювання енергії стиснутого субстрату.

Зокрема, при утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с щільність субстрату  $\gamma_K$  зростає на 2,4 %, яка становить 292,1; 382,4 та 463,8  $\text{кг}/\text{м}^3$  для відповідних значень маси порції 10; 15 та 20 кг (рис. П.65, а).

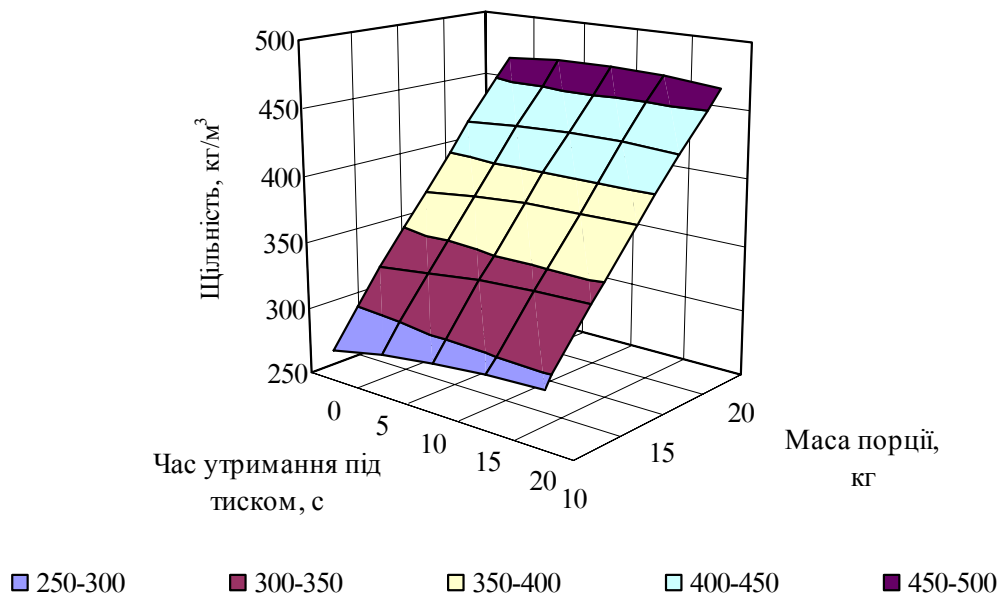
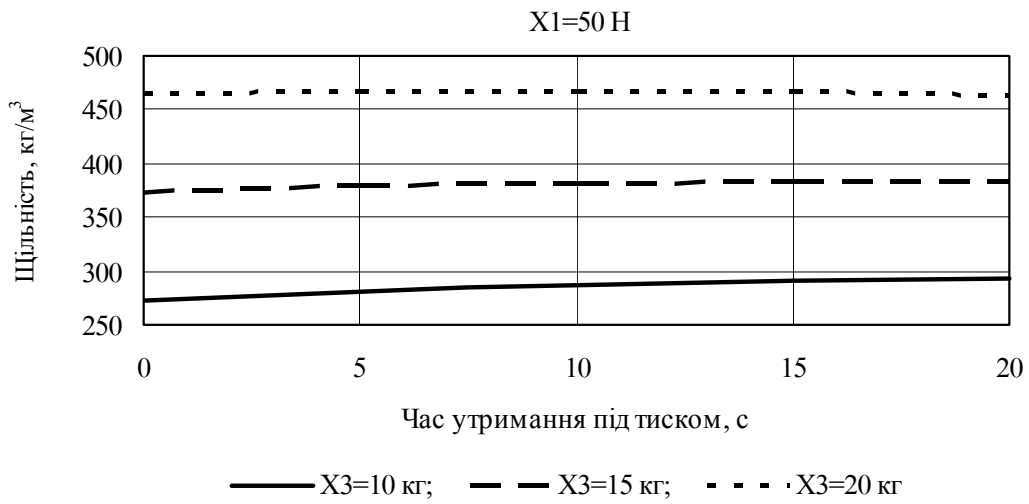


Рис. П.64 – Залежність щільності субстрату від часу утримання матеріалу під тиском та маси порції завантаженого субстрату

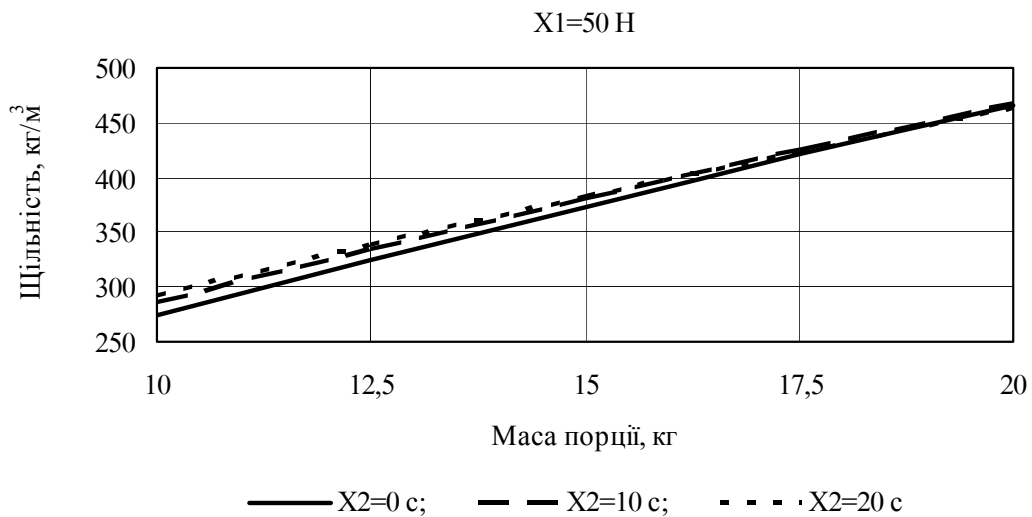
Встановлено (рис. П.65, б), що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  від 10 до 20 кг щільність субстрату  $\gamma_K$  зростає на 64,1 %. Максимальне значення щільності субстрату при масі завантаженої порції 20 кг становить 465,2; 467,9 та 463,8  $\text{кг}/\text{м}^3$  для відповідних значень часу утримання матеріалу під тиском 0; 10 та 20 с, що пояснюється збільшенням опору до ущільнення, переміщення та вивантаження субстрату вздовж камер при збільшенні маси завантаженої порції субстрату та відповідного зростання щільності.

Рівняння регресії залежності щільності субстрату  $\gamma_K$  від зміни максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{II} (x_1)$ , часу утримання матеріалу під тиском  $t (x_2)$  та маси порції завантаженого субстрату  $M_{II} (x_3)$  за результатами проведеного ПФЕ  $3^3$  в закодованих величинах має вигляд:

$$\gamma_K = 381,477 + 21,1228x_1 + 4,3715x_2 + 90,9417x_3 - 14,4466x_1^2 - 3,4441x_2^2 - 4,4299x_3^2 - 15,286x_1x_2 + 15,7988x_1x_3 - 5,0625x_2x_3. \quad (\text{II.122})$$



а)



б)

Рис. II.65 – Залежності щільності субстрату від часу утримання матеріалу під тиском (а) та маси порції завантаженого субстрату (б)

У розкодованому вигляді рівняння регресії (II.122) має вигляд:

$$\gamma_K = 42,321 + 0,3581F_{\text{ПР}} + 4,1733t + 21,357M_{\text{П}} - 0,0058F_{\text{ПР}}^2 - 0,0344t^2 - 0,1772M_{\text{П}}^2 - 0,0306F_{\text{ПР}}t + 0,0632F_{\text{ПР}}M_{\text{П}} - 0,1012tM_{\text{П}}. \quad (\text{II.123})$$

Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на однорідність дисперсій за критерієм Кохрена. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Визначення значущості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стьюдента. Гіпотеза про адекватність рівняння підтверджується і його можна використовувати для опису процесу.

На основі експериментальних досліджень було встановлено, що щільність субстрату зростає в межах від 266,34 до 490,46 кг/м<sup>3</sup> при збільшенні максимальної сили протидії руху мішка з субстратом від 0 до 100 Н . Із збільшенням часу утримання матеріалу під тиском спостерігається зростання щільності субстрату, із збільшенням маси порції також відбувається зростання кінцевої щільності субстрату.

#### **4.10. Дослідження питомої енергомісткості з урахуванням якості роботи**

Аналіз залежностей (рис. П.66) показує, що зі збільшенням максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{HP}$  питома енергомісткість з урахуванням якості роботи  $E$  змінюється за параболічною функцією, яка має оптимум – мінімальне значення питомої енергомісткості з урахуванням якості роботи знаходиться в діапазоні зміни максимальної сили протидії від 50 до 75 Н та становить 0,839; 0,992 та 1,047 кВт год./т для відповідних значень часу утримання під тиском 0; 10 та 20 с, що пояснюється суттєвим відхиленням щільності від технологічно заданої при малих значеннях сили протидії руху мішка з субстратом та зростанням витрат енергії на процес ущільнення та пакування субстрату, обумовлене збільшенням витрат енергії на переміщення маси при збільшенні сили протидії (рис. П.67, а) [212].

Встановлено (рис. П.67, б) збільшення питомої енергомісткості з урахуванням якості роботи  $E$  в залежності від збільшення часу утримання матеріалу під тиском  $t$ , що пояснюється збільшенням тривалості циклу ущільнення та пакування субстрату та відповідного зменшення продуктивності.

Зокрема, при утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с питома енергомідкість з урахуванням якості роботи  $E$  збільшується на 22,2 %, в порівнянні до варіанту роботи без утримання під тиском. Мінімальне значення питомої енергомідкості буде без утримання матеріалу під тиском та становитиме 1,013; 0,845 та 0,885 кВт год./т, що відповідає силі протидії руху мішка з субстратом 0; 50 та 100 Н.

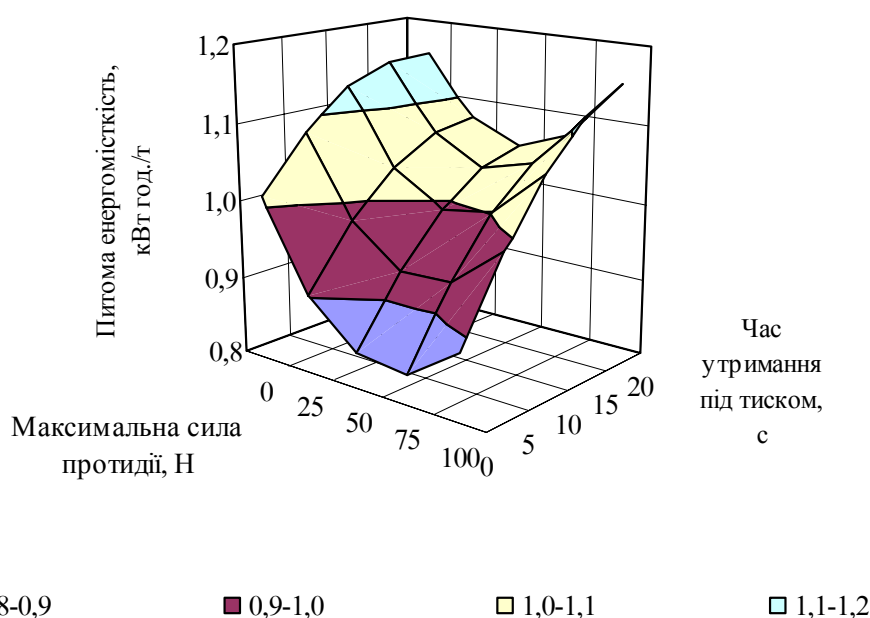
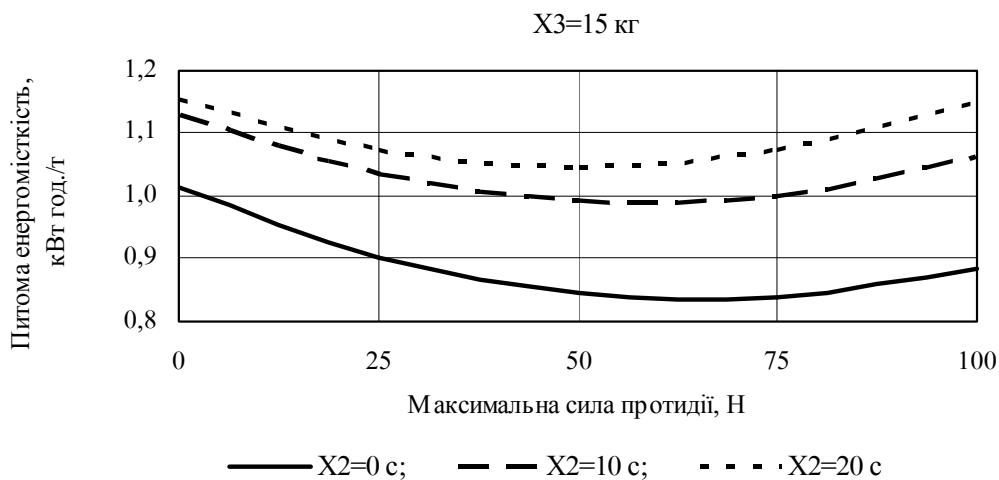
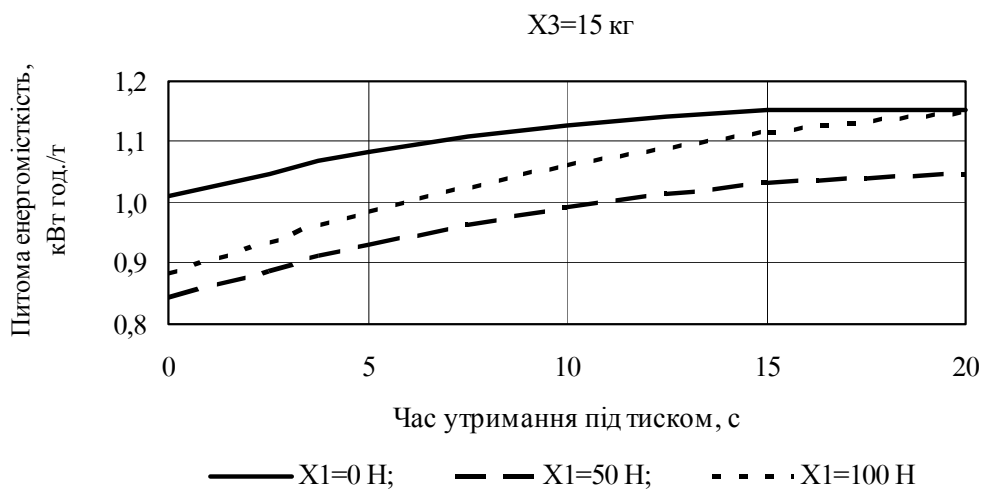


Рис. П.66 – Залежність питомої енергомідкості з урахуванням якості роботи від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом та часу утримання матеріалу під тиском

Аналіз залежностей (рис. П.68) показує, що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  питома енергомідкість з урахуванням якості роботи  $E$  змінюється за параболічною функцією, яка має оптимум – мінімальне значення питомої енергомідкості з урахуванням якості роботи знаходиться в діапазоні зміни маси порції завантаженого субстрату від 15 до 17,5 кг та дорівнює 1,129; 0,967 та 1,008 кВт год./т, для відповідних значень сили протидії руху мішка з субстратом 0; 50 та 100 Н (рис. П.69).



а)



б)

Рис. П.67 – Залежності питомої енергомiсткостi з урахуванням якостi роботи вiд максимальної сили протидiї руху мiшка з субстратом (а) та часу утримання матерiалу пiд тиском (б)

Було встановлено (рис. П.70), що зi збiльшенням максимальної сили протидiї руху мiшка з субстратом  $F_{ПР}$  питома енергомiсткiсть з урахуванням якостi роботи  $E$  змiнюється за параболiчною функцiєю, яка має оптимум – мiнiмальне значення питомої енергомiсткостi знаходиться в дiапазонi змiни максимальної сили протидiї руху мiшка з субстратом вiд 50 до 75 Н, та дорiвнює 1,575; 0,992 та 1,1 кВт год./т, для вiдповiдних значень маси порцiї завантаженого субстрату 10; 15 та 20 кг.

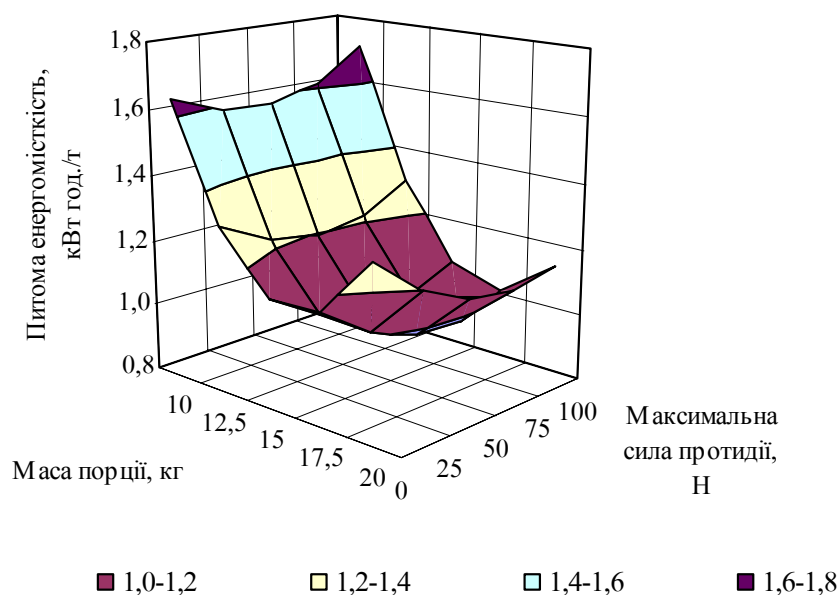


Рис. П.68 – Залежність питомої енергомосткості з урахуванням якості роботи від маси порції завантаженого субстрату та максимальної сили протидії руху мішка з субстратом

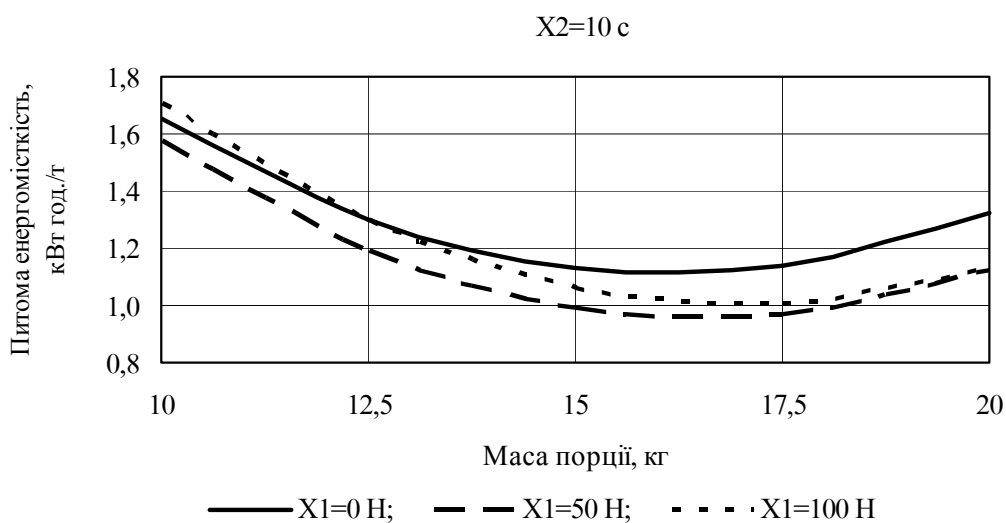


Рис. П.69 – Залежність питомої енергомосткості з урахуванням якості роботи від маси порції завантаженого субстрату

Аналіз залежностей (рис. П.71) показує, що зі збільшенням часу утримання матеріалу під тиском  $t$  відбувається зростання питомої енергомості з урахуванням якості роботи  $E$ .

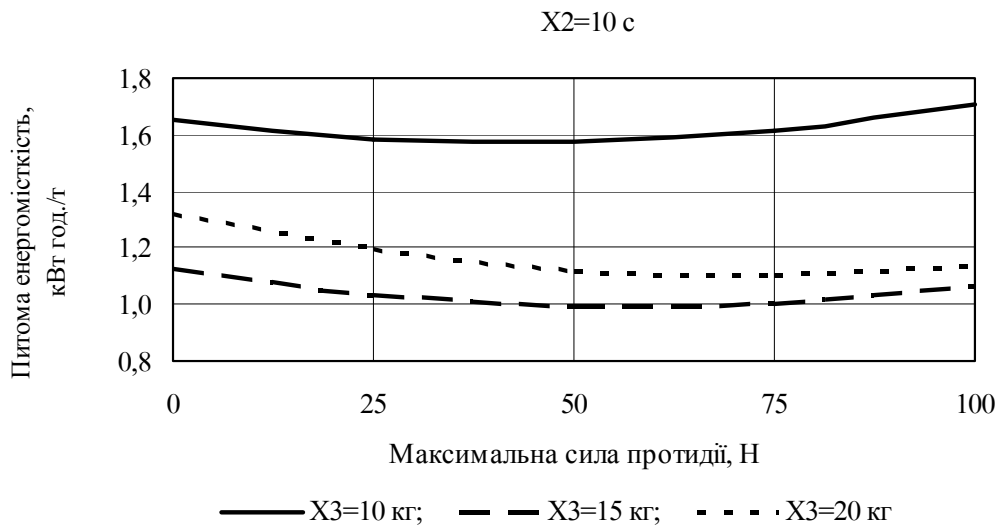


Рис. П.70 – Залежність питомої енергомості з урахуванням якості роботи від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом

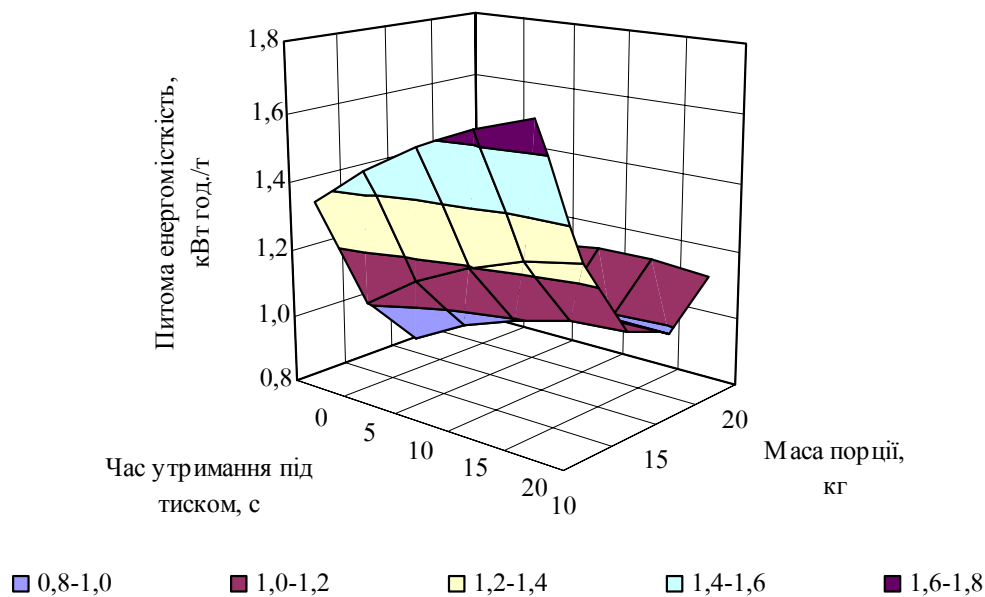


Рис. П.71 – Залежність питомої енергомості з урахуванням якості роботи від часу утримання матеріалу під тиском та маси порції завантаженого субстрату

Зокрема, при збільшенні часу утримання матеріалу під тиском від 0 до 20 с питома енергомідкість зростає на 18,4 %, та становить 1,701; 1,047 та 1,105 кВт год./т для відповідних значень маси порції завантаженого субстрату 10; 15 та 20 кг (рис. II.72).

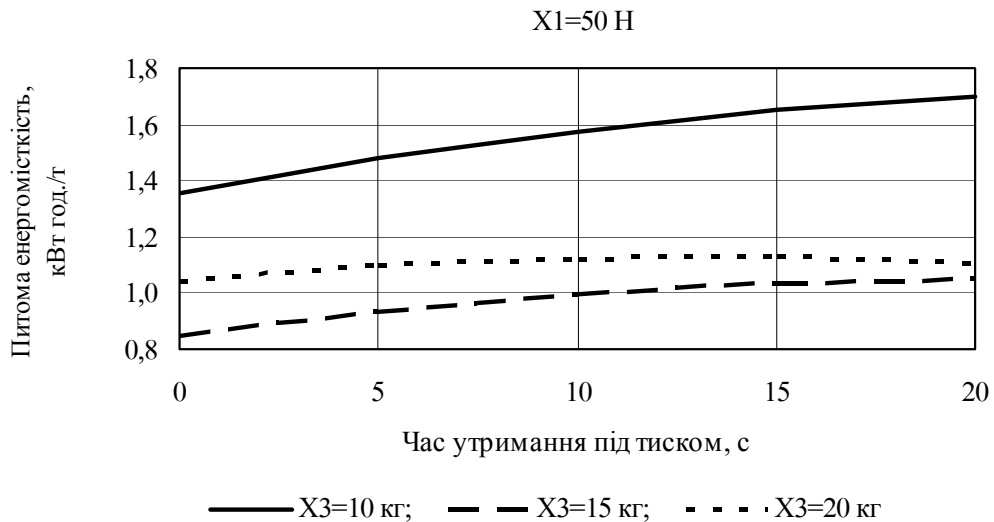


Рис. II.72 – Залежність питомої енергомідкості з урахуванням якості роботи від часу утримання матеріалу під тиском

Встановлено (рис. II.73), що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  питома енергомідкість з урахуванням якості роботи  $E$  змінюється за параболічною функцією, яка має оптимум – мінімальне значення питомої енергомідкості з урахуванням якості роботи знаходиться в діапазоні зміни маси порції завантаженого субстрату від 15 до 17,5 кг, та дорівнює 0,845; 0,967 та 0,987 кВт год./т, для відповідних значень часу утримання матеріалу під тиском 0; 10 та 20 с, що пояснюється збільшенням продуктивності, а в подальшому – більшим, порівняно з ростом продуктивності, збільшенням витрат енергії на процес ущільнення та пакування субстрату в мішок.

Рівняння регресії залежності показника питомої енергомідкості з урахуванням якості роботи  $E$  від зміни максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{IIIP}$  ( $x_1$ ), часу утримання матеріалу під тиском  $t$  ( $x_2$ ) та маси порції

завантаженого субстрату  $M_{II}$  ( $x_3$ ) за результатами проведеного ПФЕ  $3^3$  в закодованих величинах має вигляд:

$$E = 0,992 - 0,0328x_1 + 0,1013x_2 - 0,2268x_3 + 0,1044x_1^2 - 0,0460x_2^2 + 0,3561x_3^2 + 0,0307x_1x_2 - 0,0616x_1x_3 - 0,0712x_2x_3. \quad (II.124)$$

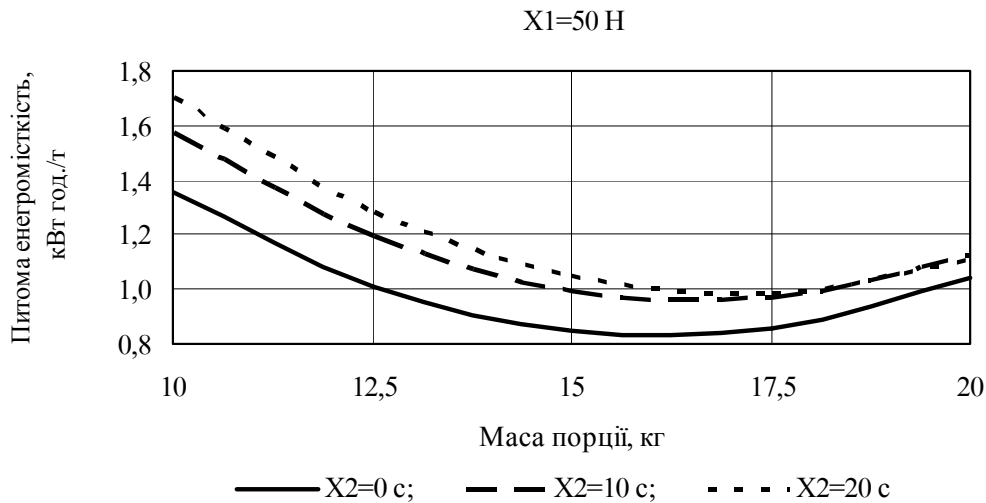


Рис. II.73 – Залежність питомої енергомінливості з урахуванням якості роботи від маси порції завантаженого субстрату

У розкодованому вигляді рівняння регресії (II.124) має вигляд:

$$E = 4,4997 - 0,0018F_{IIp} + 0,0376t - 0,4462M_{II} - 0,0005t^2 + 0,0142M_{II}^2 + 0,0001F_{IIp}t - 0,0002F_{IIp}M_{II} - 0,0014tM_{II}. \quad (II.125)$$

Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на однорідність дисперсій за критерієм Кохрена. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Визначення значущості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стюдента. Гіпотеза про адекватність рівняння підтверджується і його можна використовувати для опису процесу.

На основі експериментальних досліджень було встановлено, що питома енергомiсткiсть процесу ущiльнення з урахуванням якостi роботи змiнюється вiд 0,992 до 1,575 кВт год./т в дiапазонi змiни максимальної сили протидiї руху мiшка з субстратом вiд 50 до 75 Н. Iз збiльшенням часу утримання матерiалу пiд тиском спостерiгається збiльшення питомої енергомiсткостi процесу ущiльнення, в той же час збiльшення маси порцiї завантаженого субстрату неоднозначно впливає на значення питомої енергомiсткостi.

Провiвши оптимiзацiйний розрахунок, на основi рiвняння (II.125), було встановлено, що питома енергомiсткiсть процесу ущiльнення субстрату з урахуванням якостi роботи приймає мiнiмальне значення при  $F_{\text{ПР}}=57,9$  Н;  $t=18,3$  с та  $M_{\text{П}}=17,1$  кг.

#### **4.11. Визначення питомої енергомiсткостi з урахуванням дiапазону щiльностi**

Аналіз залежностей показує, що зi збiльшенням максимальної сили протидiї руху мiшка з субстратом  $F_{\text{ПР}}$  питома енергомiсткiсть з урахуванням дiапазону щiльностi  $E_{\text{Д}}$  змiнюється за параболiчною функцiєю (рис. II.74), яка має оптимум – мiнiмальне значення питомої енергомiсткостi з урахуванням дiапазону щiльностi знаходяться в дiапазонi змiни максимальної сили протидiї вiд 50 до 75 Н та дорiвнює 0,815; 0,970 та 1,032 кВт год./т для вiдповiдних значень часу утримання субстрату пiд тиском 0; 10 та 20 с, що пояснюється суттєвим вiдхиленням щiльностi вiд технологiчно заданої при малих значеннях сили протидiї та зростанням витрат енергiї на процес ущiльнення та пакування субстрату, обумовлене збiльшенням витрат енергiї на перемiщеннi маси при збiльшеннi сили протидiї (рис. II.75).

Встановлено збiльшення питомої енергомiсткостi з урахуванням дiапазону щiльностi  $E_{\text{Д}}$  в залежностi вiд збiльшення часу утримання матерiалу пiд тиском  $t$ , що пояснюється збiльшенням тривалостi циклу ущiльнення та пакування субстрату та вiдповiдного зменшення продуктивностi (рис. II.76).

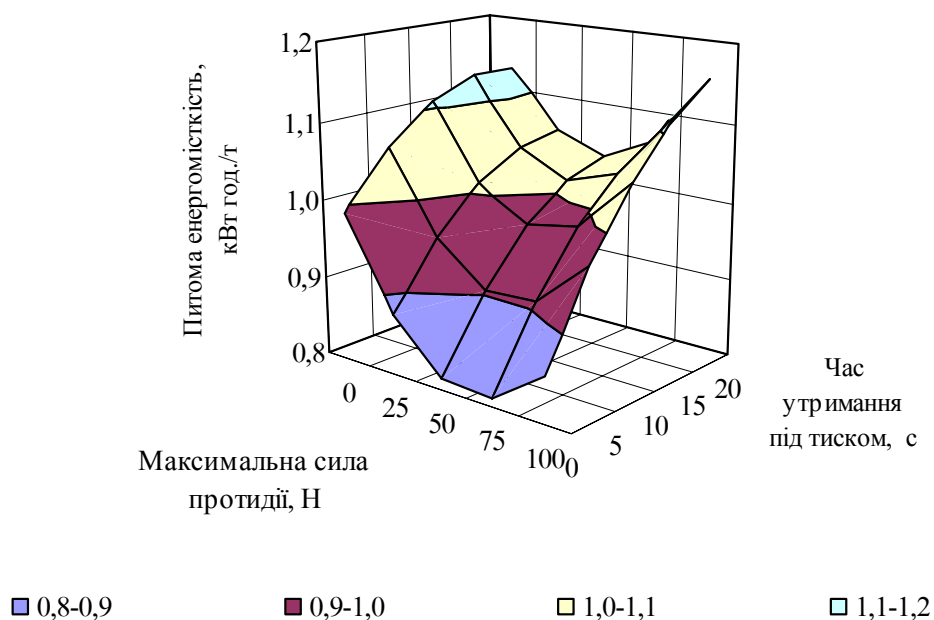


Рис. П.74 – Залежність питомої енергомісткості з урахуванням діапазону щільності від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом та часу утримання матеріалу під тиском

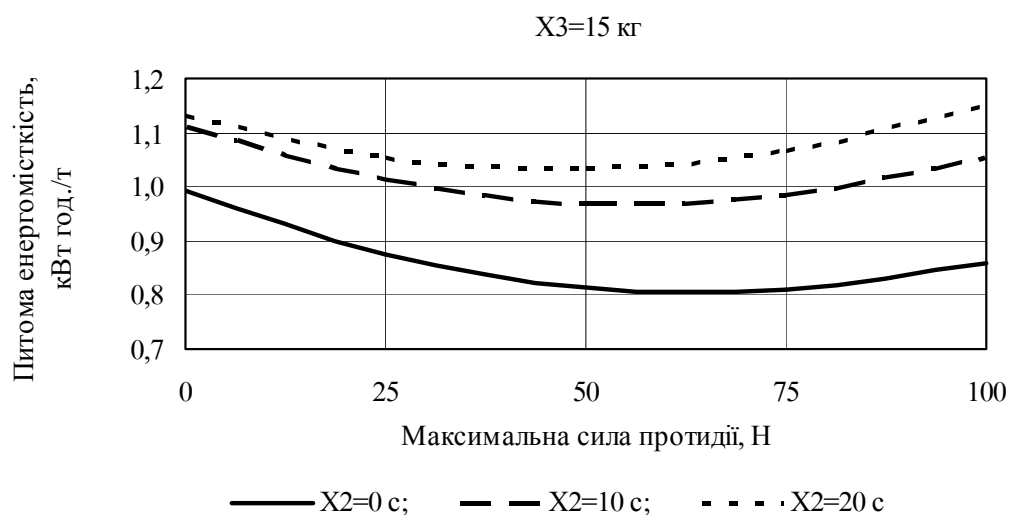


Рис. П.75 – Залежність питомої енергомісткості з урахуванням діапазону щільності від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом

Зокрема, при утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с питома енергомідкість з урахуванням діапазону щільності  $E_D$  збільшується на 19,6 %, в порівнянні з варіантом роботи без утримання під тиском. Мінімальне значення питомої енергомідкості буде без утримання матеріалу під тиском та становитиме 0,992; 0,815 та 0,859 кВт год./т, при значеннях сили протидії руху мішка з субстратом відповідно 0; 50 та 100 Н.

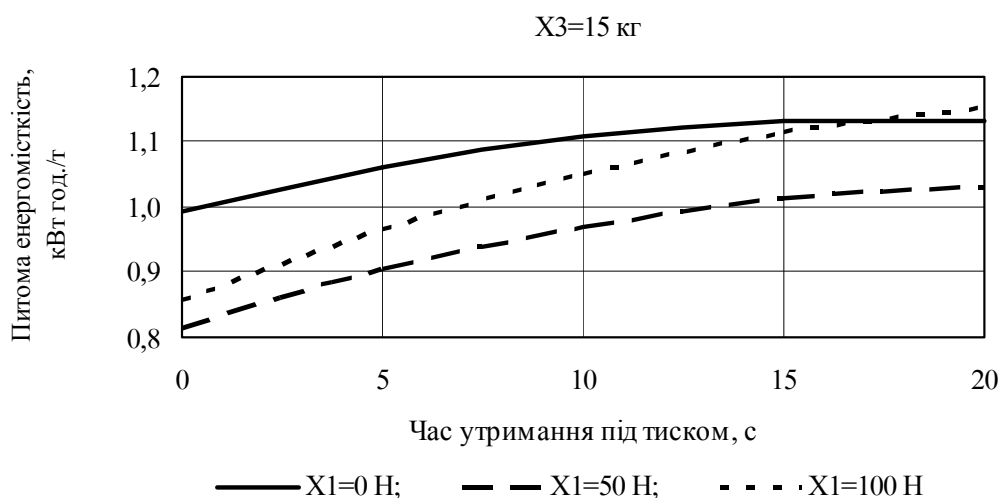


Рис. II.76 – Залежність питомої енергомідкості з урахуванням діапазону щільності від часу утримання матеріалу під тиском

Аналіз залежностей (рис. II.77) показує, що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  питома енергомідкість з урахуванням діапазону щільності  $E_D$  змінюється за параболічною функцією, яка має оптимум – мінімальне значення функції відгуку знаходиться в діапазоні зміни маси порції завантаженого субстрату від 15 до 17,5 кг та дорівнює 1,109; 0,97 та 1,02 кВт год./т, для відповідних значень максимальної сили протидії руху мішка з субстратом 0; 50 та 100 Н (рис. II.78).

Встановлено (рис. II.79), що зі збільшенням максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{II}$  питома енергомідкість з урахуванням діапазону щільності  $E_D$  змінюється за параболічною функцією, яка має оптимум – мінімальне значення питомої енергомідкості з урахуванням діапазону щільності

знаходиться в діапазоні зміни максимальної сили протидії руху мішка з субстратом від 50 до 75 Н, та дорівнює 1,521; 0,97 та 1,138 кВт год./т, для відповідних значень маси порції завантаженого субстрату 10; 15 та 20 кг.

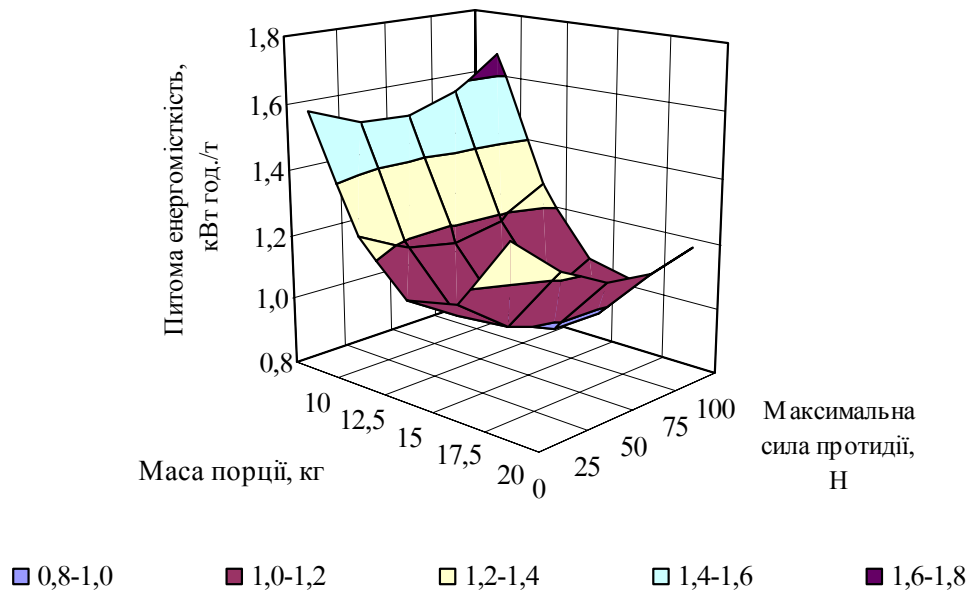


Рис. П.77 – Залежність питомої енергомiсткостi з урахуванням дiапазону щiльностi вiд маси порцiї завантаженого субстрату та максимальної сили протидiї руху мiшка з субстратом

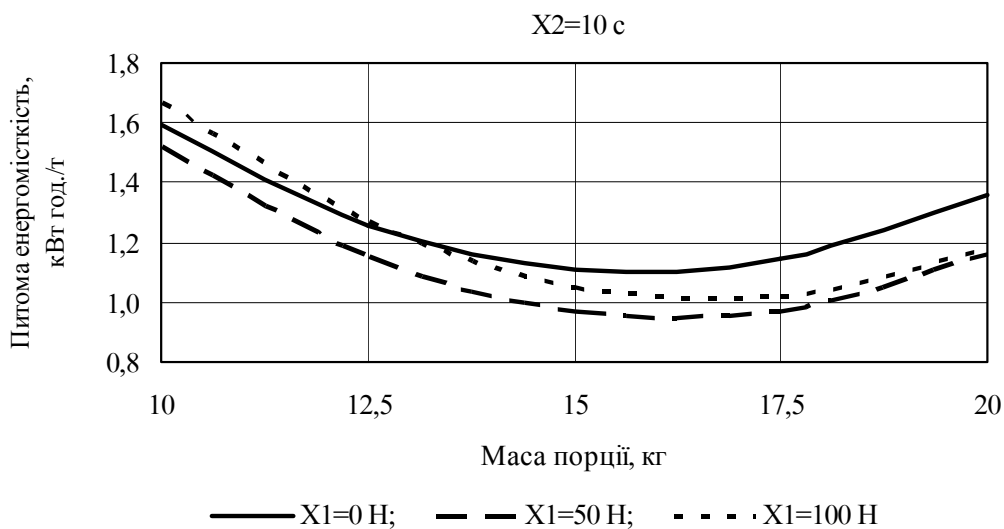


Рис. П.78 – Залежність питомої енергомiсткостi з урахуванням дiапазону щiльностi вiд маси порцiї завантаженого субстрату

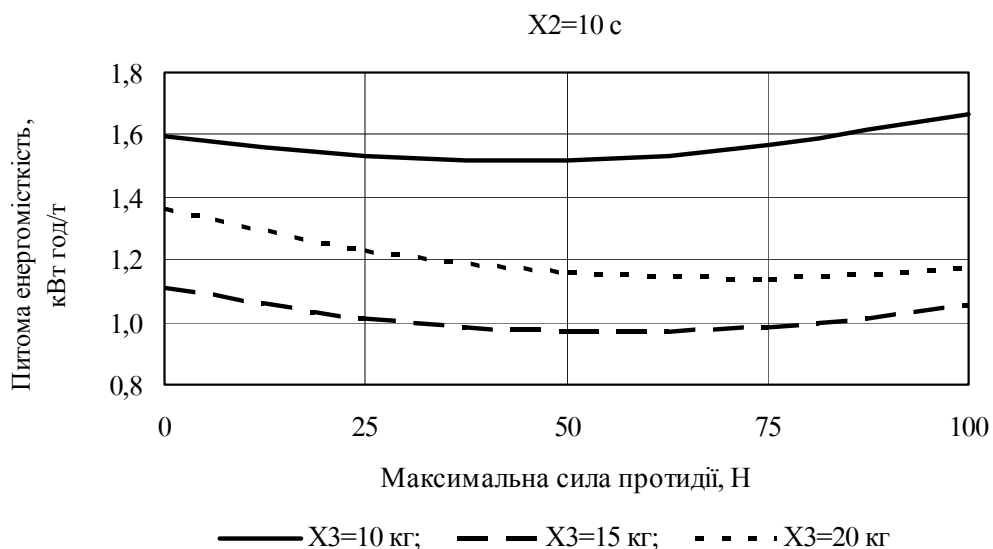


Рис. П.79 – Залежність питомої енергомосткості з урахуванням діапазону щільності від максимальної сили протидії руху мішка з субстратом

Аналіз залежностей (рис. П.80) показує, що зі збільшенням часу утримання матеріалу під тиском  $t$  відбувається зростання питомої енергомосткості з урахуванням діапазону щільності  $E_d$ .

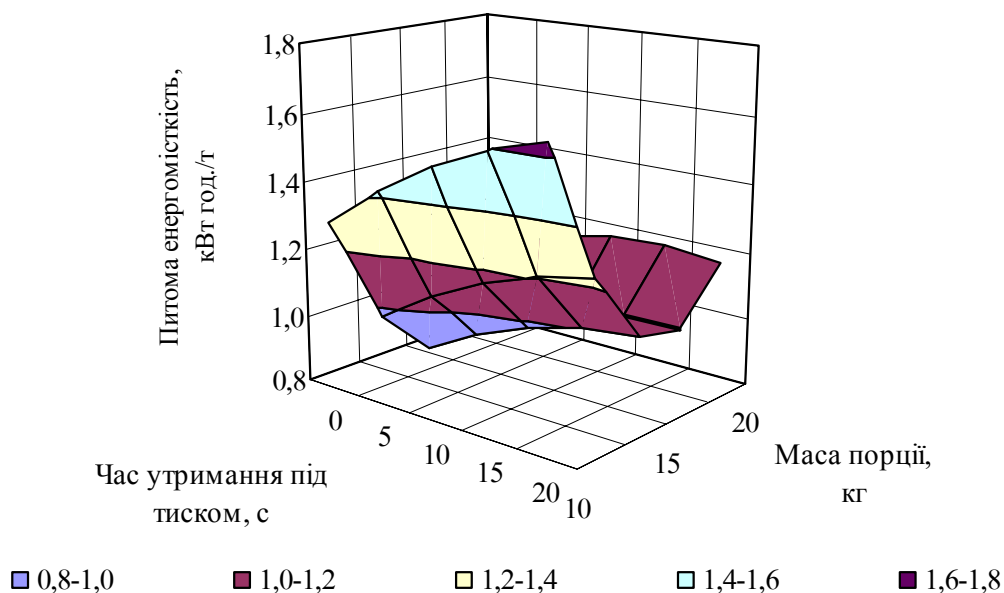


Рис. П.80 – Залежність питомої енергомосткості з урахуванням діапазону щільності від часу утримання матеріалу під тиском та маси порції завантаженого субстрату

Зокрема, при утриманні матеріалу під тиском протягом 20 с питома енергомідкість зростає на 17 %, порівняно з варіантом роботи без утримання матеріалу під тиском, та дорівнює 1,649; 1,032 та 1,153 кВт год./т для відповідних значень маси порції завантаженого субстрату 10; 15 та 20 кг (рис. П.81).

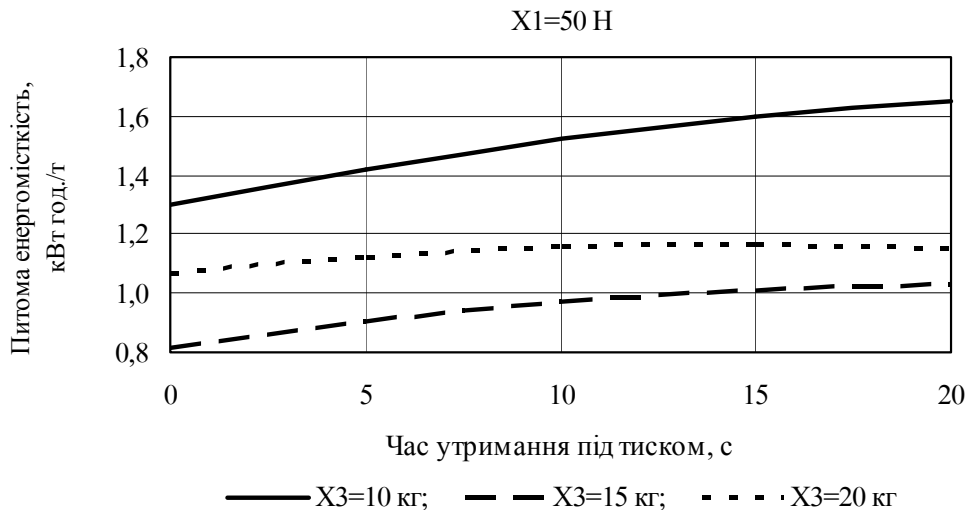


Рис. П.81 – Залежність питомої енергомідкості з урахуванням діапазону щільності від часу утримання матеріалу під тиском

Встановлено (рис. П.82), що зі збільшенням маси порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  питома енергомідкість з урахуванням діапазону щільності  $E_D$  змінюється за параболічною функцією, яка має оптимум – мінімальне значення питомої енергомідкості з урахуванням діапазону щільності знаходиться в діапазоні зміни маси порції завантаженого субстрату від 15 до 17,5 кг, та дорівнює 0,815; 0,97 та 1,0 кВт год./т, для відповідних значень часу утримання матеріалу під тиском 0; 10 та 20 с, що пояснюється збільшенням продуктивності, а в подальшому – більшим, порівняно з ростом продуктивності, збільшенням витрат енергії на ущільнення.

Рівняння регресії залежності показника питомої енергомідкості з урахуванням діапазону щільності  $E_D$  від зміни максимальної сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{IP}$  ( $x_1$ ), часу утримання матеріалу під тиском  $t$  ( $x_2$ ) та маси

порції завантаженого субстрату  $M_{II}$  ( $x_3$ ) за результатами проведеного ПФЕ 3<sup>3</sup> в закодованих величинах має вигляд:

$$E_D = 0,97 - 0,0283x_1 + 0,1082x_2 - 0,1819x_3 + 0,1103x_1^2 - 0,0468x_2^2 + 0,369x_3^2 + 0,0384x_1x_2 - 0,0661x_1x_3 - 0,0661x_2x_3. \quad (II.126)$$

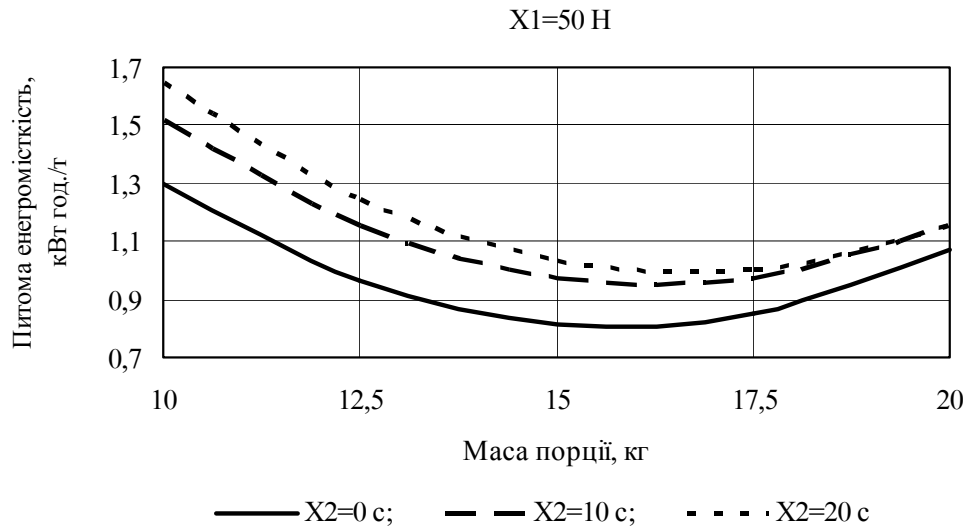


Рис. II.82 – Залежність питомої енергомосткості з урахуванням діапазону щільності від маси порції завантаженого субстрату

У розкодованому вигляді рівняння регресії (II.126) має вигляд:

$$E_D = 4,4621 - 0,0018F_{II} + 0,0362t - 0,4527M_{II} + 0,0001F_{II}^2 - 0,0005t^2 + 0,0148M_{II}^2 + 0,0001F_{II}t - 0,0003F_{II}M_{II} - 0,0013tM_{II}. \quad (II.127)$$

Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на однорідність дисперсій за критерієм Кохрена. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Визначення значущості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стюдента. Гіпотеза про адекватність рівняння підтверджується і його можна використовувати для опису процесу.

На основі експериментальних досліджень було встановлено, що питома енергомісткість процесу ущільнення з урахуванням діапазону щільності змінюється від 0,97 до 1,521 кВт год./т в діапазоні зміни максимальної сили протидії руху мішка з субстратом від 50 до 75 Н. Із збільшенням часу утримання матеріалу під тиском спостерігається збільшення питомої енергомісткості процесу ущільнення, в той же час збільшення маси порції завантаженого субстрату неоднозначно впливає на значення питомої енергомісткості процесу ущільнення соломистого субстрату.

Провівши оптимізаційний розрахунок, на основі рівняння (II.127), було встановлено, що для даних умов перебігу процесу ущільнення та пакування субстрату питома енергомісткість з урахуванням діапазону щільності приймає мінімальне значення при  $F_{\text{ПР}}=53,2$  Н;  $t=19,5$  с та  $M_{\text{П}}=16,7$  кг.

#### 4.12. Методика визначення сили протидії руху мішка з субстратом

Для перешкодження вільного руху мішка з субстратом при пакуванні субстрату було розроблено важільно-амортизаційний прижимний пристрій (рис. II.83, II.84).

Силу тяги, яку необхідно прикласти до пакувального мішка з субстратом, для створення опору руху знаходимо за загальновідомою формулою:

$$F_T = T f_{\text{Ц}}^C, \quad (\text{II.128})$$

де  $F_T$  – сила тяги, яку необхідно прикласти до пакувального мішка для подолання сили опору руху, Н;

$T$  – сила прижиму ролика до бічної поверхні вивантажувальної горловини камери, Н;

$f_{\text{Ц}}^C$  – коефіцієнт тертя поліетилену по сталі, відн. од.

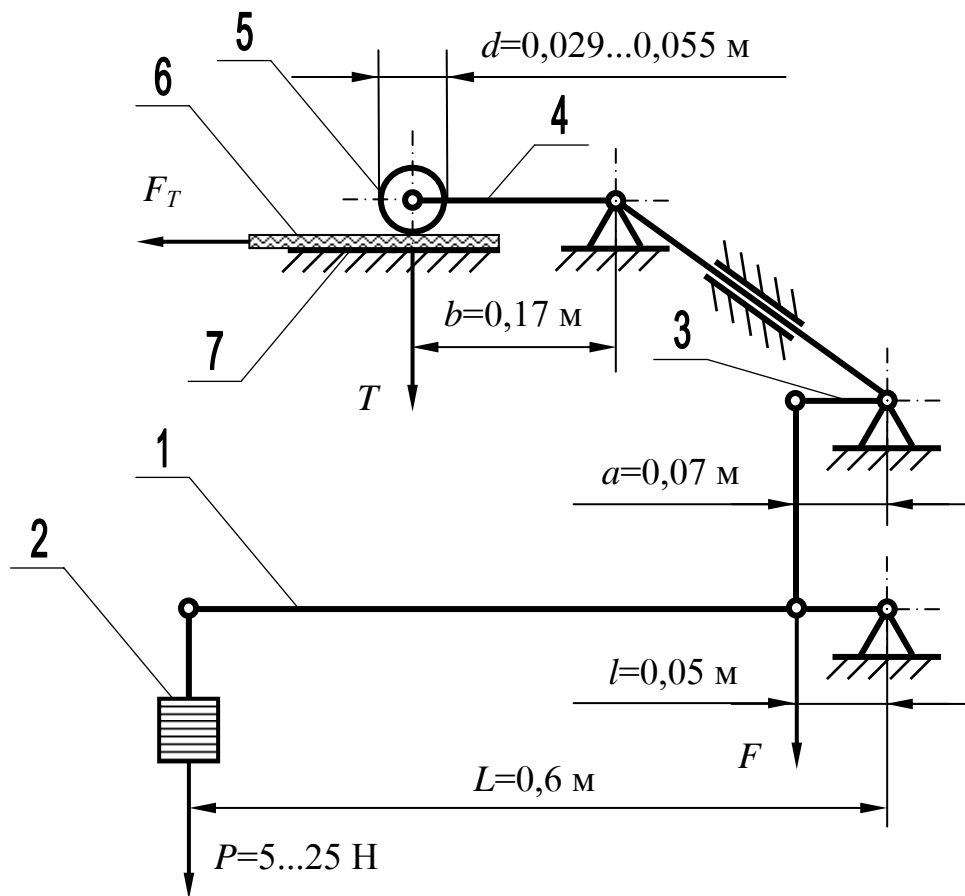
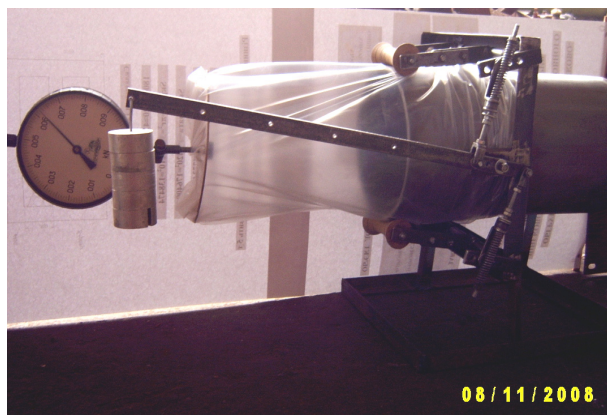
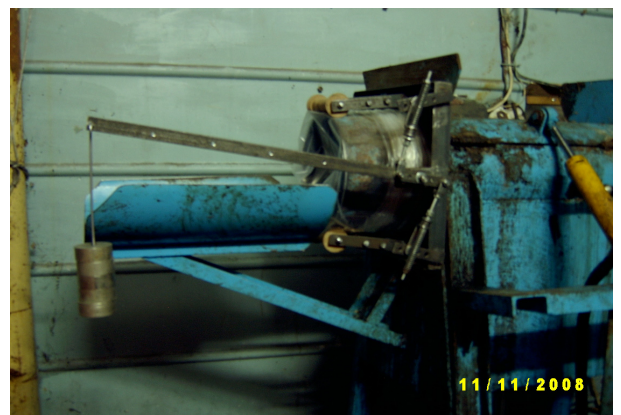


Рис. П.83 – Схема важільно-амортизаційного прижимного пристрою ущільнювача: 1 – керуючий важіль; 2 – вантаж; 3 – проміжний важіль; 4 – важіль ролика; 5 – прижимний ролик; 6 – пакувальний мішок; 7 – бічна поверхня вивантажувальної горловини камери



а)



б)

Рис. П.84 – Загальний вигляд важільно-амортизаційного прижимного пристрою ущільнювача під час випробувань (а) та у виробничих умовах (б)

Знаходимо силу прижиму ролика до бічної поверхні вивантажувальної горловини:

$$T = \frac{Fa}{b}, \quad (\text{II.129})$$

де  $F$  – сила, прикладена до проміжного важеля, Н;

$a$  – плече проміжного важеля, м;

$b$  – плече важеля ролика, м.

Силу, прикладену до проміжного важеля, знаходимо:

$$F = \frac{PL}{l}, \quad (\text{II.130})$$

де  $P$  – сила, прикладена до керуючого важеля, Н;

$L$  – довжина керуючого важеля, м;

$l$  – плече керуючого важеля, де прикладена точка дії на проміжний важіль, м.

Провівши експериментальні дослідження було встановлено, що при величині прикладеного зусилля  $P$  до керуючого важеля в межах від 0 до 25 Н величина сили прижиму ролика  $T$ , до бічної поверхні вивантажувальної горловини камери, у варіанті без встановлених амортизаційних пружин, коливалась в межах від 10 до 102,3 Н, та від 12,3 до 123,5 Н – у варіанті з встановленими амортизаційними пружинами (рис. II.85).

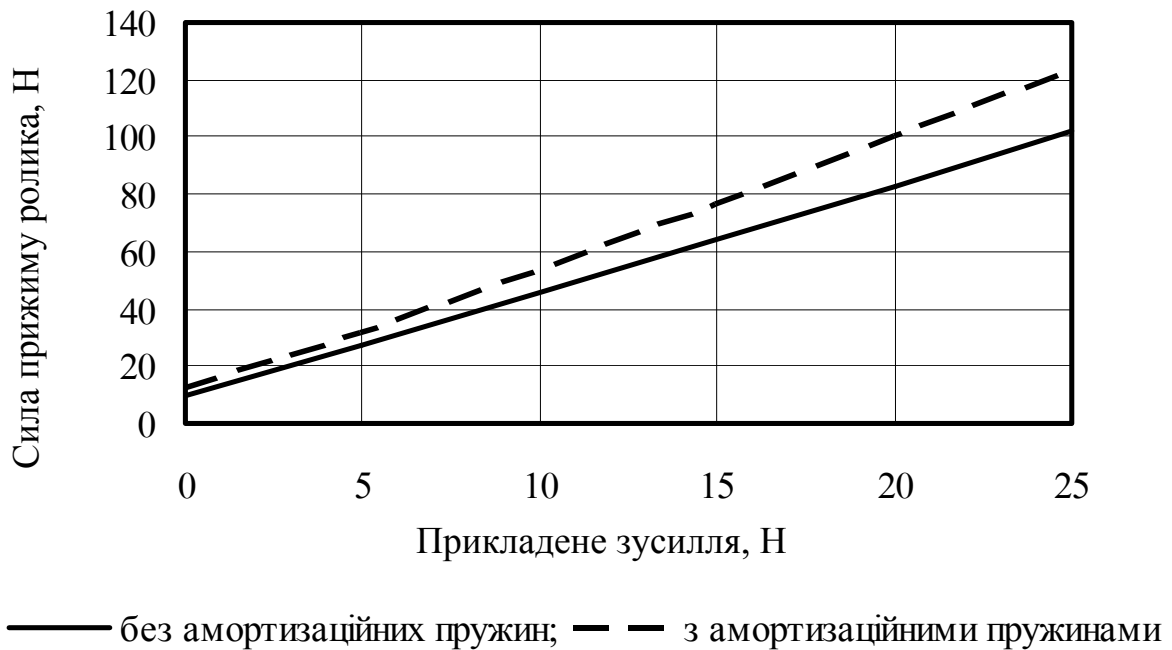


Рис. П.85 – Графік залежності сили прижиму ролика важільно-амортизаційного прижимного пристрою від прикладеного зусилля

#### 4.13. Дослідження роботи важільно-амортизаційного прижимного пристрою ущільнювача

Для встановлення взаємозв'язку впливу ширини прижимного ролика  $L$  (мм), мінімального діаметра ролика  $d$  (мм) та величини прикладеного зусилля на важелі  $P$  (Н) на силу протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$  (Н) у виробничих умовах було проведено експеримент за планом Бокса-Бенкіна.

При цьому постійними були такі конструкційні параметри поршневого ущільнювача: зовнішній діаметр камери основного ущільнення  $D_{ЗКО}=0,273$  м, довжина вивантажувальної горловини  $L_I=0,2$  м [208].

За результатами багатофакторних експериментів були отримані математичні моделі – рівняння регресії у вигляді поліномів другого порядку.

Аналіз залежностей (рис. П.86) показує, що зі зміною ширини прижимного ролика  $L$  сила протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$  залишається практично незмінною та дорівнює 55,6; 62,9 та 66,9 Н для відповідних значень діаметра

ролика 55; 42 та 29 мм, що вказує про недоцільність в подальшому врахування впливу даного фактору (рис. П.87).

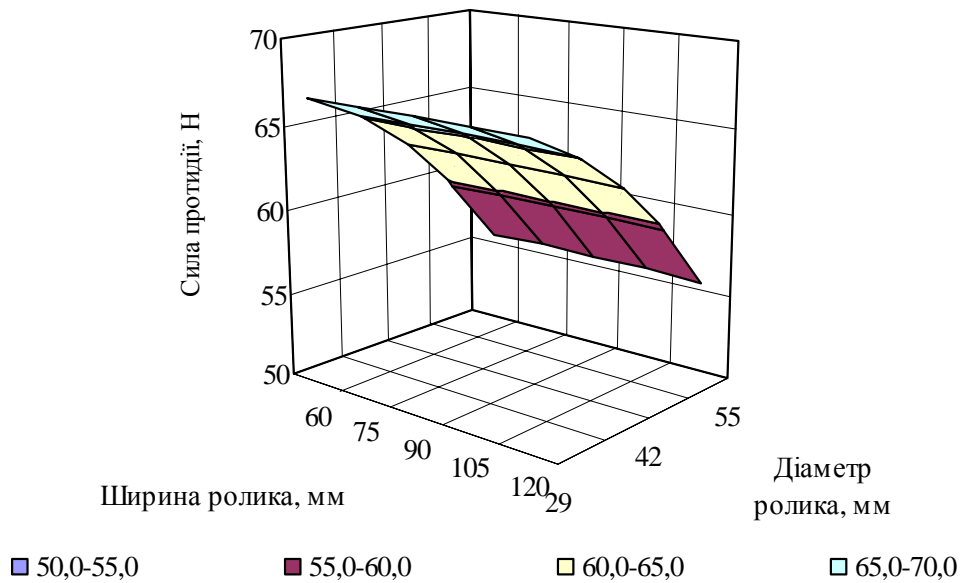


Рис. П.86 – Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від ширини та діаметра ролика

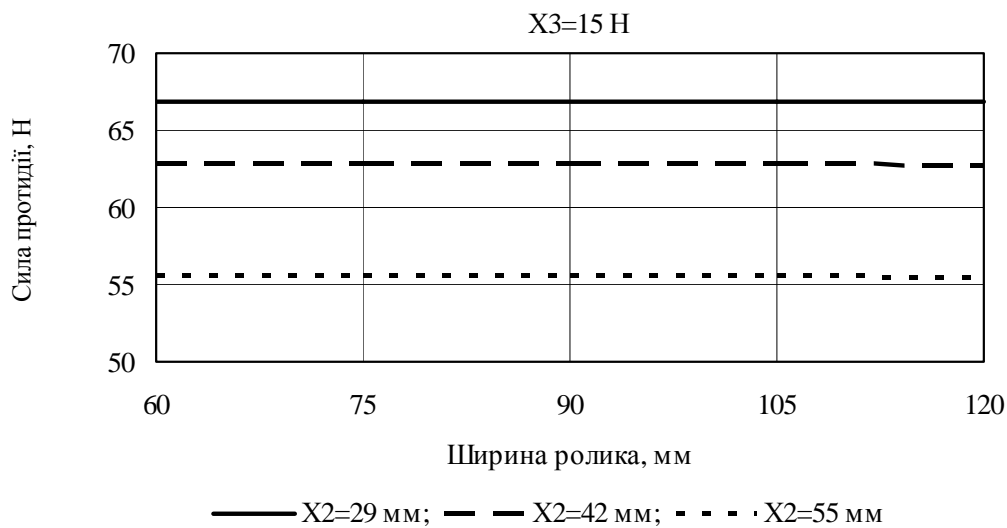


Рис. П.87 – Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від ширини ролика

Було встановлено (рис. П.88) зменшення сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$  в залежності від збільшення діаметра ролика  $d$ , що пояснюється наявністю додаткового опору кочення, при мінімальному діаметрі ролика, та відповідного зменшенні його по мірі збільшення діаметра ролика, що пов'язане з подоланням перешкод (збрижів), які мають місце при одягнутому мішку на вивантажувальну горловину камери. Зокрема, при діаметрі ролика 29 мм сила протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$  на 17 % більша, в порівнянні до варіанту роботи з діаметром ролика 55 мм. Відмічено максимальне значення сили протидії руху мішка з субстратом при діаметрі ролика 29 мм, яка змінюється від 66,8 до 66,9 Н при всіх значеннях ширини ролика.

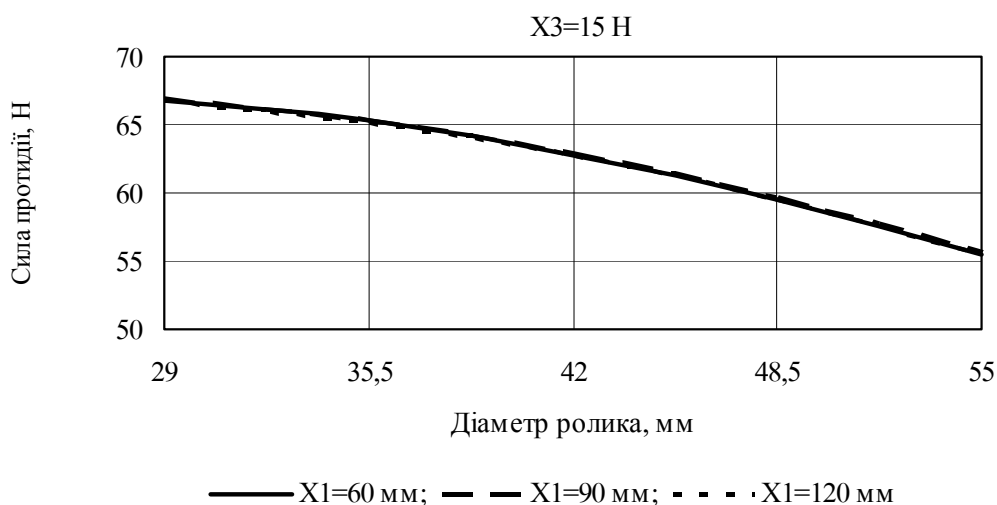


Рис. П.88 – Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від діаметра ролика

Аналіз залежностей (рис. П.89) показує, що зі збільшенням величини прикладеного зусилля на важелі  $P$  сила протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$  збільшується і має максимальне значення при силі протидії руху мішка 25 Н та змінюється від 81,5 до 81,7 Н при всіх значеннях ширини ролика (рис. П.90), що пов'язане зі створенням додаткового опору кочення ролика при утримуванні мішка, одягненого на вивантажувальну горловину камери.

Було встановлено (рис. П.91), що зі збільшенням ширини прижимного ролика  $L$  сила протидії руху мішка  $F_{IP}$  залишається незмінною та дорівнює 31,3; 62,9 та 81,7 Н, для відповідних значень величини прикладеного зусилля на важелі 5; 15 та 25 Н.

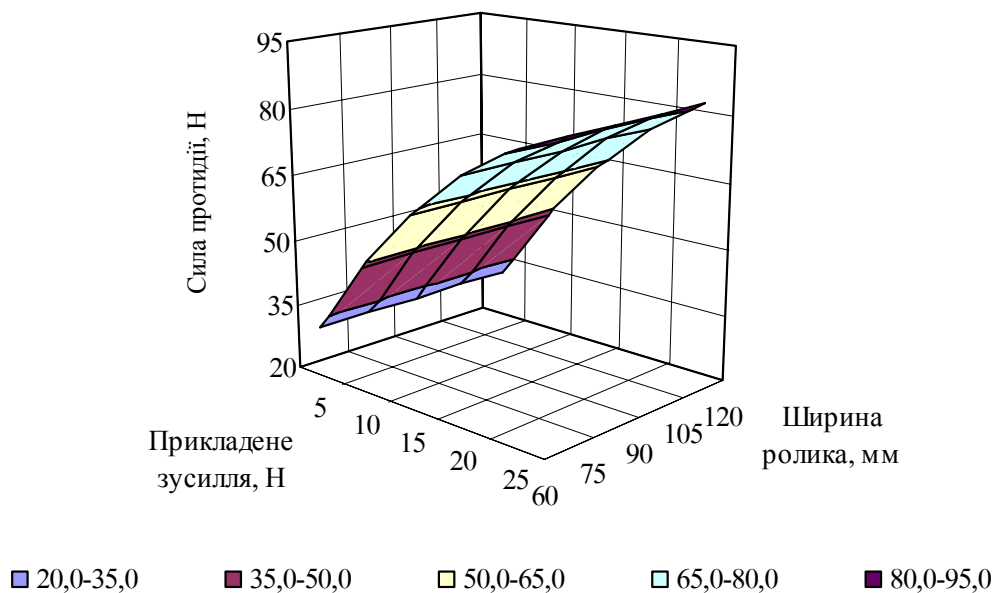


Рис. П.89 – Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від прикладеного зусилля на важелі та ширини ролика

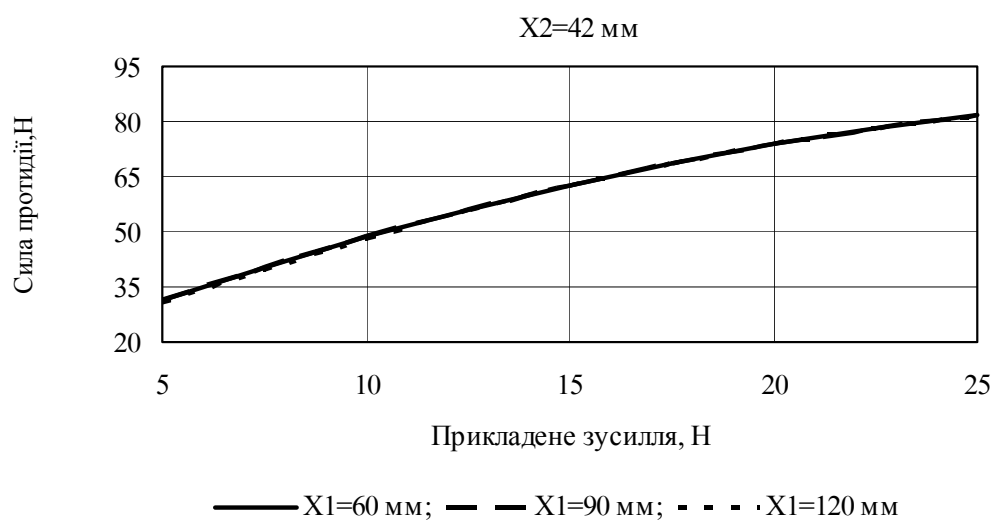


Рис. П.90 – Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від прикладеного зусилля на важелі

Аналіз залежностей (рис. П.92) показує, що зі збільшенням діаметра ролика  $d$  відбувається зменшення сила протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$ . Зокрема, при діаметрі ролика 29 мм сила протидії на 18,1 % більша, порівняно до варіанту роботи при діаметрі ролика 55 мм, та дорівнює 34,35; 66,92 та 86,65 Н для відповідних значень прикладеного зусилля на важелі 5; 15 та 25 Н (рис. П.93, а).

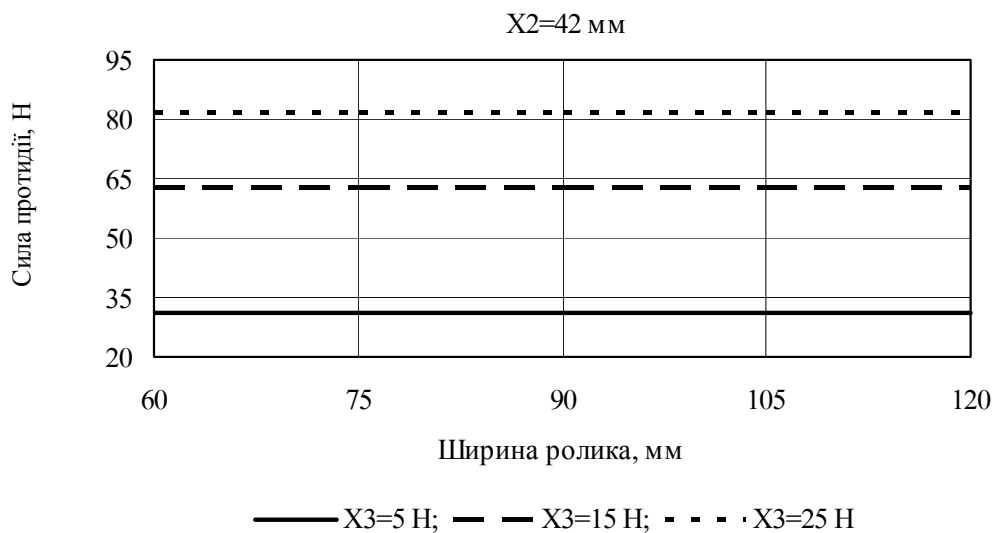


Рис. П.91 – Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від ширини ролика

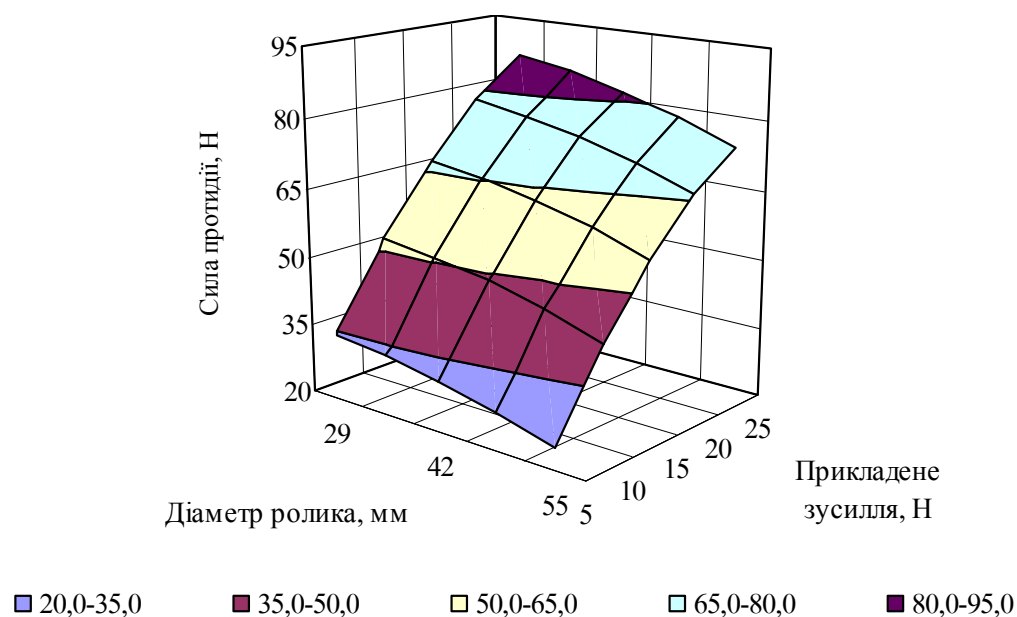
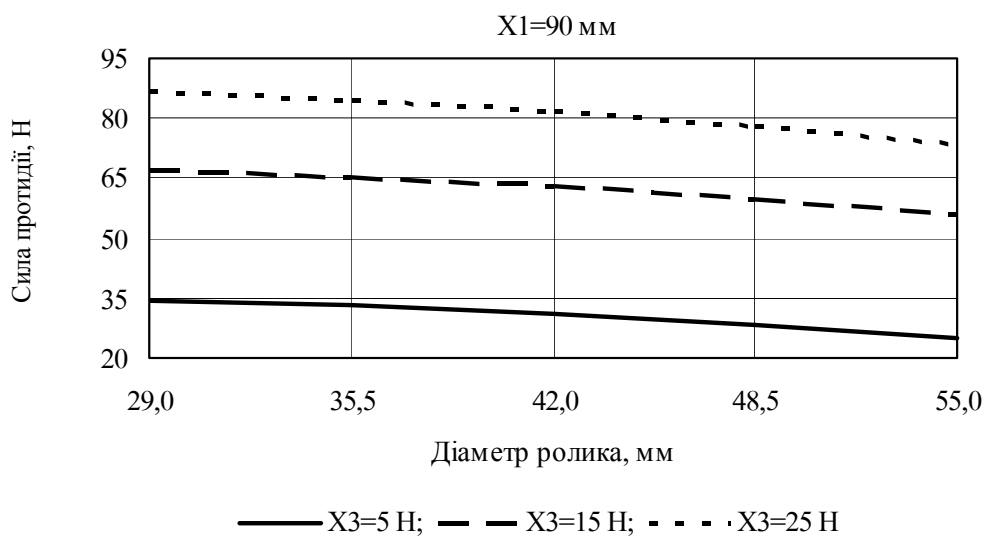
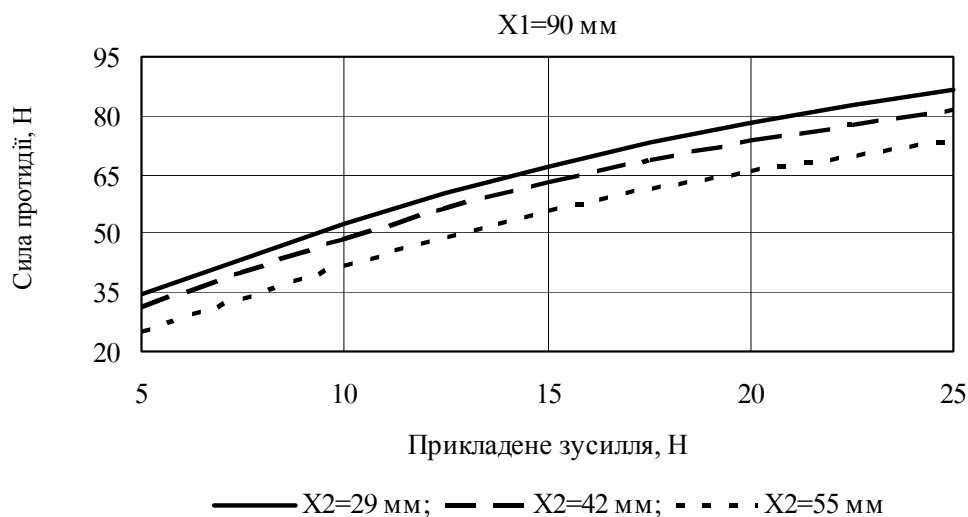


Рис. П.92 – Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від діаметра ролика та прикладеного зусилля на важелі

Було встановлено (рис. П.93, б), що зі збільшенням величини прикладеного зусилля на важелі  $P$  від 5 до 25 Н сила протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$  збільшується на 62,6 %. При величині прикладеного зусилля на важелі 25 Н сила протидії руху мішка з субстратом має максимальне значення, що становить 73,5; 81,7 та 86,7 Н, для відповідних значень діаметра ролика 55; 42 та 29 мм.



а)



б)

Рис. П.93 – Залежності сили протидії руху мішка з субстратом від діаметра ролика (а) та прикладеного зусилля на важелі (б)

Рівняння регресії залежності сили протидії руху мішка з субстратом  $F_{ПР}$  від зміни ширини прижимного ролика  $L(x_1)$ , мінімального діаметра ролика  $d(x_2)$  та величини прикладеного зусилля на важелі  $P(x_3)$  за результатами проведеного ПФЕ 3<sup>3</sup> в закодованих величинах має вигляд:

$$F_{ПР} = 62,889 - 0,0208x_1 - 5,6667x_2 + 25,2292x_3 - 0,0903x_1^2 - 1,6319x_2^2 - 6,4236x_3^2 + 0,125x_1x_3 - 0,9167x_2x_3. \quad (II.131)$$

У розкодованому вигляді рівняння регресії (II.131) має вигляд:

$$F_{ПР} = 7,2359 + 0,0111L + 0,481d + 4,7087P - 0,0001L^2 - 0,0097d^2 - 0,0642P^2 + 0,0004LP - 0,0071dP. \quad (II.132)$$

Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на однорідність дисперсій за критерієм Кохрена. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Визначення значущості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стюдента. Гіпотеза про адекватність рівняння підтверджується і його можна використовувати для опису процесу.

Провівши оптимізаційний розрахунок на основі рівняння (II.132) було встановлено, що сила протидії руху мішка з субстратом приймає оптимальне значення при ширині прижимного ролика 120 мм, а величина прикладеного зусилля на важелі може змінюватися від 10 до 15 Н, при мінімальному діаметрі ролика від 35 до 55 мм.

#### **4.14. Методика проведення експериментальних досліджень з оптимізацією конструкційних та режимних параметрів ущільнювача**

Експерименти по визначенню конструкційних та режимних параметрів ущільнювача проводилася з використанням методики планування

багатофакторних експериментів [203, 213, 214, 215].

Після проведення експериментальних досліджень та визначення оптимальних конструкційних та режимних параметрів поршневого ущільнювача визначали параметри продуктивності, енергоємності та якості роботи ущільнювача при ущільненні субстрату з фіксацією конструкційно-режимних параметрів ущільнювача на оптимальних рівнях.

На основі проведених теоретичних досліджень та аналізу літературних джерел для проведення експериментальних досліджень ущільнювача було відібрано три фактори, які суттєво впливають на робочий процес і обрано їх натуральні значення на нульовому рівні та на рівнях їх варіювання.

Для визначення впливу факторів  $x_1$ - $x_3$  на критерії оптимізації проводили експеримент за трьохрівневою матрицею оптимального плану Бокса-Бенкіна ( $B_3$ ) для трьох досліджуваних факторів [216], матриця якого наведена в табл. II.4.

Таблиця II.4 – Матриця планування трьохфакторного експерименту за планом Бокса-Бенкіна ( $B_3$ )

№ п/п дослі ду	Назва досліджуваних факторів та їх позначення					
	Максимальна сила протидії підпору, Н		Час утримання матеріалу, с		Маса порції завантаженого матеріалу, кг	
	Код	Значення	Код	Значення	Код	Значення
1	+1	100	+1	20	0	15
2	-1	0	-1	0	0	15
3	+1	100	-1	0	0	15
4	-1	0	+1	20	0	15
5	+1	100	0	10	+1	20
6	-1	0	0	10	-1	10
7	+1	100	0	10	-1	10
8	-1	0	0	10	+1	20
9	0	50	+1	20	+1	20
10	0	50	-1	0	-1	10
11	0	50	+1	20	-1	10
12	0	50	-1	0	+1	20
13	0	50	0	10	0	15
14	0	50	0	10	0	15
15	0	50	0	10	0	15

#### **4.15. Обробка результатів експерименту**

Експериментальні дані отримані при оцінці режимів роботи поршневого ущільнювача субстрату, оброблялись при залученні числових характеристик випадкових величин (методом математичної статистики) [216, 217, 218, 219].

При проведенні експериментів приймали трикратну повторність дослідів [199, 217]. Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на адекватність моделі за критерієм Кохрена для 95-% рівня довірчої ймовірності. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Перевірка сумнівних результатів та їх достовірність перевірялася за гіпотезою про грубі помилки та про випадковості вибірки з використанням перевірки належності результатів до нормального розподілення по довірчим границям випадкової погрішності при прийнятій довірчій вірогідності за критерієм Стьюдента [199, 217, 220, 221, 222] та методу різниць [223].

Результати записів діаграм розшифровувались та оброблялися за допомогою електронно-обчислювальної техніки з використанням загальноприйнятих та оригінальних програм.

#### **4.16. Адекватність математичних моделей процесу роботи поршневого ущільнювача субстрату**

Використовуючи отриману в результаті експерименту математичну модель (П.99), перевіряли відповідність теоретичних моделей та отриманих експериментальних даних процесу роботи поршневого ущільнювача. Для цього співставляли теоретичні та експериментальні значення питомої енергомісткості процесу ущільнення соломистого субстрату в залежності від маси завантаженої порції  $M_{\text{Д}}$ .

Результати співставлення розрахункових та експериментальних значень питомих витрат енергії на процес ущільнення та пакування субстрату наведено в

табл. II.5. Теоретичні розрахунки проводились при значеннях маси порції завантаженого субстрату 10, 15 та 20 кг.

Таблиця II.5 – Результати визначення питомих витрат енергії процесу ущільнення та пакування субстрату

№ п/п	Маса порції $M_{II}$ , кг	Питомі витрати енергії, кВт год./т				Відхилення, %	
		$E_T$		$E_E$		$\Delta E$	
1	10	0,057	0,074	0,056	0,074	-2,02	-0,17
2	10	0,082		0,085		3,29	
3	10	0,082		0,081		-1,77	
4	15	0,109	0,116	0,119	0,137	8,42	14,84
5	15	0,125		0,158		20,59	
6	15	0,114		0,134		15,52	
7	20	0,135	0,123	0,192	0,155	29,77	19,71
8	20	0,128		0,144		11,58	
9	20	0,106		0,129		17,79	

За результатами досліджень теоретичні значення питомих витрат енергії процесу ущільнення та пакування субстрату, при масі порції завантаженого субстрату 10; 15 та 20 кг, відповідно становили 0,074; 0,116 та 0,123 кВт год./т. Для аналогічних значень маси порції експериментальні значення питомих витрат енергії становили відповідно 0,074; 0,137 та 0,155 кВт год./т (рис. II.83).

Середні значення відхилень теоретичних та експериментальних даних за даними табл. II.5 склали від 0,17 до 19,71 %. Середнє значення відхилень по дослідженню становило 11,46 %.

Перевіркою гіпотези про адекватність математичної моделі (II.99) за критерієм Фішера встановлено, що гіпотезу результатів можна вважати вірною з 95 %-ною ймовірністю так як  $F_T=2,75 < F_P=3,44$ .

Отже, можемо зробити висновок про адекватність математичної моделі (П.99) для визначення питомої енергомiсткiсть процесу ущiльнення та пакування субстрату.

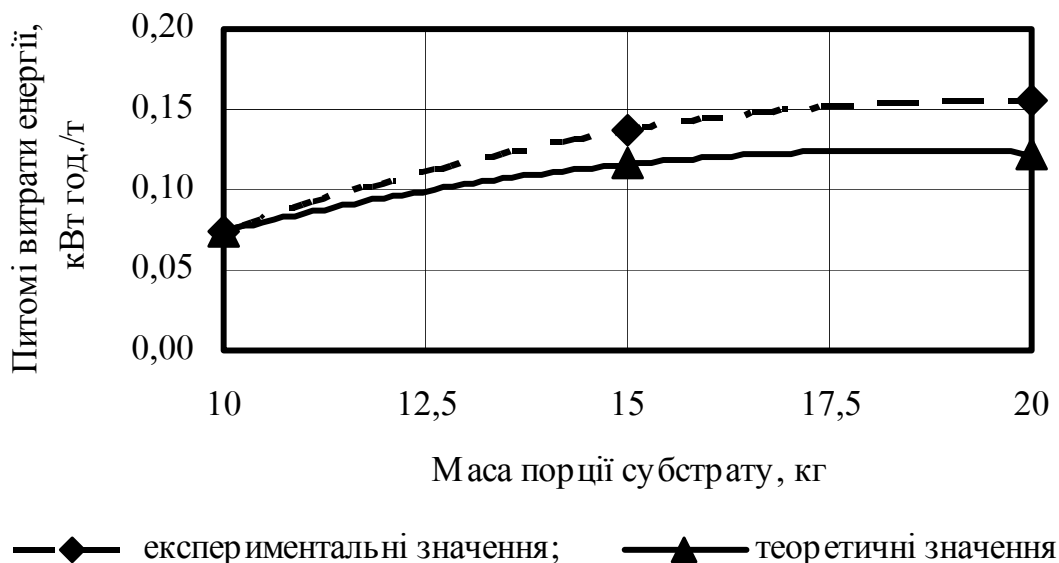


Рис. П.83 – Результати співставлення розрахункових та експериментальних значень питомих витрат енергії

#### 4.17. Резюме по розділу 4

На основі результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень процесу ущiльнення та пакування субстрату для вирощування гливи поршневим ущiльнювачем можна зробити такі висновки:

1. Уточнено значення коефіцієнта тертя субстрату  $f$  по сталі. Встановлено, що середнє значення коефіцієнта тертя досліджуваної партії соломистого субстрату становить  $f=0,28$  відн. од.

2. Експериментально визначено залежність коефіцієнта бокового тиску субстрату від нормального тиску. Встановлено, що при зміні значень нормального тиску в межах від 0,53 до 6 кПа значення коефіцієнта бокового тиску субстрату зростає за експоненціальною залежністю, а при значеннях нормального тиску більше 6 кПа коефіцієнт бокового тиску має значення  $0,9\pm 0,03$  відн. од.

3. Експериментально визначено залежність модуля пружності, що характеризує фізико-механічні властивості субстрату від відносної деформації. Встановлено, що в межах зміни початкової щільності від 93 до 643 кг/м<sup>3</sup>, модуль пружності пастеризованого субстрату на основі вологої соломи має експоненційну залежність від його початкової щільності і змінюється в межах від 8 до 420 кПа.

4. Середнє значення потужності, затраченої на виконання одного циклу процесу ущільнення субстрату з періодичним вимиканням електродвигуна гідравлічної станції ущільнювача становило 961,5 Вт. Середнє значення потужності, затраченої на виконання одного циклу процесу ущільнення субстрату без вимикання електродвигуна становило 1098,4 Вт, що на 12,5 % більше, в порівнянні до варіанту з періодичним вимиканням електродвигуна гідравлічної станції ущільнювача.

5. За методикою факторного планування і проведення експерименту визначено вплив основних конструкційно-режимних параметрів поршневого ущільнювача на питому енергомідкість процесу ущільнення та пакування субстрату з урахуванням якості роботи та сили протидії важільно-амортизаційного прижимного пристрою. Одержано математичні моделі у вигляді рівнянь регресії другого порядку, що адекватно описують процес роботи ущільнювача. Застосування методики математичного планування експерименту дозволило визначити значення головних факторів, які мають вплив на показники якості ущільнених мішків субстрату та визначають режими роботи поршневого ущільнювача субстрату, яке перевірено та підтверджено експериментами.

6. Провівши оптимізаційний розрахунок отриманих рівнянь регресії, було встановлено, що питома енергомідкість без урахування якості роботи приймає мінімальне значення при  $F_{\text{ПР}}=92,2$  Н;  $t=15,5$  с та  $M_{\text{П}}=19,2$  кг. Питома енергомідкість з урахуванням відхилення щільності від середньої технологічно заданої величини приймає мінімальне значення при  $F_{\text{ПР}}=57,9$  Н;  $t=18,3$  с та  $M_{\text{П}}=17,1$  кг, а з урахуванням відхилення щільності субстрату від технологічно заданого діапазону щільності приймає мінімальне значення при  $F_{\text{ПР}}=53,2$  Н;

$t=19,5$  с та  $M_{II}=16,7$  кг. Сила протидії руху мішка з субстратом приймає раціональне значення при  $L=120$  мм;  $d=29$  мм та  $P=25$  Н.

7. За результатами досліджень теоретичні значення питомих витрат енергії процесу ущільнення та пакування субстрату, при масі порції завантаженого субстрату 10, 15 та 20 кг, відповідно становили 0,074, 0,116 та 0,123 кВт год./т. Для аналогічних значень маси порції експериментальні значення питомих витрат енергії становили відповідно 0,074, 0,137 та 0,155 кВт год./т. Середнє значення відхилень теоретичних та експериментальних даних по досліді становило 11,46 %.

# ЧАСТИНА ІІІ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ СПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ГЛИВИ

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

### 1.1. Обґрунтування конструктивних параметрів стелажа для вирощування гливи

Вага субстрату в мішку для вирощування гливи визначається:

$$G_M = g \frac{\pi D_M^2}{4} h_M \gamma_C, \quad (\text{ІІІ.1})$$

де  $G_M$  – вага субстрату в мішку для вирощування гливи, Н;

$\gamma_C$  – щільність субстрату для вирощування гливи, кг/м<sup>3</sup>.

Мішки на стелажі для вирощування гливи встановлюються, як правило, у вигляді стінки, що забезпечує доступ до них із боків під час збору грибів [224].

Кількість мішків по висоті стелажа визначається, виходячи з габариту культиваційного приміщення по висоті та габаритних параметрів стелажа, за допомогою виразу:

$$n_M^B = \frac{H_{КП} - h_{П} - h_C}{h_M}, \quad (\text{ІІІ.2})$$

де  $n_M^B$  – кількість мішків по висоті стелажа, шт.;

$H_{КП}$  – висота культиваційного приміщення, м;

$h_{II}$  – відстань від підлоги до нижнього мішка, м;

$h_C$  – відстань від стелі до верхнього мішка, м.

Таким чином, висота стелажа становить

$$H = h_{II} + n_M^B h_M, \quad (\text{III.3})$$

де  $H$  – висота стелажа, м.

Кількість мішків по ширині стелажа визначається:

$$n_M^{III} = 2 \left( \frac{B - 2D_M}{l} + 1 \right), \quad (\text{III.4})$$

де  $n_M^{III}$  – кількість мішків по ширині стелажа, шт.;

$B$  – ширина стелажа, м;

$l$  – відстань між стійками стелажа по ширині, м.

Кількість стінок з мішками визначається виходячи із довжини стелажа та ширини проходу між стінками із мішків за виразом:

$$n_C = \frac{2(L - D_M + l_M)}{l_B + l_M}, \quad (\text{III.5})$$

де  $n_C$  – кількість стінок з мішками, шт.;

$l_B$  – більша відстань між стійками стелажа по довжині, м;

$l_M$  – менша відстань між стійками стелажа по довжині, м.

Загальна кількість мішків в одному стелажі становить:

$$n_M = n_C n_M^{III} n_M^B, \quad (\text{III.6})$$

де  $n_M$  – загальна кількість мішків в одному стелажі, шт.

Згідно схеми дії навантажень та сил (рис. III.1) лінійне навантаження на погонний метр підтримуючого прутка по ширині стелажа становить:

$$q = \frac{G_M}{D_M}, \quad (\text{III.7})$$

де  $q$  – лінійне навантаження на погонний метр підтримуючого прутка по ширині стелажа, Н/м.

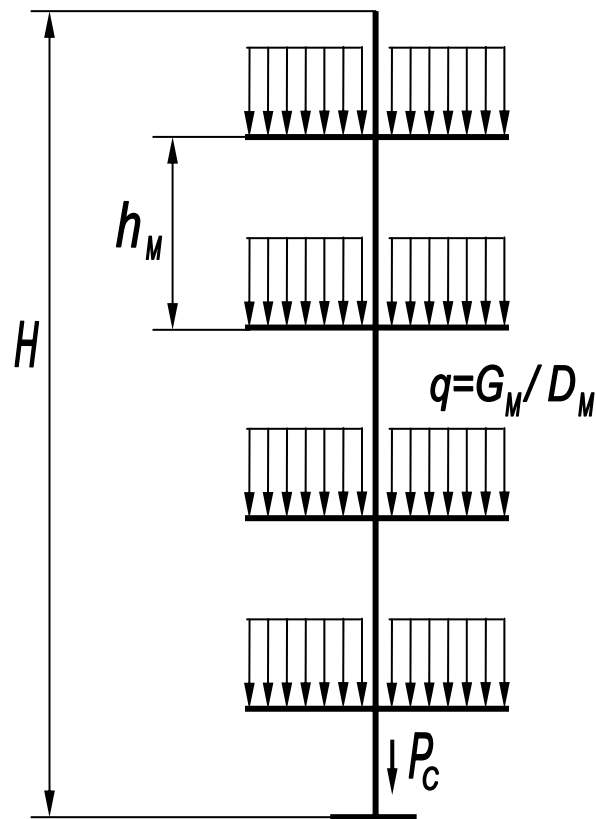


Рис. III.1 – Схема дії розподілених навантажень на стелажну систему для вирощування гливи звичайної

Згідно методики вибору перерізу консольної защемленої балки [225] момент опору підтримуючого прутка, працюючого на прогин, визначається:

$$W_X \geq \frac{qD_M^2}{2[\sigma_{PP}]}, \quad (\text{III.8})$$

де  $W_X$  – момент опору підтримуючого прутка, працюючого на прогин, м<sup>3</sup>;  
 $[\sigma_{PP}]$  – розрахунковий опір сталі на прогин, Па.

Враховуючи загальновідоме значення моменту опору круглого прутка:

$$W_X = \frac{\pi d^3}{32},$$

вираз для визначення діаметра підтримуючого прутка матиме вигляд:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16qD_M^2}{\pi[\sigma_{PP}]}} \quad (\text{III.9})$$

де  $d$  – діаметр підтримуючого прутка, м.

Загальна вага підтримуючих прутків визначається:

$$G_{II} = g \frac{\pi d^2}{4} B \gamma_{CT} (n_M^B + 1), \quad (\text{III.10})$$

де  $G_{II}$  – загальна вага підтримуючих прутків, Н.

Підтримуючі прутки прикріплюються до вертикальних стійок стелажа, які сприймають загальну вагу мішків із субстратом та підтримуючих прутків.

Загальна площа перерізу стійок стелажа визначається:

$$F = \frac{G_M n_M^B n_M^{III} + G_{II}}{[\sigma_C] - \gamma_{CT} L_C} \quad (\text{III.11})$$

де  $F$  – загальна площа перерізу стійок стелажа, м<sup>2</sup>;

$G_{II}$  – загальна вага підтримуючих прутків стелажа, Н;

$[\sigma_C]$  – розрахунковий опір прокатної сталі стискуванню, Па;

$L_C$  – довжина стійок однієї стінки стелажа, м.

Крутні моменти, діючі на стійку від ваги двох сусідніх мішків, які розміщені на одному підтримуючій прутку, взаємно компенсуються, так як діють назустріч один одному.

Загальна довжина стійок однієї стінки стелажа

$$L_C = 100H \frac{n_M^{III}}{2}, \quad (III.12)$$

де  $L_C$  – довжина стійок однієї стінки стелажа, м.

Стійки стелажа доцільно виконувати зі зведеного прутка того ж діаметра, що і підтримуючі прутки. Це дозволить покращити технологічність конструкції та зменшити номенклатуру використовуваного прокату. В цьому випадку міцність стійок буде значно перевищувати розрахункову.

Запас стійкості стійки стелажа визначається в найбільш навантаженій нижній ділянці з урахуванням формули Ейлера [226] за виразом:

$$k_C = \frac{\pi^2 E I n_M^{III}}{4h_{II}^2 (G_M n_M^B n_M^{III} + G_{II})}, \quad (III.13)$$

де  $k_C$  – запас стійкості стійки стелажа, відносних од.;

$E$  – модуль пружності сталі, Па;

$I$  – осьовий момент інерції для круглої стійки, м<sup>4</sup>.

Таким чином, на основі досліджень можна зробити висновок, що при конструюванні стелажних систем для вирощування гливи в мішках необхідно використовувати одну номенклатуру та розмір арматури, причому її вибір

проводити, виходячи з міцності підтримуючих прутків, на які встановлюються мішки та запасу стійкості стійок стелажа, а також використовувати повздовжні балки для з'єднання конструктивних елементів, що забезпечить збільшення стійкості стелажної системи.

## 1.2. Існуючі системи та способи опалення і вентиляції споруд закритого ґрунту

Споруди закритого ґрунту поділяються на кілька основних типів: засклені теплиці, парники та культивацийні приміщення для грибів [227, 228, 229, 230, 231]. В свою чергу теплиці бувають ґрунтові та гідропонні. Гідропонні теплиці, також, поділяються на теплиці, в яких замість ґрунту використовують щебінь, мінеральну вату тощо [232, 233, 234, 235].

Розповсюджено два основні види теплиць – ангарні та блокові. Класифікація основних типів СЗГ приведена на рис. III.2.

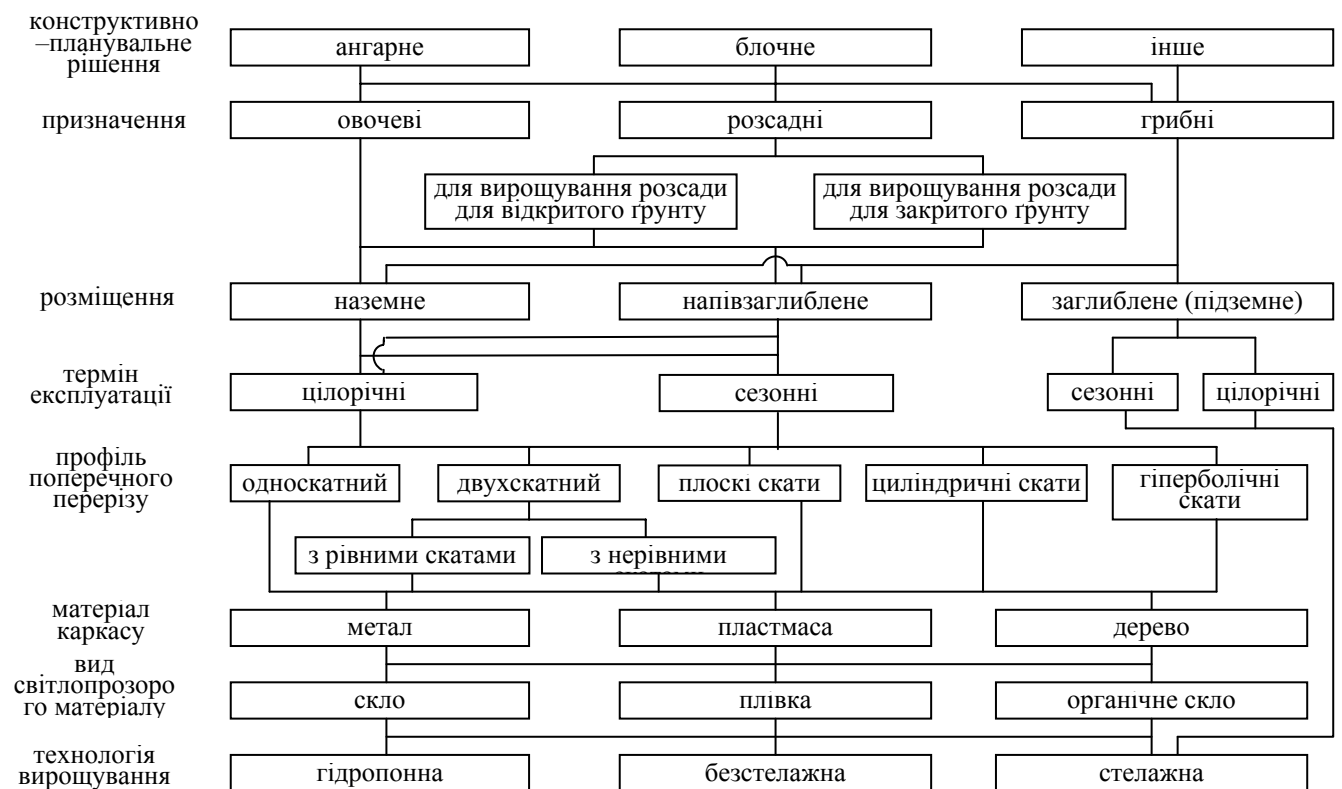


Рис. III.2 – Класифікація споруд закритого ґрунту

Технологічне обладнання закслених теплиць складається із системи опалення повітря та ґрунту, поливу та підживлення рослин, вентиляції, випромінювальних установок, установок автоматичного регулювання мікроклімату, дренажних пристроїв, механізмів і машин для обробітку ґрунту та боротьби із шкідниками і хворобами рослин.

В СЗГ найбільш енергоємним є опалювально-вентиляційне обладнання. Розповсюджені кілька видів опалення, це: водяний; паровий; повітряний; газовий; біологічний та сонячний, які в свою чергу поділяються за способом обігріву на ґрунтові, повітряні та комбіновані [235, 236]. Класифікація систем опалення приведена на рис. III.3.

Ґрунтовий спосіб обігрівання забезпечує швидке розігрівання парників і теплиць, тому відзначається найменшою енергомідкістю і великою теплоакумулюючою здатністю, завдяки чому допускаються перерви в енергопостачанні [235].

При повітряному обігріві витрати енергії в півтора рази більші порівняно з ґрунтовим [235], але перевагою повітряного обігріву є менші капітальні вкладення на будівництво. Повітряне обігрівання рекомендується при середніх та пізніх строках введення парників і теплиць в експлуатацію і використовується, як правило, у весняних теплицях. Роздачу повітря проводять струменями або за допомогою поліетиленових повітроводів. Перепад температур по висоті при повітряному обігріві більше, ніж при інших видах обігріву. Температура повітря в верхній зоні на 4-6 °С вище, ніж у приземному шарі. Це викликає підвищену витрату теплоти на опалення.

Крім того, при повітряному обігріві тяжко сформувати потрібний температурний режим у приземному шарі повітря в теплиці, особливо при низьких температурах зовнішнього повітря. Поверхня листя й ґрунту інтенсивніше охолоджується в результаті теплообміну випромінюваним холодною огорожею, чим нагрівається за рахунок теплого повітря [236]. Перераховані недоліки звужують область використання повітряного опалення. У зимових теплицях його використовують для підігріву вентиляційного повітря.

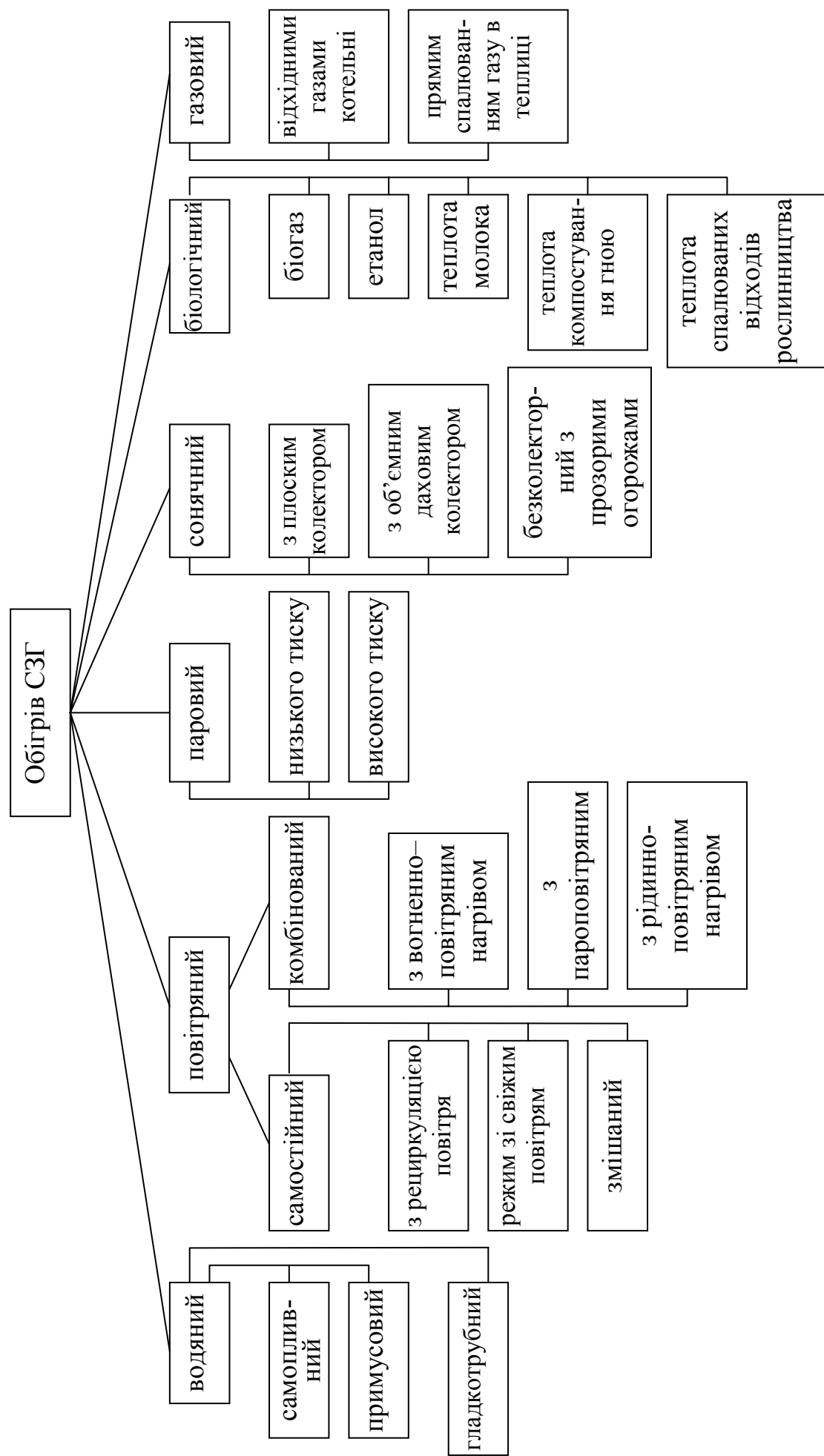


Рис. III.3 – Класифікація систем опалення

Комбіноване (грунтово-повітряне) обігрівання складається з окремих елементів:

а) покрівельний, підлотковий, цокольний, підґрунтовий та контурний обігрів (водяне опалення);

б) повітряне опалення.

Комбінований вид обігрівання забезпечує найкращі умови для рослин, але капітальні витрати при цьому найбільші [235]. Використовується при ранніх строках введення в експлуатацію парників і теплиць.

Водяний обігрів отримав найбільше поширення в зимових теплицях. При цьому в ґрунтових теплицях передбачають обігрів шатра та ґрунту, в стелажних – обігрів шатра й підстелажний обігрів. Обігрів ґрунту і підстелажний обігрів представляють собою ряд труб закладених у ґрунт або під стелажми. По трубах циркулює вода [236]. Водяний обігрів добре формує температурний режим у приземному шарі. При цьому відносно просто регулювати подачу теплоти. Недоліком є більша металоємність й значні капітальні витрати на монтаж.

Паровий обігрів також використовують в зимових теплицях [236]. Устрій парового обігріву не відрізняється від водяного, однак при паровому обігріві менш довговічні трубопроводи, тому, що вони в більшій мірі схильні до корозії, також складніше регулювати подачу теплоти в приміщення. Ці недоліки стримують використання цього виду обігріву.

Розроблено декілька способів електрообігріву в парниках та теплицях: елементне, електродне, електрокалориферне та променисте [235, 237, 238].

При елементному обігріванні використовують нагрівні проводи та дроти (ПОСХВ, ПОСХП, ПОСХВТ та інші), які прокладають у шару піску, азбоцементних трубах або безпосередньо в ґрунті при зниженій напрузі живлення (50 В).

Для обігрівання повітря в теплицях використовують електрокалориферні установки серії СФОЦ, СФОА та інші.

В ангарних теплицях використовують змішану систему опалення та електрокалориферну. В сучасних блокових теплицях використовують трубну систему. Основна система опалення зимових закслених теплиць – водяний обігрів

повітря та ґрунту. У весняних теплицях передбачено повітряний, а в окремих випадках – водяний та електричний обігрів ґрунту.

При біологічному обігріві джерелом теплоти є біопаливо (гній, солом'яні тюки тощо) [239]. Біопаливо закладають у ґрунт, де воно окислюючись виділяє тепло [235]. Через деякий проміжок часу після закладки біопалива потік теплоти досягає максимуму, а потім зменшується. Біологічний обігрів використовують у парниках та весняних теплицях, де поступове зниження температури ґрунту після закінчення процесу “горіння” біопалива компенсується збільшенням сонячної радіації.

Сонячний обігрів використовують у південних районах як самостійно, так і в комбінації з іншими видами обігріву. Підвищення температури повітря в теплиці пояснюють “тепличним ефектом” або “ловушкою” енергії. Сонячний обігрів достатньо ефективний. Наприклад, у Полтавській області в сонячні дні лютого при від’ємній температурі зовнішнього повітря систему водяного опалення відключають. Температура повітря підтримується за рахунок сонячного обігріву [236].

Зв’язок між об’єктом нагріву теплоносієм та джерелом теплоенергії показані на рисунку III.4.

Теплиці і тепличні комплекси, що будуються поблизу або на території населених пунктів, обладнаних системами централізованого тепlopостачання, дозволяється приєднувати до цих систем при відсутності або недоцільності використання інших джерел тепlopостачання, і при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні [235].

Введення теплової мережі і приєднання тепличного господарства до системи централізованого тепlopостачання здійснюється в тепловому (енергетичному) пункті, де враховується витрата теплоти. Теплові пункти тепличних господарств розміщуються в спеціальних будівлях або в ізольованих приміщеннях. Наприклад, по т. п. 810-99 для блоку зимових ґрунтових теплиць площею 6 га передбачається енергетичний пункт, який влаштовується в окремому приміщенні площею 12×24 м, що опалюється і вентильовується і в якому є два приміщення: щитова (12×6 м) і тепловий пункт із насосною (12×16 м). В тепловий пункт із зовнішньої тепломережі поступає вода з параметрами 30-70 °С і насичена пара з тиском 0,15–0,17 МПа.

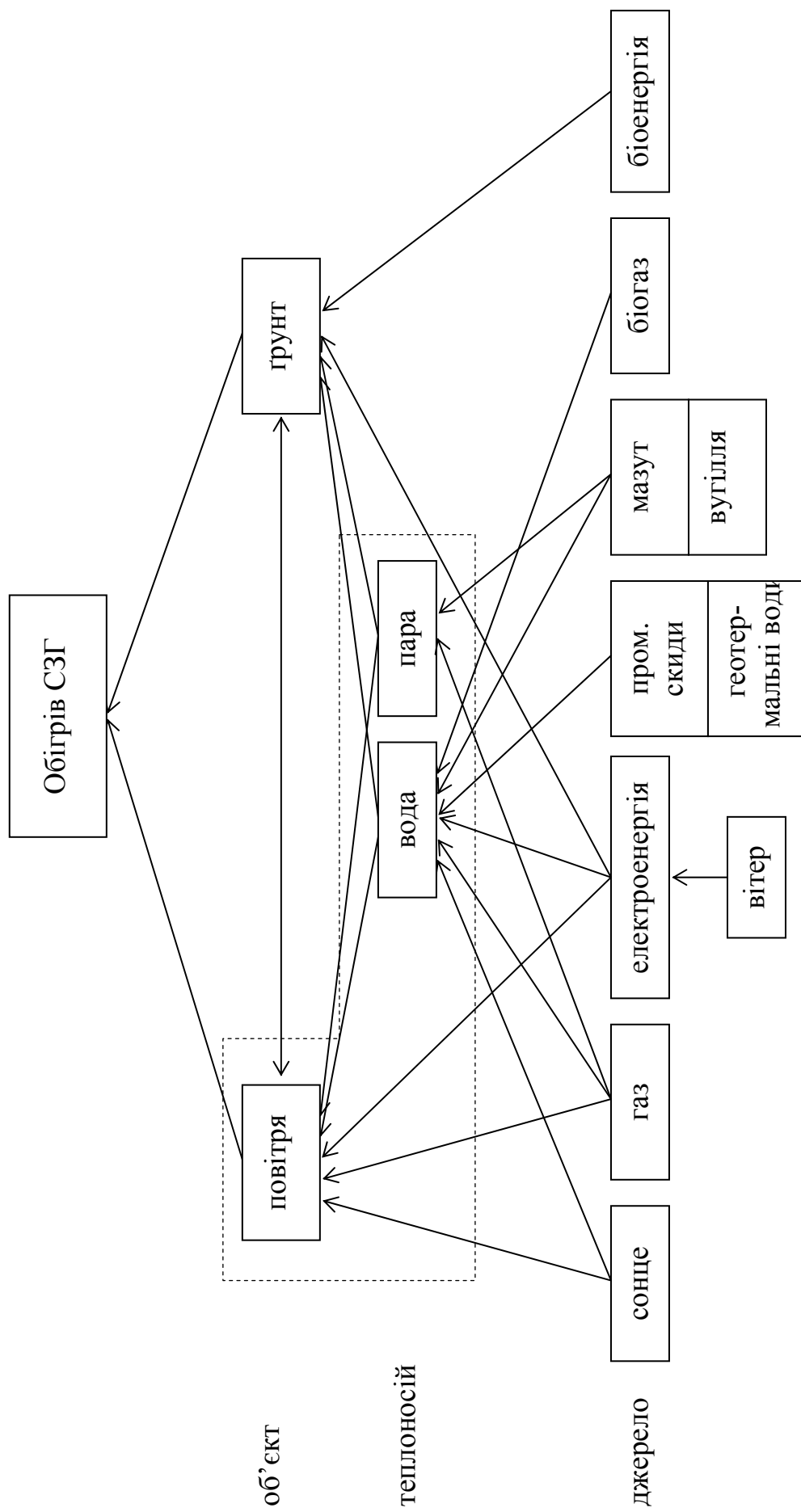


Рис. III.4 – Взаємозв'язок між об'єктом нагріву, теплоносієм та джерелом теплоенергії

При будівництві теплиць і тепличних комбінатів у місцевості, що не має централізованого теплопостачання, при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні, теплопостачання здійснюється від місцевих котельних, що розміщуються, як правило, на території, що обслуговується.

В наш час найбільш поширеними проектами місцевих котельних для тепличних комбінатів площею від 6 до 24 га є типові проекти зі сталевими водогрійними і паровими котлоагрегатами типу ДЕ-16ГМ, ПТВМ-30М [136].

Для теплопостачання тепличних комбінатів площею 6 і 12 га застосовуються також котельні з автоматизованими жаротрубними водогрійними котлоагрегатами ВК ГМ-7,5 [235]. Індивідуальні джерела теплоти (ІДТ) використовуються як основний вид обігріву теплиць при відсутності джерел централізованого теплопостачання, а також при неможливості або техніко-економічній недоцільності будівництва місцевих котельних або використання інших джерел теплоти. Вони можуть застосовуватися і як додатковий (резервний) вид обігріву при використанні інших джерел теплопостачання.

Серед ІДТ відмітимо теплогенератори різних видів і газові опалювальні пристрої, а також електроопалювальні пристрої, обігрівачі, випромінювачі тощо.

ІДТ на газоподібному паливі, що використовуються для обігріву теплиць, бувають трьох видів [235]:

- установки безпосереднього обігріву продуктами згоряння газу;
- установки непрямого обігріву з видаленням продуктів згоряння в атмосферу;
- установки, що поєднують у різній мірі безпосередній і непрямий обігрів.

До установок безпосереднього обігріву продуктами згоряння відносяться теплогенератори різних конструкцій, мікрофакельні пальники, пальники інфрачервоного випромінювання (ПІВ), газові світильники [235]. У всіх цих установок високий к. к. д. (біля 100 %), мала інерційність, невелика вартість і металоємність у порівнянні з іншими системами обігріву, простота регулювання температури, можливість одночасно з обігрівом підгодівлі рослин вуглекислим газом.

Також в теплицях експлуатують теплогенератори на газоподібному паливі (ТГ-25, ТГ-100, ТГ-350 – конструкції Укргіпроінжпроекта, УТГО-200, УТГО-400, УТГО-1, УТГО-2, УТГО-4 – конструкції Мінської овочевої фабрики, УТГО-2М – конструкції Броварської СПМК та ін.) [240]. Усі вони працюють за загальним принципом. Природний газ спалюється в керамічному тунелі інжекційного газового пальника. Потім продукти згоряння розбавляються до заданої температури ( $\leq 60$  °С) зовнішнім або рециркуляційним повітрям, і вентилятором подаються в теплицю. Застосування теплогенераторів безпосереднього обігріву через їх низькі санітарно-гігієнічні показники обмежене і допускається при відповідному обґрунтуванні тільки в весняних теплицях, де можливе періодичне відключення теплогенераторів у денний час і провітрювання, а також при використанні їх як пікових (резервних) джерел теплоти.

Для додаткового або аварійного обігріву зимових і весняних теплиць, а також для підгодівлі рослин можуть використовуватися мікрофакельні тепличні пальники МОФ-2, ГТУ і ГТУА, що розміщуються по периметру теплиць.

При використанні для обігріву теплиць пристроїв, які працюють за принципом безполум'яного спалення газу на поверхні вогнетривкої насадки, опроміненість рослин не повинна перевищувати  $1,68\text{--}2,1$  кДж/г-м<sup>2</sup>. В середньому один випромінювач обігріває  $7\text{--}15$  м<sup>2</sup> площі теплиці. [241].

Для розсадних теплиць досліджується схема комплексного використання газу шляхом його спалення в газокалійних світильниках (замість електричних). При цьому теплота використовується для обігріву теплиці, а вуглекислий газ, що утворюється – для підживлення рослин [236].

У всіх випадках використання установок безпосереднього обігріву продуктами згоряння газу необхідно дистанційно, за допомогою газоаналізатора з аварійною сигналізацією контролювати вміст в повітрі теплиць окислу вуглецю, вуглекислого газу й ін. Не можна застосовувати для безпосереднього спалення газ, що містить з'єднання сірки. В цьому випадку, а також при неможливості забезпечити необхідні санітарними нормами параметри повітряного середовища теплиці, застосовуються установки непрямого обігріву, які забезпечують нагрів

повітря в поверхневих теплообмінниках (калориферах) із подальшим видаленням продуктів згоряння в атмосферу. Такі установки не забруднюють повітряне середовище теплиць, однак їх к. к. д. нижчий (80-85 %), металоємність більша, вони складніші в експлуатації [235].

У разі неможливості, або недоцільності централізованого (місцевого) теплопостачання, відсутності джерел газоподібного палива, для обігріву теплиць, як основне, а, частіше, як резервне, або аварійне джерело теплоти використовуються теплогенератори на рідкому паливі (гас, пічне побутове паливо, дизельне паливо, солярове масло і ін.). В таких установках рідке паливо розпилюється спеціальними форсунками і спалюється в камері згоряння. Продукти згоряння нагрівають повітря в поверхневому теплообміннику і видаляються в атмосферу, а нагріте повітря вентилятором подається в приміщення яке опалюється.

Теплогенератори на рідкому паливі не забруднюють повітряне середовище теплиць, однак, як і установки непрямого обігріву на газовому паливі, вони металоємні і складні в експлуатації. В теплицях експлуатуються теплогенератори типів ТГ-1, ТГ-2,5, ТГ-150А, ТГ-500 [235].

Вентиляційні системи призначені для видалення шкідливих домішок і підтримання заданих технологічних параметрів в повітрі СЗГ. Схему вентиляції вибирають в залежності від шкідливостей і характеру їх накопичення та розподілення по об'єму приміщення. Правильний вибір схеми значно підвищує економічність системи вентиляції і, відповідно, більш ефективно забезпечує мікроклімат в приміщенні.

Як правило, системи вентиляції в СЗГ (рис. III.5) виконуються загальнообмінними та змішаними [242, 243, 244].

Вентиляційні системи умовно можна розділити на два види – розімкнуті і замкнуті. В закритому ґрунті використовують розімкнуті системи вентиляції, які здійснюють вентилявання за рахунок викиду відпрацьованого повітря в зовнішнє середовище і заміну його новими порціями свіжого повітря.

В культивацийних спорудах передбачають природну вентиляцію за рахунок

гравітаційних, у деяких випадках передбачають механічну вентиляцію та кондиціювання повітря.

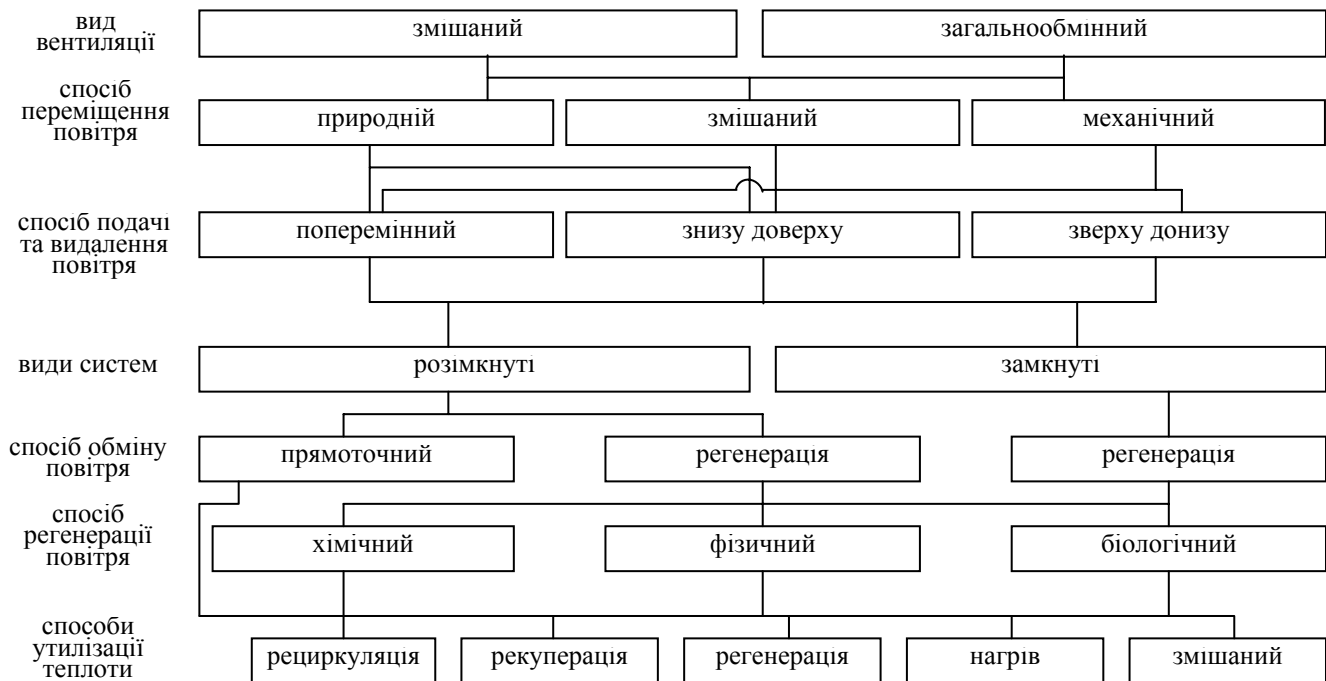


Рис. III.5 – Класифікація систем вентиляції

Система вентиляції культивацийної споруди, крім видалення надлишкової теплоти дозволяє також зменшити вологість та концентрацію  $O_2$  в теплиці та  $CO_2$  в грибниці. Як відомо, зовнішнє повітря містить в собі 21 % кисню, 78 % азоту, 0,033 % вуглекислого газу та 0,97 % інших газів [245]. При вентиляції газовий склад намагаються довести, як мінімум, до рівня атмосферного. Сучасні технології вирощування овочів в СЗГ передбачають газове підживлення рослин.

Вентиляція приміщень для вирощування грибів в період плодоношення грає особливу роль тому, що інтенсивне утворення плодових тіл супроводжується виділенням великої кількості газоподібних продуктів метаболізму, таких як етилен, ацетон, вуглекислий газ, етиловий спирт та інші. Серед них домінуючим є вуглекислий газ. В зв'язку з великою інтенсивністю дихання грибів передбачають механічну або змішану систему вентиляції. Найбільш енергоємним процесом в підтриманні параметрів мікроклімату є нагрівання припливного повітря. Класифікація систем нагріву припливного повітря СЗГ показана на рис. III.6.

При вентиляванні приміщень в холодну пору року виникає проблема втрати теплоти з повітрям, що видаляється. Це питання частково вирішується за рахунок рекуперації і регенерації повітря [246, 247, 248]. Як показали дослідження [249, 250], використання теплоти вентиляційних викидів за допомогою теплоутилізаційних установок в системах вентиляції СЗГ дозволить економити до 40 % енергоресурсів, які витрачаються на підтримання параметрів мікроклімату.

Питаннями економії енергії в опалювально-вентиляційних системах шляхом застосування рециркуляції повітря, рекуперативних і регенеративних теплообмінників, теплових насосів, переводом їх в режим автоматичного управління, в різний час займались Прищеп Л. Г., Мартиненко І. І., Драганов Б. Х., Гірченко М. Т., Славін Р. М., Пчолкін Ю. Н., Герасимчук Ю. В. і ін.

Замкнуті системи вентиляції використовують в космічних апаратах, підводних човнах і будівлях цивільної оборони, вони дозволяють повністю або частково утилізувати теплову енергію та регенерувати повітря. Перші досліди по замкнутих системах повітрообміну були проведені в кінці XVII століття дослідниками Д. Прістлі і Я. Інгельхаузенем [251]. В роботах Беляніна В. Н., Смирнова І. В., Мелешко Г.І., Сальникової М. Я., розглянуті процеси використання мікроводоростей в замкнутій системі “людина-рослина”, а в роботах Адаменка О. І., Голодного І. М. – процеси використання мікроводоростей в замкнутій системі “тварина-рослина”.

Для сільського господарства пропонувалась система кондиціонування повітря [252], яка забезпечує вирощування сільськогосподарських культур в теплиці, що знаходиться між повітрозабірником і викидною шахтою вентиляційної системи адміністративної будівлі. При цьому вуглекислота разом із повітрям із приміщення з людьми поступає вдень в теплицю, а із теплиці повітря, збагачене киснем, потрапляє через припливний повітровід в приміщення будівлі. Причому, вночі заслінки перекриті і циркуляція повітря через теплицю відсутня. Тобто, в темну пору доби, коли рослини не виділяють кисень, вся система роз'єднується і таким чином система кондиціонування повітря не працює.



Рис. III.6 – Класифікація систем нагріву припливного повітря в спорудах закритого ґрунту

В теплиці зі штучним мікрокліматом [253], як джерело вуглекислоти для підживлення рослин використовуються гриби, що мають, як і люди, кисневий тип дихання [254, 255, 256, 257, 258]. Однак і в цьому випадку, в темну пору доби систему вентиляції теплиці потрібно від'єднувати від грибниці, щоб забезпечити в теплицях відпочинок рослинам в темну пору доби, як цього потребує фізіологія рослин. В результаті цього втрачається теплова енергія і вуглекислота, які надходять із грибниці.

У “Пристрій для вирощування рослин” [259], який складається з двох герметичних камер, які з'єднані між собою трубками, вирощуються рослини і

гриби. Камери мають теплоізоляцію і світломаскування, які дозволяють регулювати температуру і вологість. Камери також оснащена пристроєм для направлення сонячних променів. Разом із недоліками попередніх прикладів запропонований пристрій є герметичним, і, відповідно, непридатним для промислового використання, в ньому, наприклад, не передбачено поновлення повітря із зовнішнього середовища.

У авторському свідоцтві [260] пропонується приміщення, в якому для зниження теплових втрат в теплиці використовують двошарове покриття, а в середині грибниці за рахунок додаткового світлопрозорого огородження виділяють контрольну зону, в якій порівнюють температуру в контрольній зоні з температурою в грибниці. При цьому, у випадку рівності температур, потік повітря з тваринницького приміщення пропускають через грибницю, після чого – між шарами двошарового огородження теплиці. А у випадку, коли температура в контрольній зоні більша за температуру в грибниці, потік повітря розділяють на два. Один з них пропускають через грибницю, другий – між шарами огородження. Після цього в обох випадках порівнюють концентрацію вуглекислого газу в відпрацьованому повітрі з концентрацією в атмосфері. При цьому, при умові, коли концентрація  $\text{CO}_2$  в відпрацьованому повітрі більша за концентрацію  $\text{CO}_2$  в атмосфері, відпрацьоване повітря розділяють на два потоки, один з яких повертають в тваринницьке приміщення, а другий виводять в атмосферу. Коли ж концентрація  $\text{CO}_2$  в відпрацьованому повітрі менша, або рівна за концентрацію  $\text{CO}_2$  в атмосфері, все відпрацьоване повітря повертають в тваринницьке приміщення. Одним з основних недоліків цього способу є необхідність багатофакторного (хімічного, біологічного) фільтрування повітря, що призводить до суттєвого подорожання запропонованої системи вентиляції.

В деяких системах вентиляції, в якості регенератора повітря використовують мікроводорості, наприклад, спіруліну. Такі ЗСВ потребують будівництва регенератора повітря, що потребує значних капіталовкладень [261, 262, 263].

### **1.3. Енергозберігаючі способи та обладнання для опалення і вентиляції споруд закритого ґрунту**

В останнє десятиріччя проблемам енергозбереження в аграрному секторі економіки приділяється багато уваги [248, 264, 265, 266]. Пропонується широкий спектр способів та технічних засобів енергозбереження, у тому числі і у закритому ґрунті.

Для зменшення теплових втрат при виборі об'ємно-планувальних та конструктивних рішень (рис. III.7) та орієнтації споруд на місцевості, в першу чергу приділяють увагу їх ізоляції від зовнішніх впливів, здатності сприймати та зберігати довгий час теплоту (або прохолоду). Практика показує, що вимоги технології, можливо, і потрібно співвідносити з енергозберігаючими рішеннями. Наприклад, у заглиблених приміщеннях взимку тепло, а влітку прохолодно, однак майже в продовж всього року недостатньо світла.

Велику роль відіграє вибір матеріалів та якість будівельно-монтажних робіт, достатня герметизація приміщень [267]. Втрати теплоти крізь щілини можуть досягати 20-25 % від загальної витрати.

Багатопролітна блочна теплиця в порівнянні з ангарною характеризується меншим коефіцієнтом огорожі, що забезпечує зменшення коштів та матеріалів на одиницю площі при будівництві, та економію теплоти за рахунок зменшення тепловитрат. В порівнянні з ангарною теплицею (проліт 12 м) коефіцієнт огорожі двопролітної теплиці на 10,5 %, а трьохпролітної на 15,5 % менше, ніж для двох ангарних теплиць з однаковою площею [229, 268].

Баштові теплиці відрізняються високим рівнем автоматизації технологічних процесів, а також більш ефективним використанням сонячної енергії. Такі теплиці запропоновані австрійським інженером Отмаром Рутнером і впроваджені в виробництво [241].



Рис. III.7 – Класифікація будівельних енергозберігаючих прийомів та пристроїв

Під час проектування необхідно правильно використовувати сонячну радіацію та переважний напрямок вітрів. Бажано СЗГ орієнтувати так, щоб взимку стіни й дах добре прогрівались, поглинаючи сонячну енергію, а літом, навпаки, були б по можливості захищені від сонячних променів [241].

На тепловий режим приміщень впливають також напрям та швидкість вітру. Щоб зменшити цей вплив, з боку зимових вітрів передбачаються захисні екрани. Це можуть бути пагорби, будь-які підвищення, зелені насадження, будівлі. Бажано, щоб напрям зимових вітрів збігався із повздовжньою віссю будівлі.

Дверні та брамні пройми краще розміщувати з південної або східної сторони, щоб знизити втрати тепла взимку.

Зменшити втрати теплоти з теплиць можливо підвищенням теплозахисних можливостей огорож та використанням теплозахисних штор [269]. Теплозахисні штори в теплицях умовно поділяють на теплоізолюючі, які запобігають втратам теплоти крізь огорожуючі конструкції у нічний час та захисні, які запобігають перегріву приміщення вдень [241].

Економія теплової енергії в теплицях із скляною огорожею та шторами з поліефірної тканини, металізованої з обох сторін, сягає 50-59 % (в залежності від швидкості вітру), із шторами з поліетиленової плівки – 33-50 %, із нетканих матеріалів з високою випромінювальною здатністю – 30-46 %. Теплоізолюючі штори мають бути рухомими, та мати автоматичний пристрій для підйому та опускання полотнищ.

Кращі результати вирощування овочів отримують у теплицях, якщо їх огорожі виконані з полівінілхлоридних плівок, гірші – з поліетиленових. Втрати теплоти на випромінювання з теплиці з огорожею із спеціального скла, з однієї сторони покритого тонкою плівкою окислу металу (наприклад, олова), на 40 % менше, ніж з теплиці з огорожею із звичайного скла. Високий ефект дає встановлення подвійного скла або плівкова огорожа, хоч вони і підвищує вартість теплиці, але заощаджують теплоту на 50-60 % [270].

Попередити перегрівання приміщень крізь вікна можуть також два ряди світлопрозорого покриття зі скла або пластика, між якими розміщують наповнювач у вигляді білих кульок із полістиролу чи іншого полімерного матеріалу. Заповнюють та вибирають простір між склом у потрібний час автоматично [271].

Близько 60 % всіх втрат теплоти відбуваються крізь верхні огорожуючі конструкції споруд.

Система обігріву з розподілом теплого повітря в перфорованих плівкових рукавах дозволяє економити 15 % палива в порівнянні з трубною, і на 12 % – з калориферною системами [271]. Плівкові рукави розміщують під покрівлею

теплиці над опалювальними трубами шатрового обігріву. Їх прикріплюють до натягнутого дротяного каркаса. Один кінець такого рукава з'єднують із повітророзподільним каналом, розташованим в кінці теплиці. В ці рукави вночі подають повітря за допомогою вентилятора. Надуваючись, вони щільно прилягають один до одного, в результаті виникає суцільна повітряна подушка, яка знижує втрати теплоти від 35 до 40 %.

Потік випромінювання сонця становить близько  $1,394 \text{ Вт/м}^2$  за хвилину. Поверхні землі досягає 70 % сонячної сталої: 9 % ультрафіолетових, 41 % видимих світлових та 50 % інфрачервоних променів. При проходженні крізь атмосферу частка прямих променів (під впливом водяної пари та ін.) розсіюється [272].

Сонячну енергію, яка поступає на землю, можна перетворити в електричну або теплову в геліоустановках [247]. Вони складаються з колектора, теплообмінника, теплоаккумулятора, насосів і трубопроводів. Сонячна енергія перетворюється в теплову у колекторі. Відрізняють колектори плоскі, із зігнутою поверхнею (фокусуючі) та об'ємні [269].

Плоскі колектори сприймають енергію прямих та розсіяних променів, тобто працюють і в похмуру погоду. Вони складаються з світлопрозорого захисного шару, теплоприймача, труб або коробів для теплоносія, шару теплоізоляції та захисного короба, який може бути елементом колектора або споруди. Ультрафіолетові сонячні промені проходять крізь світлопрозорий захисний шар та досягають теплоприймача – темної абсорбуючої панелі. Панель нагрівається і починає випромінювати довгохвильову (інфрачервону) радіацію. Для інфрачервоних променів захисний шар непрозорий, тому всередині колектора температура підвищується (парниковий ефект). Накопичену теплоту виводить із колектора повітряний або рідинний теплоносій [241].

Колектори із зігнутою поверхнею концентратора сонячної енергії дають можливість отримати дуже високу температуру (до  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  і вище). Концентратор фокусує сонячну енергію на трубчастому або плоскому теплоприймачі і, зазвичай, має селективне або дзеркальне покриття. Для збільшення тривалості інтенсивної роботи його обладнують поворотним механізмом стеження за сонцем [241].

Об'ємним сонячним колектором може бути будь-яка будівля або наземна споруда закритого типу, а також пристосована для цього її частина. Сонячні промені всередину приміщення повинні попадати тільки тоді, коли необхідне їх опалення. Досягнути цього можливо вірною орієнтацією, вибором форми споруди, затінюючих засобів тощо. Сонячний колектор повинен мати таке конструктивне рішення, при якому теплові втрати зимою та перегрів будівель влітку будуть мінімальними.

Теплоакумулюючі пристрої (теплоаккумулятори) [248] забезпечують рівномірність теплового потоку у споживача. В сільських умовах теплоакумулюючий пристрій може мати вигляд закритої зверху ями, наповненої ґравієм. Циркуляцію повітря від колектора до теплоаккумулятора (такий теплоаккумулятор називають повітряним) і з нього в приміщення, яке обігривається, можна забезпечити не тільки за допомогою вентиляційної системи, а і шляхом природної конвекції. Відомо [273], що найбільша температура ґравійного акумулятора, яка не впливає шкідливо на рослини, дорівнює 40,6 °С, найменша – 12,8 °С. Також можна обладнати водяний теплоаккумулятор. Хоча він і дорожчий за повітряний, ефективність використання його об'єму у 2,5-3,3 рази вища. На 1 м<sup>2</sup> поверхні колектору в резервуарі передбачають 45-70 кг води. Акумулятором рідини може бути бак, виготовлений з оцинкованої сталі, скловолокна, монолітного бетону або пластику. В залежності від конструкції теплота в акумуляторах зберігається від 2-3 діб до 1-3 тижнів [274].

Система сонячного теплопостачання (ССТП) включає сонячні колектори (геліоприймачі), акумулятори теплової енергії, трубопроводи і насоси (або повітроводи), природні або примусові вентиляційні системи і резервне джерело енергії. Для підвищення ефективності низькопотенційної теплоти у ССТП використовують теплові насоси [275].

Широке використання сонячної енергії на нагрів води для технологічних потреб дозволить скоротити потреби в електроенергії на ці цілі майже на 70 %. Коефіцієнт корисної дії системи сонячного гарячого водопостачання (ССГВ) за рахунок використання на протязі всього року буде високим, а отже, і термін окупності буде значно меншим у порівнянні з терміном окупності ССТП. Крім

того, ССГВ у порівнянні з ССТП вимагає менш жорстких вимог до експлуатації, потужність її установок менша [276].

Сонячну енергію можна перетворити в електричну напівпровідниковими фотоелектричними пристроями [269, 271].

Зацікавленість вітровими установками (ВЕУ) в сільському господарстві для автономних споживачів збільшилась у всьому світі [277]. В багатьох країнах споруджують ВЕУ невеликої (до 40 кВт) потужності. В США біля 5 % загальної енергії, яка використовується на потреби сільського господарства, припадає на енергію вітру [278, 279].

На значній частині території України можуть працювати ВЕУ малої потужності на протязі 6-9 міс. на рік. Найбільший вітроенергетичний потенціал має Причорномор'я, акваторія Каспійського моря та кримські і карпатські гірські райони [279]. Вітроагрегати потужністю 4, 16 і 30 кВт, призначені для теплопостачання, гарячого водопостачання, підігріву води, їх можна доукомплектувати тепловими установками, тепловентиляторами та теплогенераторами. Найбільш поширені резистивні нагрівачі. Вони представляють собою трубчасті нагрівні елементи, які встановлюють у бойлерах, або нагрівні проводи, що прокладають в товщі підлоги тваринницьких приміщень або в товщі ґрунту теплиць і т. п.

За літо в ґрунті накопичується значна кількість теплоти. Найвищу температуру він має восени. Цей час співпадає з початком опалювального періоду. Ґрунт охолоджується повільно, а на глибині 2-4 м температура його залишається стабільною навіть у саму холодну зиму. Дослідження, проведені в Литві, показують, що на початку вересня температура повітря і ґрунту майже однакова і приблизно дорівнює в межах від 12 до 14 °С (в Україні від 8 до 12 °С) [241].

Наприкінці грудня при від'ємній температурі повітря ґрунт має температуру приблизно 3°С. На початку березня вона може трохи зменшитись. У квітні і травні температура ґрунту складає близько 5 °С, в червні і липні підвищується до 10°С. Таким чином, в період коли приміщення потребують обігріву, в ґрунті

достатньо теплової енергії. В літній час нижчу, в порівнянні з повітрям, температуру ґрунту можна використовувати для охолодження приміщень [280].

Економія енергії в системах опалення та вентиляції теплиць можлива за рахунок використання теплового потенціалу вентиляційного повітря яке викидається, та збільшення коефіцієнтів корисної дії теплогенеруючого обладнання.

В зв'язку з цим, теплогенеруючі пристрої для нагрівання припливного повітря, особливо електрокалорифери, дообладнуються теплоутилізаторами рекуперативного [281] та регенеративного типу [282]. Коефіцієнт використання теплоти викидного повітря за допомогою теплоутилізаторів досягає 0,4. Подальше його збільшення практично неможливе, оскільки теплоутилізатор не може охолодити внутрішнє повітря до параметрів зовнішнього, а зовнішнє повітря не може нагріти до параметрів внутрішнього [283, 284]. В той же час, це можна зробити за рахунок використання теплового насоса [285].

Особливе місце поміж технічних засобів, для утилізації теплоти, займають теплообмінники, виконані у вигляді теплових насосів. Можливість використання їх у сільському господарстві була визначена ще в 1920 році професором В. А. Міхельсоном [286]. Теплонасосна система утилізації теплоти викидного повітря має більш високий коефіцієнт використання теплоти, але потребує значних додаткових капіталовкладень.

Низькопотенційним джерелом теплоти (НПДТ) для теплонасосних установок може служити вода (річкова, озерна, морська або ґрунтова) з температурою, не нижче 4 °С. Теплонасосні установки, які використовують воду відкритих водойм, працюють, зазвичай, за принципом “вода-вода”. Їх можна використовувати як для теплопостачання цивільних сільських будинків, так і виробничих, в тому числі теплиць.

Теплові установки, які використовують для НПДТ ґрунтові води, широко використовуються у Франції для опалення теплиць. Ґрунтові води, з температурою від 10 до 12 °С, забирають з глибини 3 м і більше. Підвищують температуру ґрунтових вод у тепловому насосі.

Французькі спеціалісти провели техніко-економічне порівняння проекту опалення теплиці з ТНУ на воді з глибокої свердловини [241], з опаленням теплиці традиційними опалювальними приладами. Аналіз показників на 1 га теплиць показав, що капіталовкладення на обладнання системи опалення з ТНУ на воді вищі в 2,9 рази, а експлуатаційні витрати на утримання обладнання вищі в 1,67 рази. Разом з тим, витрати енергії при експлуатації системи із ТНУ на воді нижчі в 2,1 рази, що скорочує за 20-річний період експлуатаційні загальні витрати в 1,26 рази.

Повітря може бути джерелом теплоти для ТНУ, але коефіцієнт перетворення його теплоти невеликий. Крім того, добові й річні коливання температури повітря, наявність водяної пари, температурні обмеження (температура зовнішнього повітря повинна бути не нижче точки роси) ускладнюють роботу установок для перетворення енергії.

Число теплонасосних установок для систем опалення, гарячого водопостачання і кондиціювання повітря зростає значними темпами [287].

За кордоном є значна кількість розробок по використанню теплових насосів та деякі розробки в колишньому СРСР [288]. В Україні як теплоутилізатори так і теплові насоси для опалення та вентиляції СЗГ до цих пір практично не використовуються. Основні причини – відсутність серійного випуску таких агрегатів, їх висока вартість, відносно низька вартість органічного палива.

У проведених раніше дослідженнях недостатньо уваги приділено вирішенню питань, пов'язаних з обґрунтуванням енергетичних параметрів енергозберігаючих засобів для систем опалення та вентиляції СЗГ. Не встановлені залежності енергетичних параметрів теплових насосів від параметрів внутрішнього та зовнішнього повітря в реальних температурних межах роботи системи вентиляції. Відсутнє техніко-економічне обґрунтування використання теплових насосів для реконструкції систем СЗГ.

За кордоном проводять експерименти по вивченню роботи ТНУ на базі теплоти твердого гною [241].

Більшість виробничих приміщень сільськогосподарських споруд потребують інтенсивного обміну повітря. Використання примусової вентиляції

приміщень призводить до великих витрат електроенергії як на вентиляційні установки, так і на обігрів повітря зимою, або охолодження літом. Тому, перш ніж винайти способи і напрямки використання низькопотенційної теплоти скидного повітря, потрібно потурбуватись про більш економічне вентилявання приміщень. Існує кілька напрямків удосконалення вентиляційно-опалювальних систем. Основні з них – використання природної вентиляції та теплоти повітря, що виводиться з приміщень.

Зовнішнє повітря в холодну пору року в приміщення потрібно пропускати крізь теплообмінники або припливні камери. Природна вентиляція без спеціального підігріву (охолодження) припливного повітря виправдана лише тільки в зоні помірного клімату, де вірогідність перегріву приміщень літом й надмірного охолодження зимою мала.

Таким чином енергозберігаючі напрямки в спорудах закритого ґрунту можна розбити на три групи: будівельні засоби та прилади, первинні джерела енергії та вторинні джерела енергії (рис. III.8).

Вибору енергозберігаючих заходів повинні передувати техніко–економічні розрахунки для вибору оптимальної схеми енергозбереження [289, 290].

#### **1.4. Співвідношення витрат енергії на технологічні процеси при вирощуванні сільськогосподарської продукції у спорудах закритого ґрунту**

Дослідження структури споживання енергії необхідне для планування витрат енергоресурсів на виробництво сільськогосподарської продукції, зокрема, для прогнозування зменшення витрат більш дефіцитного енергоносія за рахунок застосування менш дефіцитного, для обґрунтування ліміту поставок палива та електроенергії.

Встановлено, що зимові блокові ґрунтові теплиці [291, 292] (табл. III.1) споживають на рік в розрахунку на 1 га площі в середньому 3,6 тис. т вугілля (котельні на твердому паливі), із яких 2,9 тис. т витрачається на опалення культивацийних приміщень, 0,5 тис. т – на опалення побутових і допоміжних приміщень, 0,2 тис. т – на стерилізацію ґрунту, підігрівання поливної води та гаряче водопостачання (табл. III.1), 19,4 тис. м<sup>3</sup> природного газу –

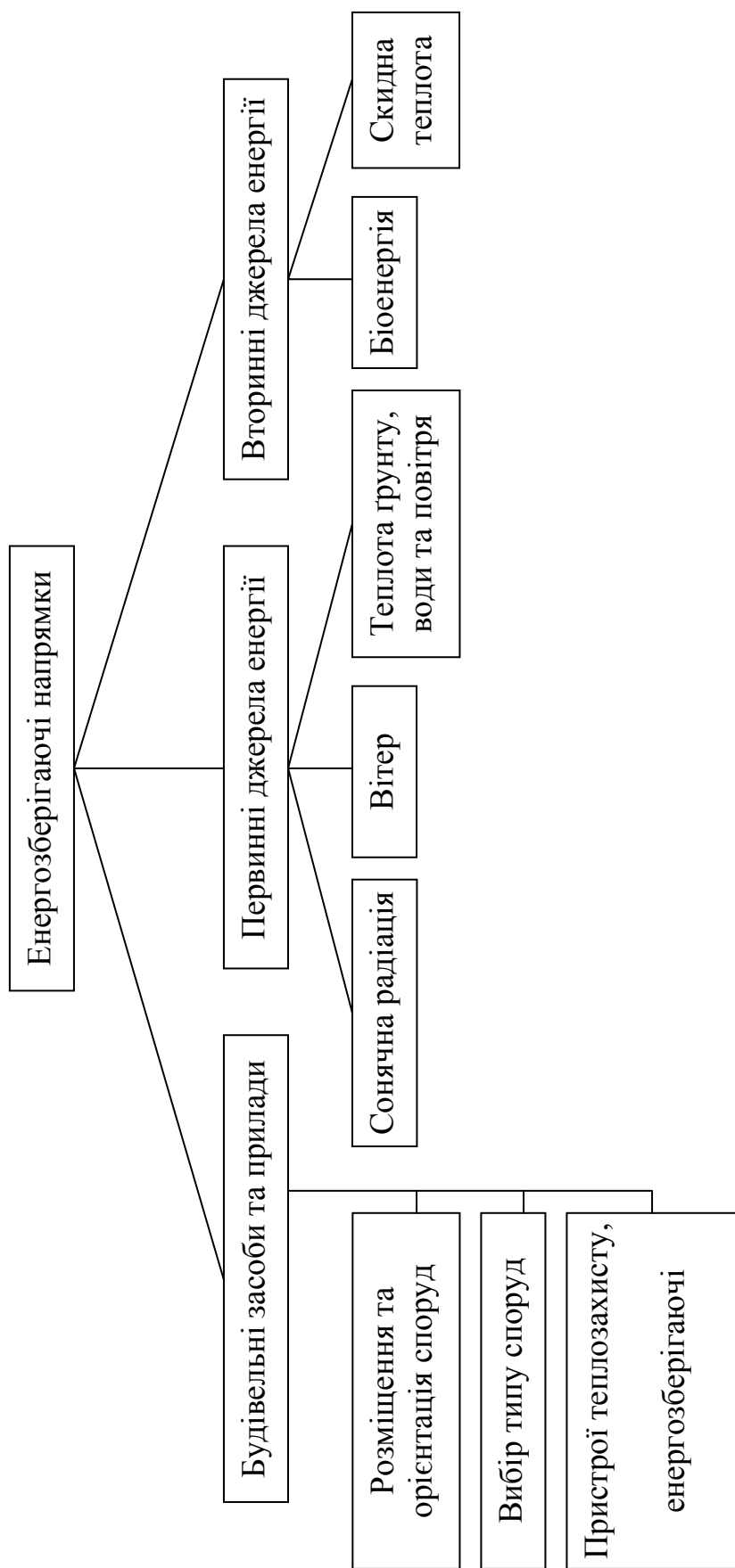


Рис. III.8 – Енергозберігаючі напрямки в СЗГ

для підживлення рослин, 100 тис. кВт год. електроенергії – на роботу силового обладнання, 180 тис. кВт год. – на досвічування розсади, 4 тис. кВт год. – на електроосвітлення, 10 т дизпалива на обробку ґрунту та 11 т бензину на транспортування вантажів. Доля вугілля, природного газу, електроенергії та нафтопродуктів в енергобалансі споруд закритого ґрунту становить відповідно 95,12; 1,68; 2,47 та 0,73 %.

Таблиця III. 1 – Структура споживання енергії в спорудах закритого ґрунту

Тип споруди	Процес	Витрати енергії, кВт год.	Доля участі в енергобалансі, %	Енергоносії	Коефіцієнт використання енергоносія	Витрата енергоносія на 1 га площі
Зимова блокова теплиця (типові проекти 810-1-4.83, 810-1-8,83) [291, 292]	Опалення та інфільтрація культивацийних приміщень	8815	76,32	Вугілля	0,5	2885 т
	Опалення та вентиляція побутових та допоміжних приміщень	1523	13,19	Вугілля	0,5	498 т
	Стерилізація ґрунту	498	4,31	Вугілля	0,5	163 т
	Генерування CO <sub>2</sub>	194	1,68	Природний газ	1,0	19380 м <sup>3</sup>
	Підігрівання поливної води	123	1,06	Вугілля	0,5	40,1 т
	Гаряче водопостачання	28	0,24	Вугілля	0,5	9,0 т
	Електроосвітлення	3,8	0,03	Електроенергія	1,0	3840 кВт год.
	Досвічування розсади	180	1,56	Електроенергія	1,0	180000 кВт год.
	Силове електрообладнання	101	0,88	Електроенергія	1,0	101160 кВт год.
	Обробка ґрунту	40	0,34	Дизельне паливо	0,34	10 т
	Транспортування вантажів	46	0,39	Бензин	0,34	11 т
	Всього	11551,8	100		0,65	

Таким чином, більша частина енергії витрачається на теплові процеси – 95,12 %. Тому важливо визначити економічну доцільність застосування того чи іншого енергоносія. При розробці рекомендацій по вибору економічного палива необхідно враховувати і тенденцію руху цін на енергоносії.

Аналіз показує, що найшвидше зростає вартість теплоти, отриманого від спалення пічного палива та мазуту. Це пояснюється малою самозабезпеченістю країни нафтою.

Досить швидко зростає вартість електротепла, та все ж у меншій мірі, ніж нафтового. Це можна пояснити тим, що лише 13,7 % електроенергії виробляється на нафтопродуктах (мазуті) [293, 294]. Решту отримують від спалення вугілля 21,7 %, газу 27,6 %, урану 27 %, від енергії рік 4 % та ін. Вартість цих енергоносіїв зростає відносно повільно, а АЕС продають Міненерго електроенергію вдвічі дешевше, ніж коштує енергія ТЕЦ.

## **1.5. Резюме по розділу 1**

В результаті аналізу опалювально-вентиляційних систем та обладнання, що застосовується в СЗГ, можна зробити наступні висновки:

1. Існуючі опалювально-вентиляційні системи можна поділити на дві групи – ті, які широко використовуються зараз, і отримали відображення в типових проектах, та альтернативні, в яких зроблено акцент на енергозбереження та відновлювальні джерела енергії;

2. СЗГ з використанням засобів енергозбереження менш поширені. За умов зміни ціни на енергоносії, при їх динаміці в сторону збільшення, питання економії енергії стає першочерговим. Найбільшу увагу заслуговують ті системи, які будуть мати менші капітальні витрати та строк окупності за рахунок більшої ефективності.

3. Зимові блокові ґрунтові теплиці споживають на рік в розрахунку на 1 га площі в середньому 3,6 тис. т вугілля (котельні на твердому паливі), 19,4 тис. м<sup>3</sup> природного газу для підживлення рослин, 100 тис. кВт год. електроенергії на

роботу силового електрообладнання, 180 тис. кВт год. для досвічування розсади, 4 тис. кВт год. на електроосвітлення, 10 т дизпалива на обробку ґрунту та 11 т бензину на транспортування вантажів. Частка вугілля, природного газу, електроенергії та нафтопродуктів в енергобалансі споруд закритого ґрунту становить відповідно 95,12; 1,68; 2,47 та 0,73 %.

4. Досі не були розроблені замкнуті системи опалення та вентиляції для споруд закритого ґрунту, які б дозволяли вирішувати питання газового підживлення рослин та утилізації теплоти, також відсутні ефективні утилізуючі опалювально-вентиляційні системи з тепловими насосами, які дозволяють використати теплоту викидного повітря теплиць та ґрунту.

## РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ

### 2.1. Визначення економічно доцільного носія теплової енергії

Доля витрат на паливо та електроенергію в загальній собівартості сільгосппродукції становить 20-50 % [295, 296]. Багаторазове з об'єктивних причин та нерівномірне в останні роки зростання цін на енергоресурси робить питання вибору енергоносія актуальним.

На прикладі зимової теплиці площею 1 га розглянемо вплив заміни одного виду палива іншим та розрахуємо собівартість продукції при теплопостачанні від різних котелень. Виходячи з найбільшої теплової потужності споживачів – 7796 кВт (табл. III.2), до розгляду прийняті такі варіанти котелень:

1. Котельня з 6 котлоагрегатами “Братськ” для теплопостачання сільськогосподарських виробничих комплексів і ферм, підприємств по переробці сільськогосподарської продукції, сільських населених пунктів, ремонтних заводів та майстерень. Потужність – 8250 кВт. Паливо – кам'яне та буре вугілля (табл. III.3).

2. Котельня з 4 котлами Е-4-14 ГМ для теплопостачання систем опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, паропостачання споживачів різного призначення. Потужність – 10440 кВт. Паливо – газ або мазут (резервне).

3. Три котельні з 4 котлами Е-1-9 ЖМ у кожній для централізованого теплопостачання систем опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та технологічного паропостачання різних виробничих та сільськогосподарських підприємств. Потужність кожної – 2750 кВт. Паливо – пічне побутове.

4. Шість теплоаккумуляційних котелень з 2 електродкотлами КЕВ-1000/0,4 в кожній для централізованого теплопостачання підприємств сільськогосподарського профілю та в інших галузях народного господарства. Теплова потужність кожної – 1360 кВт.

При розрахунку собівартості овочів враховувались такі складові (табл. III.4).

1. Амортизаційні відрахування на реновацію та капітальний ремонт обладнання, будівель теплиці і котельні. При розрахунку амортизаційних коефіцієнтів приймалось, що строк служби обладнання становить 7 років, будівлі теплиці – 10 років, котельні – 25 років, трансформаторних підстанцій – 16 років.

2. Відрахування на поточний ремонт тих же об'єктів. Приймався єдиний коефіцієнт відрахувань – 0,05, крім обладнання трансформаторних підстанцій – 0,03.

3. Сума зарплатні. Брала тарифні ставки за станом на 1985 рік та помножили на коефіцієнт росту цін – 4.

4. Загальногосподарські витрати. Приймались в обсязі 12 % від суми витрат.

5. Витрати на добрива, отрутохімікати та дезінфікуючі розчини. Ціни за станом на 1985 р. множились на індекс росту цін – 4.

6. Витрати на паливо та електроенергію. Приймались діючі ціни за станом на 1 лютого 2003 р.

Слід відмітити, що підрахунки складових собівартості на базі прийнятих коефіцієнтів росту зарплатні та цін на отрутохімікати та добрива є дещо приблизним. Але, оскільки можлива похибка впливає на собівартість однаково у всіх варіантах, кінцевий результат не залежить від неї. Звичайно, що кінцева мета розрахунку – визначення економічно доцільного палива.

Розрахунки показали, що найменші щорічні витрати на виробництво продукції має варіант з котельнею на газі – 120,4 грн. в розрахунку на 1 м<sup>2</sup> площі теплиці. Причому, в загальній структурі витрат частка витрат на енергоносії становить 57,7 % (табл. III.4). Далі йде варіант використання вугілля, питомі витрати його – 157,8 грн./м<sup>2</sup>. Дольова участь енергоносіїв в цьому випадку зростає до 69,8 %. Після вугілля гірші показники має варіант з мазутом, далі – пічне побутове паливо. Найбільші витрати пов'язані з використанням електроенергії через її високу вартість – 0,3182 грн./кВт год.

Таблиця III. 2 – Техніко-економічні показники зимової блокової ґрунтової теплиці площею 1 га, типовий проект 810-1-8.83 (ціни за станом на 1 лютого 2003 р.)

Показники	Одиниці виміру	Кількість	Вартість:	
			загальна, тис. грн.	на 1 м <sup>2</sup> площі, грн.
Об'єм будівельно-монтажних робіт	м <sup>3</sup>	43796	1453,20	145,32
Обладнання	-	-	96,00	9,60
Витрати праці	люд.-год.	63600	209,28	20,93
Добрива				
- органічні	т	192	7,28	0,73
- мінеральні	т	8,66	1,680	0,17
Отрутохімікати та дез. розчини	т	1,279	21,68	2,17
Витрати на теплові процеси				
а) теплоти	кВт год.	10986,233	-	-
б) енергоносія - вугілля або	т	3595,6	970,81	97,08
- мазут або	т	1382,9	1078,66	107,87
- п.п.п. або	т	1344,6	1882,44	188,24
- газ або	тис. м <sup>3</sup>	1569,5	565,02	56,50
- електроенергія	тис. кВт год.	12206,925	3884,24	388,42
Бензин	т	11	18,70	1,87
Дизпаливо	т	10	14,00	1,40
Електроенергія	тис. кВт год.	284,998	90,69	9,07
Газ для CO <sub>2</sub>	тис. м <sup>3</sup>	19,38	6,98	0,70
Об'єм продукції	ц	355,1	-	-
Максимальна потужність теплоспоживачів	кВт	7796	-	-

Таблиця ІІІ. 3 – Основні техніко-економічні показники котелень (ціни станом на 1 лютого 2003 р.)

№ типового проекту	Вид палива	Потужність, тис. кВт	Тип котла	Питомі витрати палива, кг/ГДж	Вартість, тис. грн.	
					будівельно-монтажних робіт	обладнання
903-1-288.91	Вугілля	10,45	Е-1,4Р	42	2546,1	1184,7
903-1-281.90	Вугілля	26,07	Е-10-1,4Р	42	3319,3	1669,4
903-1-276.89	Вугілля	8,25	Братськ-М	–	1177,1	342,0
903-1-269.89	Газ	6	Факел-1	–	585,9	137,8
	Мазут					
903-1-263.88	Газ	17,05	ДЕ-6,5-14ГМ	–	1370,4	745,4
	Мазут					
903-1-262.88	Газ-мазут	10,44	ДЕ-4-14ГМ	–	1111,0	729,7
903-1-238.87	Пічне побутове	2,75	Е-1-9ЖМ	23,9	383,0	227,9
903-1-254.87	Електрична енергія	1,36	КЕВ-1000/04	–	202,0	115,7
						120,0
						(+ КТІІ2Ч630)

Таблиця III. 4 – Розрахунок складових собівартості продукції закритого ґрунту в грн. на 1 м<sup>2</sup> площі (ціни за станом на 1 лютого 2003 р.)

Складові собівартості	Енергоносії												
	газ		мазут		вугілля		ел. енергія		пічне побутове				
	грн.	%	грн.	%	грн.	%	грн.	%	грн.	%			
Відрахування:													
- амортизація	30,8	25,6	30,8	17,3	25,5	16,2	34,7	7,0	30,3	11,4			
- поточний ремонт	4,1	3,4	4,1	2,3	2,2	1,4	1,4	0,3	1,6	0,6			
Сума зарплатні	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,004	0,02	0,01			
Загальногосподарські витрати	12,9	10,7	19,1	10,7	16,9	10,7	52,9	10,7	28,3	10,7			
Вартість:													
- добрив	0,9	0,7	0,9	0,5	0,9	0,6	0,9	0,2	0,9	0,3			
- отрутохімікати	2,2	1,8	2,2	1,2	2,2	1,4	2,2	0,4	2,2	0,8			
- енергоносіїв	69,5	57,7	120,9	67,9	110,1	69,8	401,5	81,3	201,3	76,1			
Всього	120,4	100	178,0	100	157,8	100	493,5	100	264,6	100			

Згідно з типовою технологією виробництва продукції закритого ґрунту річний збір овочевих та зелених культур з 1 га площі становить 355,1 ц. Виходячи з цього та витрат сільськогосподарського підприємства (табл. III.4), знайшли собівартість 1 кг продукції. Як видно з графіка (рис. III.9), собівартість виробництва овочів в закритому ґрунті змінюється в межах від 3,4 до 13,9 грн./кг в залежності від енергоносія на опаленні.

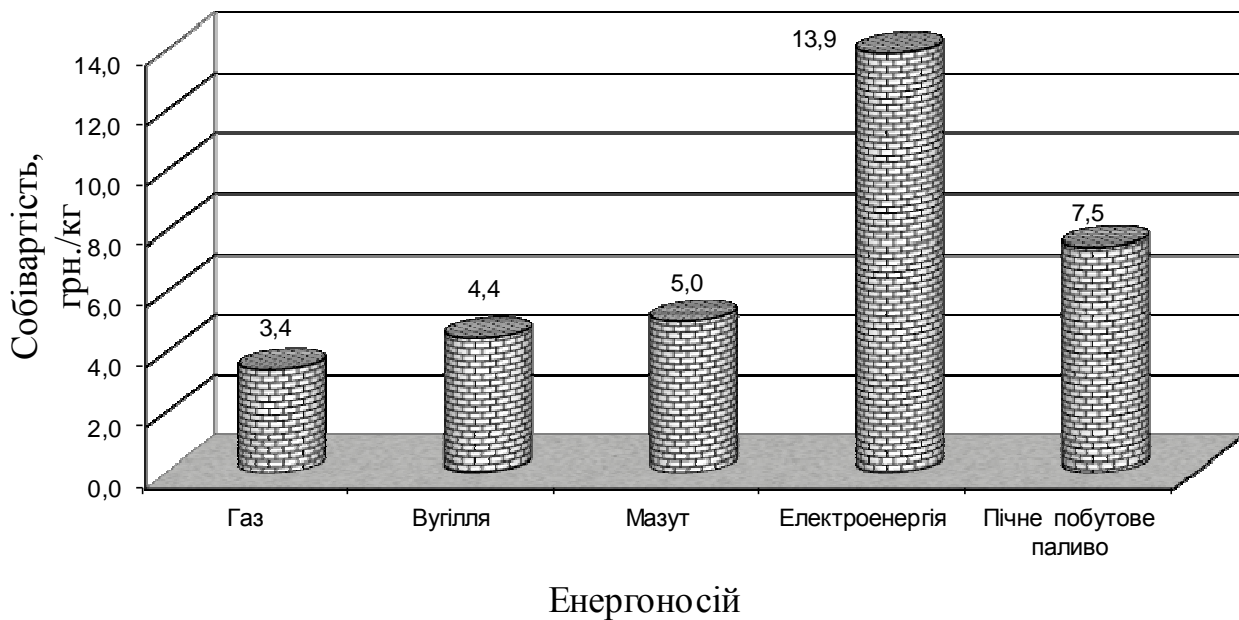


Рис. III.9 – Собівартість продукції закритого ґрунту в залежності від носія теплової енергії

Таким чином, на сьогодні, оптимальним співвідношенням різних енергоносіїв в закритому ґрунті є таке, коли 96-97 % (п. 1.2) енергетичних потреб підприємства забезпечуються за рахунок природного газу (енергія йде на теплові процеси та підживлення рослин). Доля електроенергії становить від 2 до 3 %. Вона витрачається на роботу силового електрообладнання, досвічування розсади та електроосвітлення. Участь нафтопродуктів у забезпеченні енергобалансу підприємств закритого ґрунту не повинна перевищувати 1 % – це процеси обробки ґрунту та транспортування вантажів.

За відсутністю газопостачання потреби закритого ґрунту в теплоенергії вигідно забезпечувати за рахунок вугілля, а при труднощах із ним переходити до використання мазуту.

Для прискорення розрахунків введемо поняття зміни собівартості продукції.

В загальному випадку зміну собівартості продукції можливо оцінити за формулою:

$$\Delta S_j = S^{(\bar{o})} - S_j = \frac{r^{(\bar{o})}}{g} - \frac{\Delta r_j}{g} = \frac{r^{(\bar{o})} - \Delta r_j}{g}, \quad (\text{III.14})$$

де  $S$  – собівартість 1 кг продукції, грн.;

$S^{(\bar{o})}$  – собівартість 1 кг продукції базового варіанта, грн.;

$r^{(\bar{o})}$  – витрати по базовому варіанту, грн./м<sup>2</sup>;

$\Delta r$  – зміна витрат відносно базового варіанту, грн./м<sup>2</sup>,

$\Delta r_j = r^{(\bar{o})} - r_j$ ;

$r_j$  – витрата  $j$ -го енергоносія, грн./м<sup>2</sup>;

$g$  – врожайність, кг/м<sup>2</sup>.

Собівартість продукції знайдемо з відомого відношення [297]:

$$S = (r_a + r_\delta + r_e + r_p + r_{zn} + r_{ze})/M = r/M \quad (\text{III.15})$$

де  $r_e$  – витрати на енергоносії для опаленні приміщень, грн.;

$r_a$  – відрахування на амортизацію, грн.;

$r_\delta$  – витрати на добрива, отрутохімікати та дезінфікуючі розчини, грн.;

$r_p$  – витрати на поточний ремонт, грн.;

$r_{zn}$  – заробітна плата, грн.;

$r_{ze}$  – загальногосподарські витрати, грн.;

$r$  – загальні витрати, грн.;

$M$  – вихід продукції, кг.

Традиційно витрати та вихід продукції в розрахунках використовують за підсумками року.

Для зручності інтерпретації підсумків дослідження введемо в розгляд абсолютну до базової величину зміни собівартості продукції і запишемо критерії оцінки системи обладнання:

$$\sigma S_j = \Delta S_j \cdot 100 / S^{(6)} = \frac{[r^{(6)} - \Delta r_j]}{S^{(6)} g} 100, \quad (\text{III.16})$$

Для розрахунків введемо обмеження:

$$r_{\partial}, r_{3n}, r_{3z}, M - const,$$

“ $\sigma S$ ” показує відносне відхилення величини (варіанту) від базового, а знак “–” напрям цього відхилення, показуючи тим самим доцільність використання енергоносія або доцільність вибраної системи опалення.

Багато років йде мова про можливість використання скидної теплоти в теплицях. Але, по-перше, в природних умовах України теплиці в зимовий період простоюють через недостатність в цей час сонячного освітлення, хоч тепла від ТЕС достатньо. По-друге, ця енергія низькотемпературна, і потребує великої площі поверхні радіаторів. Щоб усунути цю ваду, розроблено теплиці з водонаповненою покрівлею, які дозволяють використовувати теплові відходи ТЕС навіть із температурою 25-30 °С. Але через таку покрівлю різко зменшується освітлення рослин в теплицях. Тому гідротеплиці не поширені для вирощування основної овочевої продукції – огірків (які потребують освітлення не менш 12 клк) та помідорів (16 клк).

Однак цю проблему можна вирішити за рахунок розширення асортименту тепличних культур, наприклад, шляхом пророщування вигоночних культур та виробництва гідропонного зеленого корму [298], які можуть замінити традиційні вітаміноноси – огірки та помідори. При цьому досягається виробництво більш

ранньої вітамінної продукції (поки теплиці ще не працюють через недостатнє освітлення), з меншими витратами енергії, якщо вирощування проводиться в спеціальних культиваційних спорудах. В зв'язку з цим академік ВАСГНІЛ Л. Г. Прищеп зазначав: “В усіх зонах в зимовий період... витрати енергії на вигонку зелені мінімальні, оскільки приміщення можуть бути надійно ізольованими, а це зменшує тепловитрати на їх обігрів в 8-10 разів” [295].

Можна запропонувати ще одне вирішення цієї проблеми. Це вирощування в теплицях, які обігріваються скидною теплотою електростанцій, білкової продукції – грибів. Наприклад, такий гриб як глива звичайна може нормально розвиватись при освітленні 0,5 клк, а печериця може культивуватись взагалі без освітлення.

## **2.2. Визначення вартісних еквівалентів носіїв теплової енергії**

Деякі сільськогосподарські підприємства при вирішенні проблеми опалення своїх виробничих та соціальних об'єктів передбачали при будівництві котелень альтернативи при використанні енергоносіїв. Наприклад, будували котельні та встановлювали обладнання, яке дозволяє використовувати кілька видів палива (наприклад, котельня т.п. 903-1-262.88 (газ, мазут). Або в єдиній системі опалення працюють кілька котелень на різних видах палива. Тому, враховуючи, що ціни на енергоносії в наш час не стабільні, то постає питання вибору енергоносія для опалення, виходячи з кон'юнктури цін на час вирішення проблеми.

В зв'язку з цим, є необхідність у створенні методики оцінки ситуації, яка б давала найбільш точну уяву про ефективність застосування палива, і, що не менш важливо, була доступна в використанні на практиці. Для цього пропонується введення поняття вартісного еквівалента носія теплової енергії.

Вартісний еквівалент енергоносія – це такі розрахункові витрати на його придбання та транспортування, які однакові з базовим (вибирається за бажанням дослідника) енергоносієм. Нижче підраховано згаданий еквівалент деяких видів палива (табл. III.5), прийнявши за базовий енергоносієм спочатку мазут, потім газ. При цьому не враховано витрати на транспортування та зберігання енергоносіїв в

зв'язку з тим, що в кожному конкретному господарстві вони будуть різними. Але це не має значного впливу на результати розрахунків, тим більше на пропоновану методику.

Розглянемо приклад із базовим енергоносієм мазутом. З даних таблиці видно, що витрати на опалення мазутом і, наприклад, вугіллям рівні тоді, коли вартість вугілля, включаючи транспортні витрати, становить 0,29 грн./кг. Якби вугілля мало таку вартість, то на отримання однієї й тієї ж кількості теплоенергії від вугілля та мазуту власник витратив би однакову суму. За станом на 1 лютого 2003 р. маємо вартість вугілля близько 0,27 грн./кг, що нижче вартісного еквівалента, тому його використання в порівнянні з мазутом більш вигідне. Аналогічним чином дійдемо до висновку, що опалення газом також дешевше, а опалення пічним побутовим паливом та електроенергією (навіть при нічному тарифі) дорожче. Найкращий варіант маємо при використанні дров. Але в зв'язку з тим, що можливості з використанням цього виду палива обмежені, цей варіант доцільно розглядати власникам підприємств із невеликим об'ємом виробництва продукції.

Розрахунки, наведені в таблиці III. 5 отримано із запропонованого нами виразу [299]:

$$E_i = \frac{R^{(6)}}{n_i} = \frac{(T^{(6)} + r_T^{(6)}) \cdot Q_i \cdot k_i}{Q^{(6)} \cdot k^{(6)}}, \quad (\text{III.17})$$

де  $E$  – вартісний еквівалент носія теплової енергії, грн./кВт год., грн./м<sup>3</sup>, грн./кг;

$n_i = 1/Q_{\text{пр}}$  – кількість енергоносія, необхідного для отримання 1 МДж теплоти, кг/МДж, кВт год./МДж, м<sup>3</sup>/МДж;

$R^{(6)}$  – вартість 1 МДж теплової енергії, грн.;

$T^{(6)}$  – вартість (тариф) одиниці базового енергоносія, грн./кВт год., грн./м<sup>3</sup>, грн./кг;

$Q_i$  – енергомідність, МДж/кВт год., МДж/м<sup>3</sup>, МДж/кг (табл. III. 5);

$k_i$  – коефіцієнт використання;

$Q^{\delta}$  – енергоємність палива по базовому варіанту МДж/кВт год., МДж/м<sup>3</sup>, МДж/кг;

$k^{\delta}$  – коефіцієнт використання по базовому варіанту;

$r_m$  – приведені витрати на транспортування та зберігання грн./кВт год., грн./м<sup>3</sup>, грн./кг;

$i = 1, 2, 3 \dots$  – варіант, що розглядається.

Для зручності інтерпретації результатів розрахунків доцільно використовувати відносну величину вартісних еквівалентів енергоносіїв [299]:

$$\sigma E = \frac{(T^{\delta} + r_T^{\delta}) \cdot Q_i \cdot k_i}{Q^{\delta} \cdot k^{\delta} \cdot (T_i + r_{Ti})} - 1, \quad (\text{III.18})$$

Для більшої наглядності результатів їх можна зобразити у вигляді прямої (рис. III.10), де за нуль приймається базовий варіант, а всі інші розподіляються по обидві сторони по принципу в позитивну сторону позитивний результат, у негативну – негативний (на це вкаже знак  $\sigma E$ ).

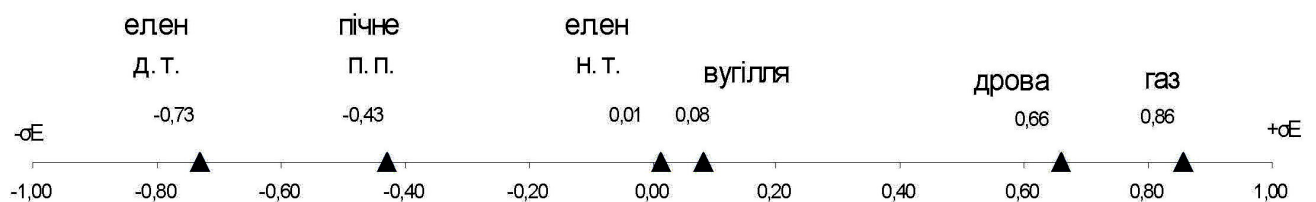


Рис. III.10 – Розподілення відносних вартісних еквівалентів енергоносіїв відносно базового енергоносія (мазуту)

Використання даної методики оцінки дає можливість технічним працівникам та власникам сільськогосподарських підприємств самостійно вирішувати питання вибору енергоносія з врахуванням вартості палива та його транспортування.

Таблиця III.5 – Визначення вартісних еквівалентів енергоносіїв на опалення сільськогосподарських приміщень(ціни станом на 1 лютого 2003 р.)

Енергоносії	Енерго- ємність, Q	Коефіцієнт використан- ня, k	Приведена енергоємність, Q <sub>пр</sub>		Кількість палива на 1 МДж, n	Вартість 1 МДж теплоти, грн., R	Вартість (тариф) енергоносія, T	Вартісний еквівалент, E	
								базовий мазут	базовий газ
Умвне паливо	29,3	1	29,3	МДж/кг	0,034				
	МДж/кг								
Електроенер- гія денний тариф	3,6	0,9	3,2	МДж/кВт год.	0,309	0,0982	0,3182	0,09	0,05
	МДж/кВт год.								
Електроенер- гія нічний тариф	3,6	0,9	3,2	МДж/кВт год.	0,309	0,0262	0,0849	0,09	0,05
	МДж/кВт год.								
Природний газ	36	0,7	25,2	МДж/м <sup>3</sup>	0,040	0,0143	0,36	0,67	Базовий
	МДж/м <sup>3</sup>								
Пічне побутове паливо	43	0,7	30,1	МДж/кг	0,033	0,0465	1,4	0,80	0,43
	МДж/кг								
Мазут	42	0,7	29,4	МДж/кг	0,034	0,0265	0,78	Базовий	0,42
	МДж/кг								
Вугілля	22	0,5	11,0	МДж/кг	0,091	0,0245	0,27	0,29	0,16
	МДж/кг								
Дрова	10	0,5	5,0	МДж/кг	0,200	0,0160	0,08	0,13	0,07
	МДж/кг								

### 2.3. Обґрунтування доцільного співвідношення різних видів енергії в закритому ґрунті, включно із відновлювальною

Розглянемо доцільність заміни традиційних енергоносіїв, раціональне співвідношення яких запропоновано в п. 1.4 – відновлювальною енергією. Оскільки ефективність цих пристроїв визначалась орієнтовно (за річними відрахуваннями на амортизацію), розглянемо це питання більш детально. Для цього підраховано собівартість кВт год. електро- та теплової енергії, отриманої від нетрадиційних джерел (табл. III.6). Потім ця собівартість порівнювалась з собівартістю 1 кВт год. теплоти, виробленої традиційним обладнанням (табл. III.7).

Таблиця III. 6 – Розрахунок собівартості 1кВт год. електро- та теплової енергії, яка генерується вітроелектричною станцією АВЕУ-6-4 та сонячним водонагрівником конструкції КиївЗНДІЕП (ціни станом на 1 лютого 2003 р.)

Показник	Од. виміру	Перетворювач відновлювальної енергії	
		АВЕУ-6-4	Геліосистема КиївЗНДІЕП
Вартість	грн.	10700	43600
Кап. витрати	грн.	535	52400
Відрахування:			
– амортизаційні	грн.	562	5229
– на поточний ремонт	грн.	562	3295
Заробітна платня	грн.	284	114
Загальногосподарські витрати	грн.	169	2591
Всього витрат	грн.	1577	11229
Річний вихід енергії	кВт год.	680	154667
Собівартість	грн./кВт год.	2,32	0,073

Як бачимо, собівартість теплової енергії, генерованої АВЕУ-075 [300], вища від, одержаної за рахунок використання традиційного палива. Тому застосування цього агрегату економічно не вигідне. Геліотепло – навпаки, дешевше від теплоти, отриманої за рахунок спалення вугілля, мазуту, дизпалива, електроенергії, але не

газу. Тому економічно доцільно замінювати геліосистемою перші чотири види палива, але не газ.

Устаткуванням для використання відновленої енергії сонця є сонячні батареї та колектори. Використання електричної енергії, отриманої за рахунок перетворення сонячної енергії в напівпровідникових фотоелектричних перетворювачах не раціональне із-за високої вартості сонячних батарей та великої питомої площі (20 м<sup>2</sup>/кВт) [241].

Таблиця III.7 – Собівартість 1 кВт год. теплоти, виробленого традиційним обладнанням (ціни на 1 лютого 2003 р.)

Паливо	Газ	Вугілля	Ел. енергія ніч. тариф	Мазут	Пічне п.п.	Ел. енергія ден. тариф
Вартість 1 кВт год. теплоти, грн.	0,051	0,088	0,094	0,096	0,167	0,354

Приймаючи термін використання енергії сонця з квітня по жовтень, визначимо технологічні процеси закритого ґрунту, які в цей період потребують тепла. Це процеси стерилізації ґрунту, підігрівання поливної води та гарячого водопостачання. Але стерилізація ґрунту виконується за допомогою високопотенційної пари, яку в колекторі не можна отримати. Тому для подальшого розгляду приймаються два останні процеси, частка цих процесів в енергобалансі теплиці становить відповідно 1,06 та 0,24 %. Тому за умови безперервного приходу тепла, його участь в енергобалансі становить 1,3 %. Але, зважаючи на показник імовірності (приблизно 0,45), можливо забезпечити сонцем 0,6 % енергопотреб підприємства, що вивільнить 24,5 т вугілля на кожен гектар площі.

Таким чином, при відсутності газу оптимальним співвідношенням різних видів енергії в закритому ґрунті є таке, коли 94,52 % енергопотреб підприємства забезпечується за рахунок вугілля, 1,68 % – природного газу, 2,47 % – електроенергії, 0,73 % – нафтопродуктів та 0,6 % енергії сонця.

## 2.4. Обґрунтування енергозберігаючих режимів роботи теплового насоса в замкнутій системі опалення та вентиляції теплиць

Згідно методики, розробленої професором Мартиновським В. С. [301], коефіцієнт перетворення парокомпресорного теплового насоса можна визначити за виразом:

$$\mu_k = 0,74 \cdot T_o \cdot (T_K - T_o)^{-1} - (0,0032 \cdot T_o + 0,765 \cdot T_o \cdot T_K^{-1}) + 0,9, \quad (\text{Ш.19})$$

де  $T_o$ ,  $T_K$  – температура відповідно кипіння та конденсації холодоагенту, °С.

Розрахунок параметрів сорбційних теплових насосів в системі теплопостачання споруд закритого ґрунту для різних сорбентів показав [302], що величина дійсного коефіцієнта перетворення менша від ідеального на 15...25 %. Таким чином, для коефіцієнта перетворення сорбційного теплового насоса можна записати:

$$\mu_c = \lambda \cdot \frac{T_K \cdot (T_3 - T_o)}{T_3 \cdot (T_K - T_o)}, \quad (\text{Ш.20})$$

де  $\lambda = 0,75...0,85$  – коефіцієнт впливу реальних умов;

$T_3$  – температура десорбції холодоагенту за рахунок підводу теплоти від зовнішнього джерела енергії, °С.

Кипіння холодоагенту у компресорному ТН проходить з відбором теплоти від циркулюючого через випарник теплоносія, який одночасно відбирає теплоту від джерела енергії (рис. Ш.11). Температура кипіння холодоагенту  $T_o$  залишається постійною, а температура теплоносія змінюється від  $T_{BX}$  на вході у випарник до  $T_{ВИХ}$  на виході з нього. Конденсація холодоагенту проходить з відбором теплоти циркулюючим через конденсатор теплоносієм, який віддає теплоту опалюваному приміщенню. Температура конденсації холодоагенту  $T_K$  залишається постійною, а температура теплоносія змінюється від  $T_{BX}$  на вході в

конденсатор до  $T_{ВИХ}$  на виході із конденсатора. Відповідно, температура теплоносія в системі опалення зменшується від  $T_{ВИХ}$  до  $T_{ВХ}$ .

Склавши диференційне рівняння зміни температури теплоносія під час руху через теплообмінник, враховуючи, що вона прямо пропорційна теплоті, яка підводиться від джерела енергії, і обернено пропорційна масі та теплоємності теплоносія, та провівши його інтегрування, одержимо залежність температур на вході та виході теплообмінника від температури джерела енергії.

Провівши аналогічні розрахунки для процесу відбору теплоти в випарнику, конденсаторі та системі опалення, після спрощень та перетворень одержимо залежність температури кипіння холодоагенту в випарнику від температури джерела енергії [303]:

$$T_O = T_D - \frac{P_B}{m_B \cdot c_B} \cdot \left\{ \left[ \exp\left(\frac{K_T \cdot S_T}{m_B \cdot c_B}\right) - 1 \right]^{-1} - \left[ \exp\left(-\frac{K_B \cdot S_B}{m_B \cdot c_B}\right) - 1 \right]^{-1} \right\}, \quad (\text{III.21})$$

та залежність температури конденсації холодоагенту в конденсаторі від температури в опалюваному приміщенні:

$$T_K = T_6 + \frac{P_K}{m_K \cdot c_K} \cdot \left\{ \left[ \exp\left(\frac{K_K \cdot S_K}{m_K \cdot c_K}\right) - 1 \right]^{-1} - \left[ \exp\left(-\frac{K_O \cdot S_O}{m_K \cdot c_K}\right) - 1 \right]^{-1} \right\}. \quad (\text{III.22})$$

де  $T_D$  – температура джерела енергії, °С;

$T_6$  – температура в опалювальному приміщенні, °С;

$P_B, P_K$  – теплова потужність випарника та конденсатора, Вт;

$m_B, m_K$  – масова витрата теплоносія у випарнику та конденсаторі, кг/с;

$c_B, c_K$  – теплоємність теплоносія у випарнику та конденсаторі, Дж/кг °С;

$S_T, S_B, S_K, S_O$  – площа поверхні теплообміну теплообмінника, випарника, конденсатора та системи опалення, м<sup>2</sup>;

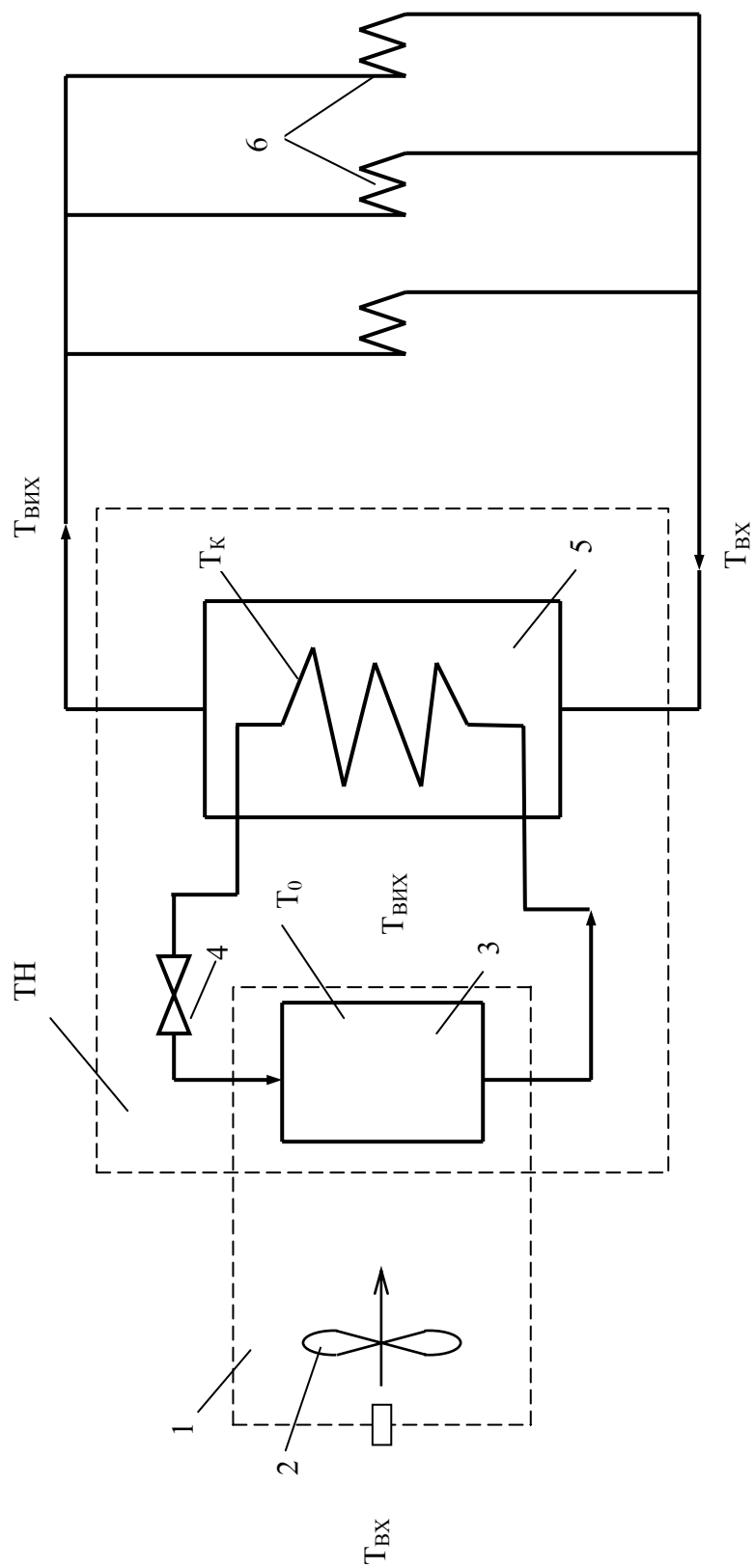


Рис. Ш.11 – Схема передачі теплоти від джерела енергії (суміш викидного та зовнішнього повітря) до опалювальної системи СЗГ за допомогою теплового насоса (ТН): 1 – теплоаккумулятор; 2 – вентилятор; 3 – випарник; 4 – дросельний вентиль; 5 – конденсатор; 6 – теплообмінники системи опалення приміщення

$K_T, K_B, K_K, K_O$  – коефіцієнт теплопередачі відповідно: від джерела енергії до теплоносія, від теплоносія до холодоагенту у випарнику, від холодоагенту до теплоносія у конденсаторі та від теплоносія до опалюваного приміщення, Вт/м<sup>2</sup> °С.

У випадку, коли теплоносій, при відсутності теплообмінника, поступає безпосередньо в випарник від джерела енергії, а теплота від конденсатора поступає в опалюване приміщення також без проміжного теплоносія, формули (III.21) та (III.22) набувають вигляду:

$$T_O = T_D - \frac{P_B}{m_B \cdot c_B} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{K_B \cdot S_B}{m_B \cdot c_B}\right) \right]^{-1}, \quad (\text{III.23})$$

$$T_K = T_s + \frac{P_K}{m_K \cdot c_K} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{K_K \cdot S_K}{m_K \cdot c_K}\right) \right]^{-1}. \quad (\text{III.24})$$

Аналіз рівнянь (III.21) та (III.22) дозволяє зробити висновок, що температура кипіння холодоагенту у випарнику менша температури джерела енергії на величину, яка при інших сталих параметрах обернено пропорційна площі поверхні теплообміну випарника та теплообмінника джерела енергії, а температура конденсації холодоагенту у конденсаторі більша температури у опалюваному приміщенні на величину, яка при інших сталих параметрах обернено пропорційна площі поверхні теплообміну конденсатора та системи опалення.

Таким чином, в системі тепlopостачання споруд закритого ґрунту, коли задається теплова потужність конденсатора та температура в опалюваному приміщенні, енергетичні параметри теплового насоса однозначно визначаються температурою джерела енергії.

Гранична навколишня температура, починаючи з якої необхідно нагрівати припливне повітря, визначається з рівняння теплового балансу [243, 304]:

$$Q_{\text{суб}} + Q_{\text{с.р}} = Q_{\text{т.в.}} + Q_{\text{н.нов}} + Q_{\text{інф}} + Q_{\text{вип}}, \quad (\text{III.25})$$

де  $Q_{\text{т.в.}}$  – втрати теплоти через огорожу приміщення, Вт;

$Q_{\text{н.нов}}$  – витрати теплоти на нагрів вентиляційного повітря, Вт;

$Q_{\text{інф}}$  – втрати теплоти з інфільтрованим повітрям, Вт;

$Q_{\text{вип.}}$  – витрати теплоти на випаровування вологи, Вт;

$Q_{\text{суб.}}$  – теплонадходження в приміщення від субстрату, Вт;

$Q_{\text{с.р.}}$  – теплонадходження від сонячної радіації, Вт.

Підставляємо значення складових рівняння (III.25) [243, 305]:

$$Q_{\text{т.в.}} = \sum a_{\text{оп}} A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{зв}}), \quad (\text{III.26})$$

$$Q_{\text{інф.}} = c_p \cdot G_{\text{інф}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{зв}}), \quad (\text{III.27})$$

$$Q_{\text{н.нов}} = c_p \cdot G_{\text{м}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{зв}}), \quad (\text{III.28})$$

$$Q_{\text{вип.}} = r \cdot W \cdot m_C, \quad (\text{III.29})$$

$$Q_{\text{суб}} = g_c \cdot m_C, \quad (\text{III.30})$$

$$Q_{\text{інф.}} = 0,6 \cdot (q_{\text{ср}} \cdot A_{\text{с.н}} \cdot \beta) + k_{\text{ог}} \cdot A_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{зв}}^{\text{зм}} - t_{\text{в}}), \quad (\text{III.31})$$

де  $t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{зв}}$  – температура в середині приміщення та навколишнього повітря, °С;

$S_{\text{оп}}$  – площа поверхні опалювальних приладів, м<sup>2</sup>;

$\alpha_{\text{оп}}$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup> °С);

$t_{\text{ср}} = 0,5 \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вих}})$ , °С;

$m_C$  – маса субстрату, кг;

$g_c$  – потік явної теплоти від 1 т субстрату, Вт/т;

$r$  – теплота пароутворення, кДж/г;

$W$  – витрата вологи, яка випаровується, г/(с кг);

$q_{\text{ср}}$  – середня густина потоків сонячної радіації через остеклення, Вт/м<sup>2</sup>;

$A_{\text{с.н}}$  – площа світлових проїомів, м<sup>2</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт теплопропускання сонцезахисних пристроїв;

$k_{нок}$  – коефіцієнт теплопередачі через покриття, Вт/(м<sup>2</sup> °С);

$A_{нок}$  – площа покриття, м<sup>2</sup>;

$k_{ог}$  – коефіцієнт теплопередачі через огороження, Вт/(м<sup>2</sup> °С);

$A$  – площа огорожень, м<sup>2</sup>;

$c_p$  – масова теплоємність повітря, Дж/(кг °С);

$t_{36}^{ym}$  – умовна середньодобова температура зовнішнього повітря, °С;

$G_m$  – повітрообмін із зовнішнім середовищем, кг/с;

$G_{инф}$  – повітрообмін інфільтрації, кг/с,

з (III.26)–(III.31) одержимо вираз для визначення асиміляційної різниці температур:

$$\Delta t = t_e - t_{36} = \frac{m_c(g_c - r_{II} \cdot W) + 0,6q \cdot A_{c.n} \cdot \beta + k_{ог} \cdot A_{cm}(t_{36}^{ym} - t_e)}{\Sigma a_{оп} A + c_p(G_m + G_{инф})}, \quad (III.32)$$

та граничної температури навколишнього повітря:

$$t_{36}^o = t_e - \Delta t = t_e - \frac{m_c(g_c - r_{II} \cdot W) + 0,6q_{cp} \cdot A_{c.n} \cdot \beta + k_{ог} \cdot A_{cm}(t_{36}^{ym} - t_e)}{\Sigma a_{оп} A + c_p(G_m + G_{инф})}. \quad (III.33)$$

На основі даних, отриманих в дослідних теплицях, за допомогою моделі (III.30) визначена гранична температура опалення для грибниці – 16,9 °С та теплиці – 14,8 °С.

В холодний період року нагрів припливного повітря може відбуватися за допомогою теплового насоса з використанням теплоти викидного повітря. Рівняння теплового балансу (III.25) приміщення в цьому випадку буде мати вигляд:

$$Q_{TH} = Q_{т.в.} + Q_{п.нов} + Q_{инф} + Q_{вип} - Q_{суб} - Q_{с.р}, \quad (III.34)$$

де  $Q_{TH}$  – кількість теплоти, що надходить від теплового насоса [306], Вт.

$$Q_{TH} = Q_{KTH} = Q_{ym} + P = \mu P, \quad (III.35)$$

де  $Q_{KTH}$  – теплова потужність конденсатора теплового насоса, Вт;

$Q_{ym}$  – теплова потужність, утилізована випарником теплового насоса, Вт;

$P$  – встановлена потужність теплового насоса, Вт;

$\mu$  – коефіцієнт перетворення теплового насоса.

Експериментальна перевірка математичної моделі та визначення техніко-економічних показників проводилось за допомогою розробленого парокомпресійного ТН з повітряним випарником та водяним конденсатором, який був виготовлений на Мелітопольському заводі холодильного машинобудування.

Експериментальні дослідження проводились за допомогою термостатичної камери науково-дослідного інституту “Кондиціонер”. Це дозволяло моделювати в реальних межах температурні режими роботи ТН. Аналіз результатів енергетичної оцінки (рис. III. 12) показав, що при температурі повітря на вході у випарник ТН від 0 до мінус 5 °С споживана потужність ТН склала від 3 до 4 кВт, а тепла – від 7 до 11 кВт. Таким чином, коефіцієнт перетворення (економія енергії) ТН по результатах експериментальних випробувань становив від 2,1 до 2,5 відн. од.

Адекватність математичної моделі експериментальним даним перевірялась по критерію Р.Фішера. Перевірка показала, що розходження між теоретичними та експериментальними значеннями коефіцієнта перетворення тепла не суттєва.

Виробничі випробування проводились на протязі опалювального сезону 1994-1995 рр. Під час їх проведення, при середній температурі опалювального періоду мінус 1°С, середнє значення коефіцієнта перетворення ТН становило 2,4 відносних одиниць.

Результати виробничих випробувань (табл. III.8) [306] показали, що економічна ефективність теплонасосної системи тепlopостачання (ТСТ) установки порівняно з найбільш ефективною системою електроопалення на базі

проточного електроводонагрівача за рахунок економії електроенергії складає 750 доларів за один опалювальний сезон при тарифі на електроенергію 0,04 долара.

Параметри ТН типу “повітря-вода” зображено на рисунку III. 12 [306].

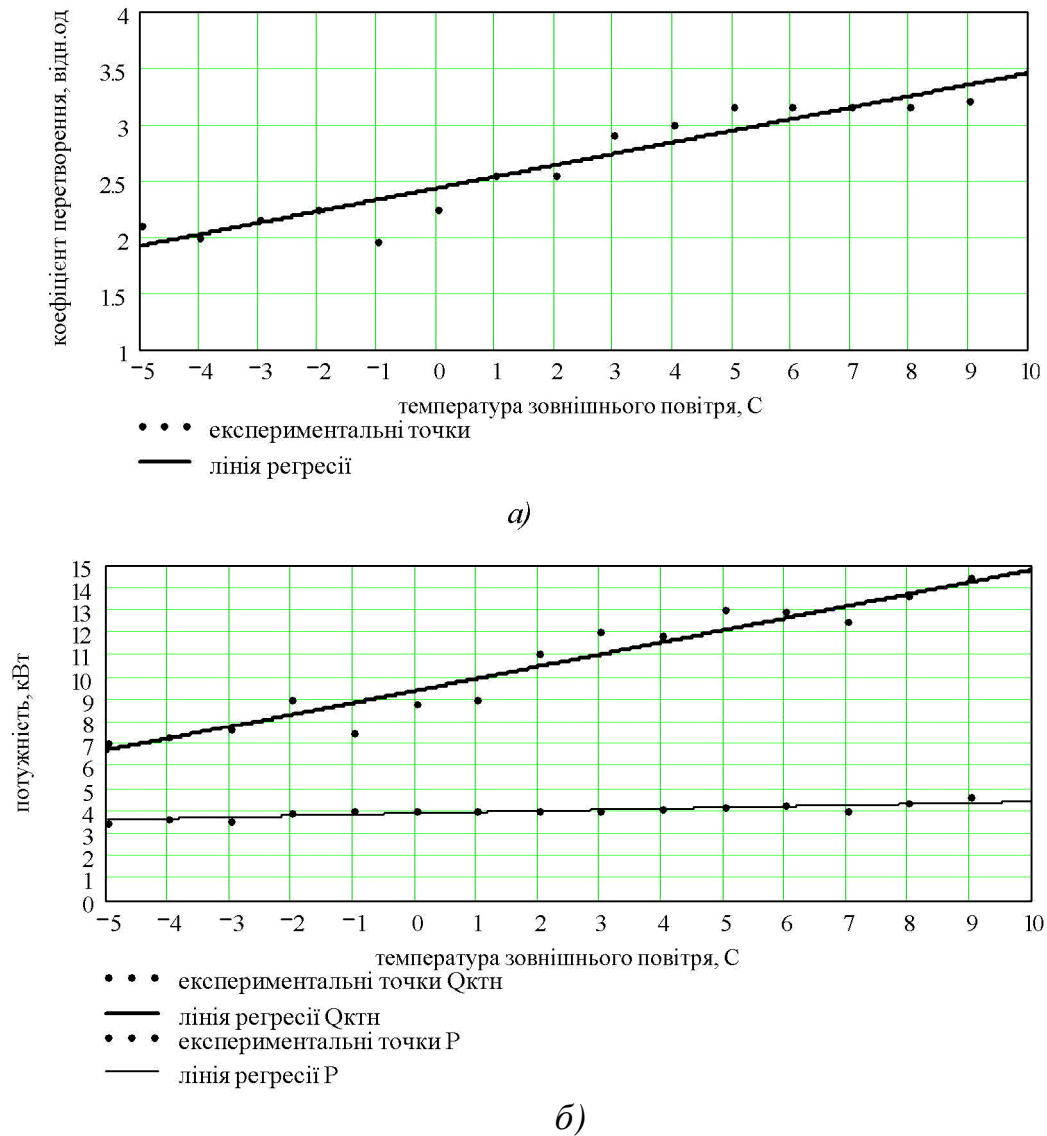


Рис. III.12 – Залежність коефіцієнта перетворення а) та потужності електричної і теплової енергії ТН б) від температури зовнішнього повітря

Апроксимація експериментальних даних проведена за допомогою лінійної регресії виду  $f(t) = a_0 + a_1 t$ . Коефіцієнти регресії дорівнюють:

– коефіцієнт перетворення  $\mu - a_0 = 2,429 \quad a_1 = 0,102$ ;

– тепла потужність  $Q_{КТН} - a_0 = 9,375 \quad a_1 = 0,539$ ;

– встановлена потужність  $N - a_0 = 3,866$   $a_1 = 0,054$ .

Таблиця III.8 – Результати виробничої перевірки

№ п/п	Показники	Електрооводо-нагрівач	Теплонасосна установка
1	Теплова потужність, кВт	9	7–11
2	Споживана потужність, кВт	10	3–4
3	Максимальна температура нагрітої води, °С	80	50
4	Металомісткість, кг	18	300
5	Витрати електроенергії, кВт год.	31320	12862
6	Вартість електроенергії, дол.	1250	500
7	Капіталовкладення, дол.	350	3000
8	Термін окупності, років	-	4

Вартість обладнання ТСТ, як вітчизняного так і імпортного виробництва, знаходиться в межах від 3 до 4 тисяч доларів. Таким чином, термін його окупності становитиме від 4 до 6 років.

## 2.5. Резюме по розділу 2

1. Структура енергоспоживання в СЗГ з точки зору вибору найбільш доцільного енергоносія повинна бути наступною, коли 96 – 97 % енергетичних потреб підприємства забезпечуються за рахунок природного газу (енергія йде на теплові процеси та підживлення рослин), 2 – 3 % електроенергії витрачається на роботу силового електрообладнання, досвічування розсади та електроосвітлення. Участь нафтопродуктів у забезпеченні енергобалансу підприємств закритого ґрунту не повинна перевищувати 1 % – це процеси обробки ґрунту та транспортування вантажів.

2. Розроблено метод визначення вартісних еквівалентів носіїв теплової енергії, що дозволяє проводити раціональний вибір палива в залежності від його вартості та витрат на транспортування.

3. Встановлено, що при відсутності газу оптимальним співвідношенням різних видів енергії в закритому ґрунті є таке, коли 94,52 % енергопотреб

підприємства забезпечується за рахунок вугілля, 1,68 % – природного газу, 2,47 % – електроенергії, 0,73 % – нафтопродуктів та 0,6 % енергії сонця.

4. Встановлено, що в системі тепlopостачання споруд закритого ґрунту, коли задається теплова потужність конденсатора та температура в опалюваному приміщенні, енергетичні параметри теплового насоса однозначно визначаються температурою джерела енергії.

## **РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ ТЕПЛИЦЬ**

### **3.1. Структурно-функціональна схема замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць**

Виробництво овочевої продукції в теплицях пов'язане із значними енергетичними витратами на нагрів вентиляційного повітря. Для цілей енергозбереження в теплицях застосовують системи вентиляції, які забезпечують використання теплого повітря насиченого вуглекислотою.

Задачею замкнутої системи опалення та вентиляції є забезпечення роботи цієї системи на протязі всієї доби з можливістю використання вуглекислоти, яка продукується грибами, для вирощування овочевої продукції та більш повного використання теплоти і економії енергії за рахунок створення додаткових контурів циркуляції повітря.

Відомо [307, 308, 309, 310], що здатність рослин поглинати вуглекислоту пов'язана з процесом фотосинтезу, основним компонентом якого є світлове випромінювання. Тобто, вночі процес фотосинтезу припиняється, отже поглинання вуглекислоти також припиняються. Газообмін у грибів відбувається цілодобово. Зв'язку з цим постає задача використання повітря збагаченого  $\text{CO}_2$  із грибниці – вночі.

Поставлена задача вирішується завдяки тому (рис. III.13), що в світлий час доби повітрообмін здійснюють між теплицею, де вирощують рослини при природному освітленні (денна теплиця), та культивуваційним приміщенням для вирощування грибів (грибниця), а в темний час доби повітрообмін здійснюється між приміщенням, де рослини вирощують при штучному освітленні (нічна теплиця), та грибницею, а повітрообмін між денною теплицею і грибницею припиняють. Це забезпечує повну утилізацію вуглекислоти і вихід овочевої продукції як із нічної та і із денної теплиці.

В нічній теплиці, освітлення вмикається в провали графіків електричних навантажень енергосистем. Позитивний ефект при цьому досягається за рахунок покращення режимів роботи енергосистем, які живлять нічні об'єкти (вирівнювання графіків навантажень), а також за рахунок пільгових цін нічної електроенергії. Оскільки ЗСВ в даному випадку працює цілодобово без роз'єднувань, і немає необхідності викидати назовні відпрацьоване повітря, досягається суттєва економія теплоти.

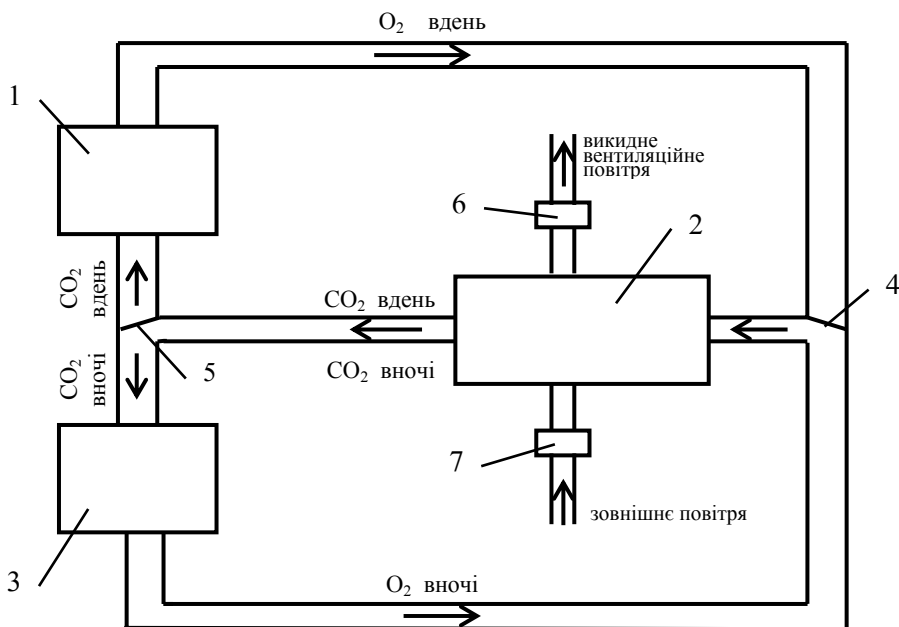


Рис. III.13 – Функціональна схема замкнутої системи вентиляції: 1 – денна теплиця; 2 – грибниця; 3 – нічна теплиця; 4, 5 – заслінки; 6 – випарник ТН; 7 – конденсатор ТН

Замкнена система опалення та вентиляції дозволяє економити енергоносії за рахунок зменшення нагріву припливного повітря, а також збільшити вихід овочевої продукції завдяки підвищеним концентраціям вуглекислоти у повітрі теплиць, яке поступає з культивацийного приміщення для грибів. Додаткове встановлення в системі ТН дозволяє збільшити економію теплової енергії.

За основу для проектування і подальшого впровадження у виробництво пропонується функціонально-технологічна схема ЗСВ (рис. III.14). Ця схема передбачає побудову приміщення, яке розділено на кілька частин. В одній частині

вирощують зелені рослини в другій рослини вирощують при штучному освітленні, в третьому – гриби. Грибне приміщення розбито на дві частини для виключення роз'єднання системи, яке виникає внаслідок різниці в строках вирощування грибів і рослин. В зв'язку із різними, по технологічним вимогам, повітрообмінами в приміщеннях і накопиченням шкідливостей частина повітря оновлюється за рахунок повітрообміну із зовнішнім середовищем. При цьому за допомогою теплового насоса утилізується додаткова кількість теплоти.

Як зазначалось вище, одночасно працює лише одна пара приміщень, тому можлива організація ЗСВ в двох суміжних блоках блокової теплиці (рис. III.15).

Пропонується також схема ЗСВ в одній теплиці, розділеної на дві частини (рис. III.16), в одній з яких вирощуються гриби в іншій зелені рослини.

Схеми ЗСВ, які показані на рисунках III.15 і III.16, працюють лише в день, чим відрізняються в гіршу сторону від схеми (рис. III.14), але мають перевагу в капітальних витратах які витрачаються на реконструкцію приміщень.

### **3.2. Математична модель опалювально-вентиляційної системи замкнутого повітрообміну між окремими приміщеннями в спорудах закритого ґрунту**

Вирішення питання енергозбереження дозволяє зменшити енерговитрати і тим самим зменшити їх долю у собівартості продукції сільськогосподарського виробництва.

Основною особливістю СЗГ є багатофакторне середовище, яке об'єднане поняттям мікроклімату, опалювально-вентиляційна система є невід'ємною складовою цього середовища при цьому моделювання режимів роботи цієї системи при умові складності останнього стає фактором не тільки бажаним, а під час і необхідним.

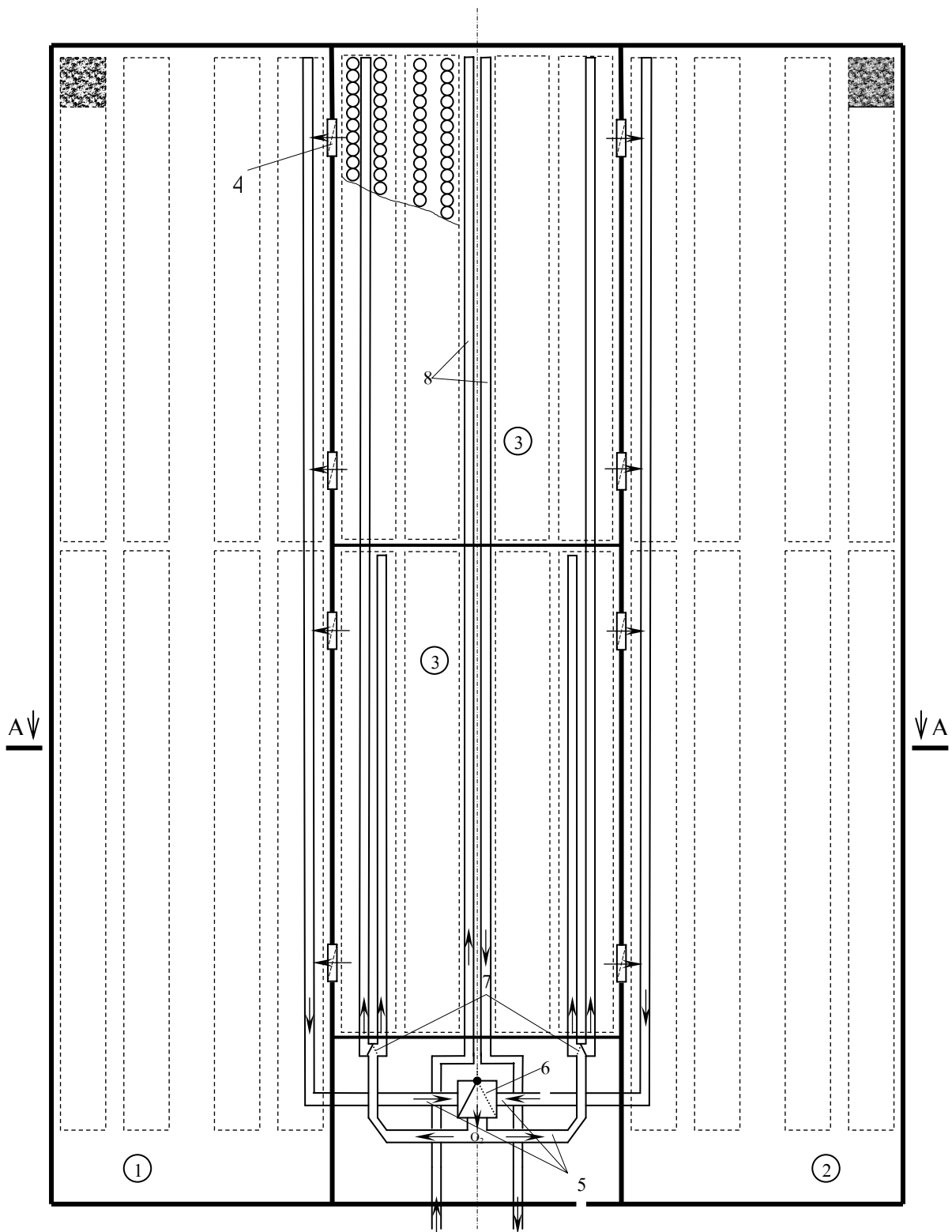


Рис. III.14.a – План-схема замкнутої системи вентиляції: 1 – денне приміщення (світлиця); 2 – нічне приміщення (темниця); 3 – грибні приміщення; 4 – заслінки подачі повітря збагаченого  $\text{CO}_2$ ; 5 – повітроводи забору та подачі повітря збагаченого  $\text{O}_2$ ; 6 – заслінки зміни напрямку потоку повітря в залежності від часу доби; 7 – заслінки зміни напрямку потоку повітря між грибними приміщеннями; 8 – повітроводи повітрообміну з навколишнім середовищем

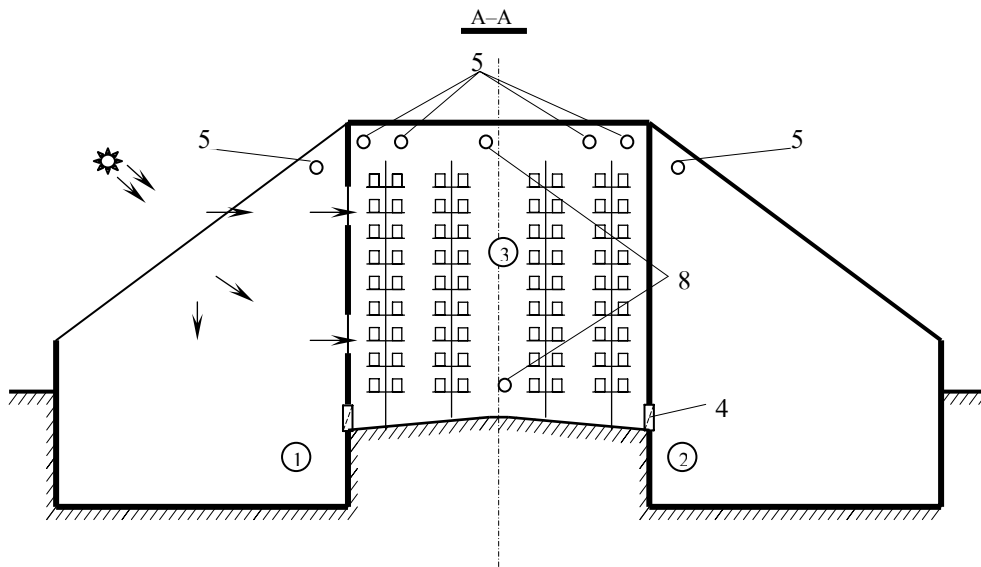


Рис. III.14.б – План-схема замкнутої системи вентиляції: 1 – денне приміщення (світлиця); 2 – нічне приміщення (темниця); 3 – грибні приміщення; 4 – заслінки подачі повітря збагаченого  $\text{CO}_2$ ; 5 – повітроводи забору та подачі повітря збагаченого  $\text{O}_2$ ; 8 – повітроводи повітрообміну з навколишнім середовищем

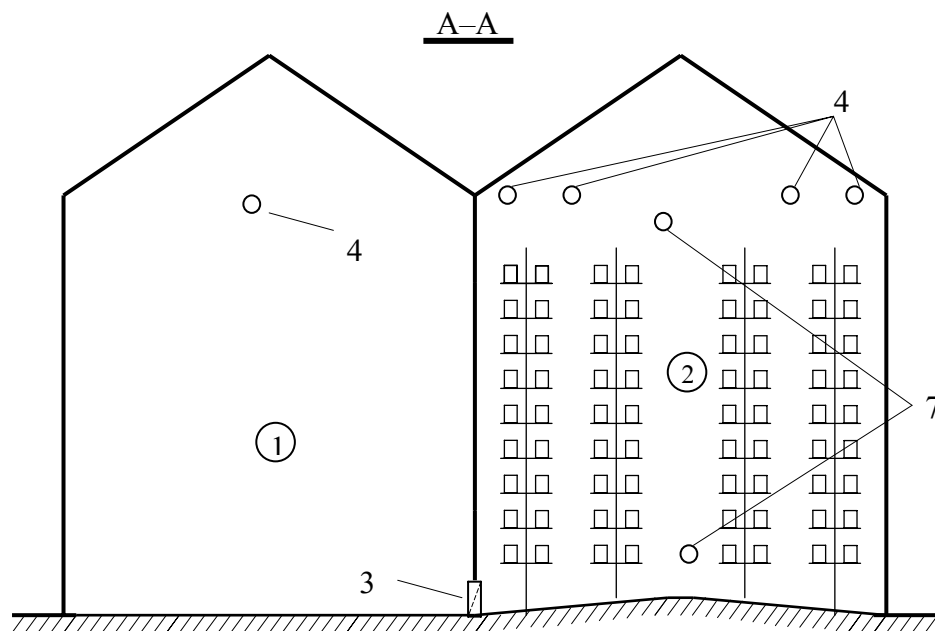


Рис. III.15.а – План-схема замкнутої системи вентиляції: 1 – теплиця; 2 – грибне приміщення; 3 – заслінки подачі повітря збагаченого  $\text{CO}_2$ ; 4 – повітроводи забору та подачі повітря збагаченого  $\text{O}_2$ ; 7 – повітроводи повітрообміну з навколишнім середовищем

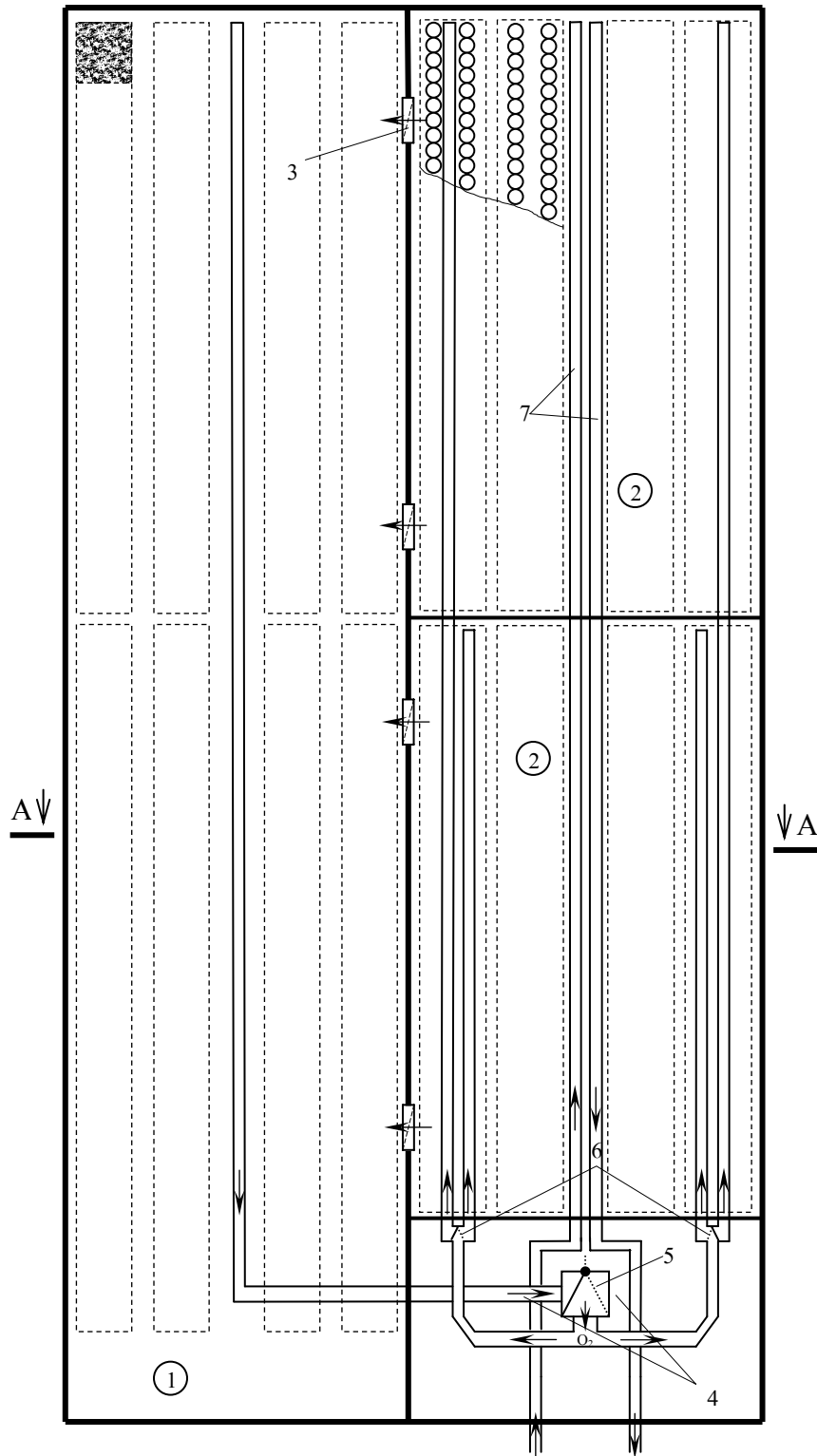


Рис. III.15.б – План-схема замкнутої системи вентиляції: 1 – теплиця; 2 – грибні приміщення; 3 – заслінки подачі повітря збагаченого  $\text{CO}_2$ ; 4 – повітроводи забору та подачі повітря збагаченого  $\text{O}_2$ ; 5 – заслінка; 6 – заслінки зміни напрямку потоку повітря між грибними приміщеннями; 7 – повітроводи повітрообміну з навколишнім середовищем

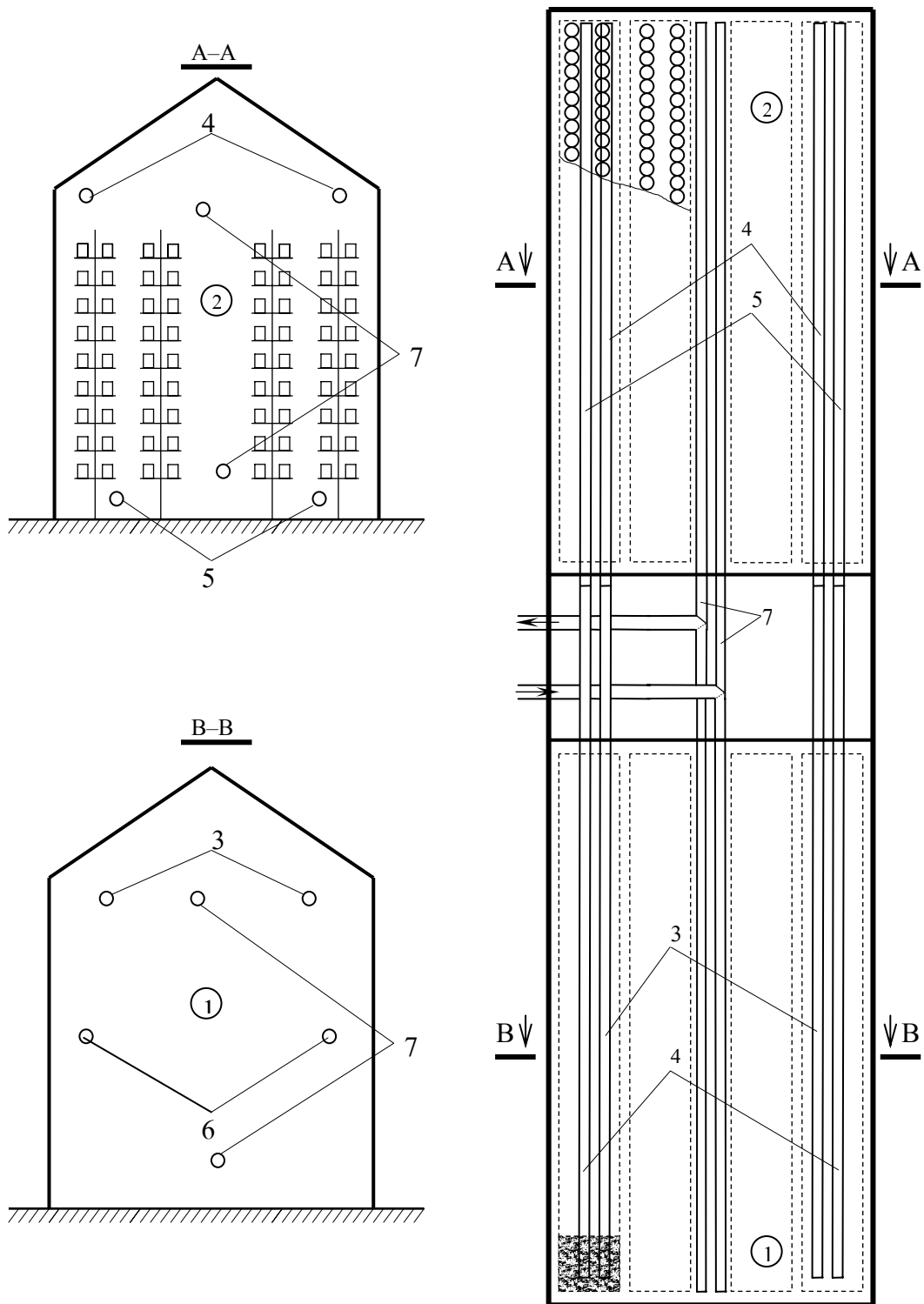


Рис. III.16 – План-схема замкнутої системи вентиляції: 1 – теплиця; 2 – грибне приміщення; 3 – повітроводи забору повітря збагаченого  $O_2$ ; 4 – повітроводи подачі повітря збагаченого  $O_2$ ; 5 – повітроводи забору повітря збагаченого  $CO_2$ ; 6 – повітроводи подачі повітря збагаченого  $CO_2$ ; 7 – повітроводи повітрообміну з навколишнім середовищем

Розглянемо це питання на прикладі грибниці в якій культивується культура гриба гливи звичайної.

Фактори мікроклімату, які підлягають регулюванню, складають систему, в яку входять температура, вологість, концентрація CO<sub>2</sub> і освітленість, які змінюються в функції часу. Основними факторами, які здійснюють вплив на систему, є фактори навколишнього середовища: температура, вологість повітря, швидкість вітру, довжина світлового дня та інтенсивність сонячного випромінювання.

В процесі вирощування культури виникають ситуації, які потребують оптимального вибору роботи опалювально-вентиляційної системи. Наприклад, в період плодоношення в весняно-літній період, коли температура в грибниці підвищується вище норми за рахунок природного світла (тепличний ефект), виникає потреба в вентиляції приміщення з метою видалення зайвої теплоти. В той же час для нормального розвитку гриба потрібна більша за атмосферну вологість повітря, в результаті із зайвою теплотою видаляється і необхідна волога. Аналогічна ситуація виникає і при видаленні зайвої вуглекислоти, яка виділяється при диханні грибів, коли з видаленням CO<sub>2</sub> витрачається волога і теплота з культиваційного приміщення.

Необхідно знайти такий варіант, який при заданих умовах забезпечив би досягнення екстремального (мінімального) значення втрат теплової енергії з культиваційного приміщення [311, 297].

Одним із способів вирішення цієї проблеми може бути застосування математичного моделювання [297, 312] режимів роботи опалювально-вентиляційного обладнання.

Оптимальна величина витрат енергії в грибниці, тобто набір значень перемінних  $x_{ik}$ , які мінімізують значення цільової функції [313]:

$$f(x) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{kij} x_{kij} \rightarrow \min, \quad (\text{III.36})$$

де  $i, I$  – номер дня та кількість днів вегетаційного періоду;

$k, K$  – порядковий номер періоду та кількість всіх періодів вегетації;

$j, J$  – параметр мікроклімату, що регулюється та кількість параметрів (керованих змінних), що регулюються;

$x_{ik}$  – витрати енергії в  $i$ -й день вегетаційного періоду  $k$ -го періоду вегетації для підтримання  $j$ -го параметру мікроклімату.

Введемо граничні умови. Враховуючи, що регулювання концентрації CO<sub>2</sub> і освітлення в першому періоді за технологічними умовами не проводиться ( $k=1$ ) і, позначивши через:  $j=1$  – параметр температури;  $j=2$  – вологості;  $j=3$  – CO<sub>2</sub>;  $j=4$  – освітленість, визначимо, що:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} = 0, \quad (j=3, 4). \quad (\text{III.37})$$

Початок, закінчення і тривалість періодів вегетації запишемо як:

$$\sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{ki}; \quad \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{(k+1)i} \quad \Delta i_k = \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{ki} - \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{(k+1)i}, \quad k = 1 \dots 4,$$

де  $\lambda_{ki}$  – коефіцієнт-зв'язка (булева змінна).

Враховуючи черговість проходження періодів:

$$\sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{1i} < \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{2i} \dots \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{Ki},$$

визначимо кінець циклу вирощування гриба при  $K > 4$ .

Очевидно, що чим нижча середньодобова температура повітря за межами грибниці, наприклад, взимку, тим більші витрати енергії. Дещо подібна ситуація виникає і влітку, коли температура навколишнього середовища значно перевищує технологічно необхідну температуру, що веде, в свою чергу, до витрат енергії на охолодження приміщення. Цільова функція буде мати вигляд:

$$f(x) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} a_{ki} \cdot t_{ki} \rightarrow \min, \quad (\text{III.38})$$

де  $t$  – середня температура досліджуваного періоду.

Аналогічно формулюється цільова функція і для теплиці.

Для системи споруд “рослинна теплиця – грибниця” цільова функція набуває вигляду:

$$f(x) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{kij} x_{kij} + \sum_{y \in Y} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} a_{ylm} x_{ylm} \rightarrow \min \quad (\text{III.39})$$

де, для теплиці, прийняті позначення:

$l, L$  – номер дня та кількість днів вегетаційного періоду;

$y, Y$  – порядковий номер періоду та кількість всіх періодів вегетації;

$m, M$  – параметр мікроклімату, що регулюється та кількість параметрів (керованих змінних), що регулюються;

$x_{ylm}$  – витрати енергії в  $l$ -й день вегетаційного періоду  $k$ -го періоду вегетації для підтримання  $m$ -го параметру мікроклімату.

Отже задача полягає у виборі таких значень  $x$ , при яких функція  $f(x)$  досягатиме свого найменшого значення.

Розглянемо наведену в п. 3.1 замкнуту систему опалення та вентиляції як об’єкта математичного моделювання [314]. Введемо обмеження: потік явної теплоти від субстрату постійний; інтенсивність випаровування вологи зі змоченої поверхні не залежить від температури. Також, прийняті допущення:  $\text{CO}_2$  в зовнішньому повітрі та повітрі, яке надходить із суміжної теплиці на протязі перехідних процесів постійні; температура зовнішнього повітря на протязі перехідних процесів постійна; густина повітря не залежить від температури і тиску в середині приміщення; час переміщення повітря в приміщенні не враховується. Виділимо дві основні складові моделі – тепловий баланс та газовий баланс.

Математичне моделювання роботи такої системи повітрообміну дає можливість оцінити ефективність роботи опалювально-вентиляційного обладнання та оцінити значення технологічних параметрів мікроклімату.

Для розробки математичної моделі скористуємося рівнянням теплового балансу СЗГ [243]:

$$Q_{T.H.} - Q_{T.втр.} = Q_{надл.} , \quad (III.40)$$

де  $Q_{T.H.}$  – загальні теплонадходження в приміщення;

$Q_{T.втр.}$  – загальні втрати теплоти з приміщення;

$Q_{надл.}$  – надлишок (“–“ дефіцит) теплоти в приміщенні.

Додатне значення  $Q_{надл.}$  визначає потужність системи опалення, від’ємне – потужність системи кондиціонування.

$Q_{T.H.}$  визначаємо як суму теплонадходжень від сонячної радіації  $Q_{с.р.}$ , субстрату  $Q_{суб}$  та системи освітлення  $Q_{осв.}$ :

$$Q_{T.H.} = Q_{с.р.} + Q_{суб} + Q_{осв.} . \quad (III.41)$$

$Q_{T.втр.}$  визначаємо як суму тепловтрат через огорожуючі конструкції  $Q_{тв.}$ , інфільтрацію  $Q_{інф}$ , випаровування  $Q_{вип}$  та підігрів припливного повітря  $Q_{п.пов.}$ :

$$Q_{T.втр.} = Q_{тв.} + Q_{інф} + Q_{вип} + Q_{п.пов.} . \quad (III.42)$$

Підставивши формули (III.41) і (III.42) в тепловий баланс (III.40) отримаємо:

$$Q_{надл.} = Q_{с.р.} + Q_{суб} + Q_{осв.} - Q_{тв.} - Q_{інф} - Q_{вип} - Q_{п.пов.} . \quad (III.43)$$

Теплоповітряний баланс буде мати вигляд [243, 304]:

- по тепловому потоку:

$$Q_{T.H.} - Q_{T.впр.} = Q_{оп}; \quad (III.44)$$

- по повітрю:

$$G_{вит} - G_{надх} = 0, \quad (III.45)$$

де  $Q_{опв}$  – потужність опалювально-вентиляційної системи;

$$Q_{оп} = Q_{надл};$$

$$Q_{п.нов} = Q_в - Q_{пр};$$

$Q_{пр}$  – потік теплоти з припливним повітрям;

$Q_в$  – потік теплоти з відхідним повітрям;

$G_{вит}$  – витяжка (видалення) повітря з приміщення;

$G_{надх}$  – приплив (надходження) повітря в приміщення.

Виділивши з  $Q_{T.впр}$  (III.42) теплоту яка витрачається на підігрів припливного повітря  $Q_{п.нов}$  і розділивши останню на дві складові  $Q_в$  і  $Q_{пр}$  отримаємо тепловий баланс:

$$-Q_{T.H.} + Q_{T.впр} + Q_{п.нов} - Q_{пр} + Q_в = 0. \quad (III.46)$$

В системі, що розглядається, є три приміщення, кожне з яких має свій тепловий та теплоповітряний баланс. Об'єднавши їх в систему замкнутого повітрообміну рівняння теплового балансу буде мати вигляд:

$$\begin{cases} Q_{T.H.1} - Q_{T.впр.1} - Q_{надл.1} = 0 \\ Q_{T.H.2} - Q_{T.впр.2} - Q_{надл.2} = 0 \\ Q_{T.H.3} - Q_{T.впр.3} - Q_{надл.3} = 0, \end{cases} \quad (III.47)$$

або:

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{on.1} + Q_{m.в.1} - Q_{np.1} + Q_{в.1} = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{on.2} + Q_{m.в.2} - Q_{np.2} + Q_{в.2} = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{on.2} + Q_{m.в.2} - Q_{np.2} + Q_{в.2} = 0, \end{cases} \quad (\text{III.48})$$

де цифрами 1,2,3 позначені, відповідно, грибниця, денна та нічна теплиця.

З вищенаведеного опису видно, що в один і той же час працює лише два приміщення, а саме: вдень – грибниця та денна теплиця; вночі – грибниця та нічна теплиця, тому можливо розглядати систему із двох рівнянь – окремо для денної та нічної частин доби.

Для прикладу розглянемо темну частину доби, зробивши припущення, що повітрообмін в обох приміщеннях однаковий  $G_{M.1}=G_{M.2}=G_M$ :

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{on.1} + Q_{m.в.1} - Q_{np.1} + Q_{в.1} = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{on.2} + Q_{m.в.2} - Q_{np.2} + Q_{в.2} = 0, \end{cases} \quad (\text{III.49})$$

або:

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{on.1} + Q_{m.в.1} - c_p \cdot G_M \cdot t_{36.1} + C_p \cdot G_M \cdot t_{в.1} = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{on.2} + Q_{m.в.2} - c_p \cdot G_M \cdot t_{36.2} + C_p \cdot G_M \cdot t_{в.2} = 0, \end{cases} \quad (\text{III.50})$$

де  $t_{в}$ ,  $t_{36}$  – температура, відповідно, внутрішнього та зовнішнього повітря.

Температура вхідного повітря для рослинної теплиці буде такою ж як внутрішня температура в грибниці і навпаки температура припливного повітря для грибниці буде дорівнювати температурі внутрішнього повітря в рослинній теплиці:

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{on.1} + Q_{m.в.1} - c_p \cdot G_M \cdot t_{в.2} + C_p \cdot G_M \cdot t_{в.1} = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{on.2} + Q_{m.в.2} - c_p \cdot G_M \cdot t_{в.1} + C_p \cdot G_M \cdot t_{в.2} = 0. \end{cases} \quad (\text{III.51})$$

В реальних умовах, при вирощуванні різних культур повітрообмін в приміщеннях фактично є різним. Також необхідно враховувати те, що в повітрі, при його циркуляції в замкнутій системі накопичуються шкідливості. Тому математична модель повинна враховувати повітрообмін із зовнішнім середовищем.

Припустимо, що за технологічними вимогами повітрообмін в приміщеннях  $G_{M.1}$  і  $G_{M.2}$  різний – в грибному приміщенні більший, в рослинному менший. Тоді, в першому приміщенні виникає надлишок  $G_M$ , на базі якого необхідно організувати повітрообмін із навколишнім середовищем. Організуємо його в першому приміщенні. В цьому випадку, після математичних перетворень отримаємо систему:

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{on.1} + Q_{m.e.1} - c_p \cdot [G_{M.1.1}(t_{e.2} - t_{e.1}) + G_{M.1.2}(t_{ze} - t_{e.1})] = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{on.2} + Q_{m.e.2} - c_p \cdot G_{M.1.1} \cdot (t_{e.1} - t_{e.2}) = 0 \end{cases} \quad (III.52)$$

де  $G_{M.1.1}$  – повітрообмін між приміщеннями;

$G_{M.1.2}$  – повітрообмін із зовнішнім середовищем.

Аналогічно запишеться система і для світлої частини доби.

В такому вигляді модель дозволяє визначити значення повітрообмінів між приміщеннями та із зовнішнім середовищем при зміні  $Q_{on.2}$ , або значення температур в приміщеннях. При проведенні відповідних перетворень та внесенні доповнень можна визначити і інші параметри системи.

Приклад застосування імітаційної моделі системи (III.52) для визначення повітрообмінів, коли в дослідній грибниці вирощується глива, а в рослинній теплиці вигоночна культура – цибуля на перо, показаний на рис. III.17, де пряма  $G_{M.1.1}$  – це повітрообмін між приміщеннями, а пряма  $G_{M.1.2}$  – повітрообмін із зовнішнім середовищем. Розрахунок приводиться для зимового періоду ( $t_{ze} = -15$  °C,  $t_{e1} = 16$  °C,  $t_{e2} = 14$  °C).

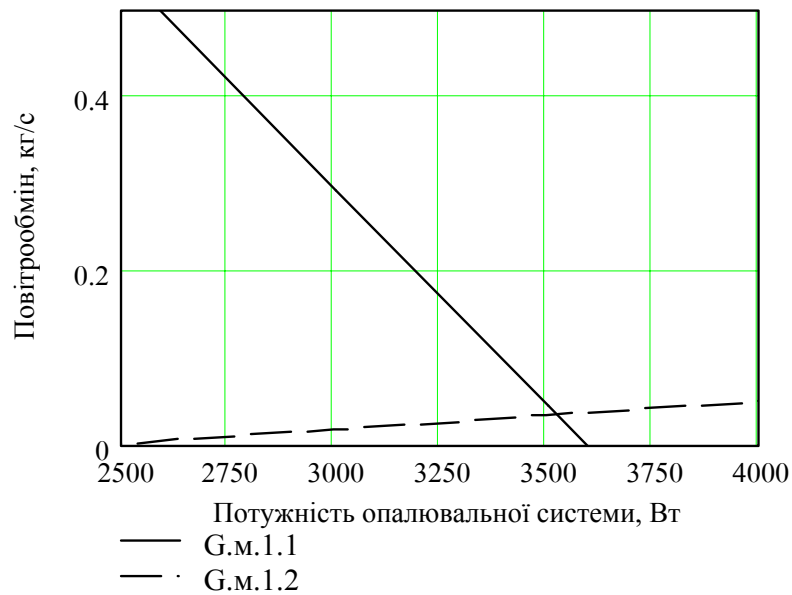


Рис. III.17 – Залежність повітрообмінів від потужності опалювальної системи

Приклад застосування імітаційної моделі системи (III.52) для визначення температур, показаний на рис. III.18 ( $t_{ze} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $G_{M.1.1} = 0,0346\text{ кг/с}$ ,  $G_{M.1.2} = 0,0194\text{ кг/с}$ ).

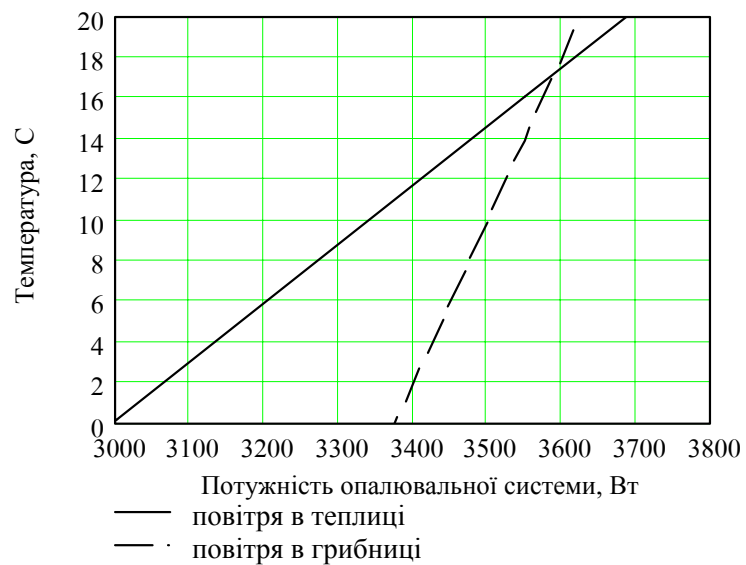


Рис. III.18 – Залежність температури повітря в грибниці і теплиці в залежності від потужності опалювальної системи

З рис. III.17 і III.18 видно, що при зменшенні потужності  $Q_{on.2}$  повітрообмін між приміщеннями  $G_{M.1.1}$  збільшується, а з зовнішнім середовищем  $G_{M.1.2}$  – зменшується, а температури в грибниці і теплиці зменшуються. Таким чином величину повітрообмінів та температуру в приміщеннях можна регулювати за допомогою зміни потужності опалювальної установки грибниці.

Порівняльна залежність сумарної потужності розімкнутої та замкнутої системи від температури зовнішнього середовища, згідно наведеного прикладу, показана на рис. III.19. Наприклад, при зовнішній температурі мінус 15 °С теплова потужність замкнутої системи зменшується на 1160 Вт (13 %) відносно розімкнутої системи.

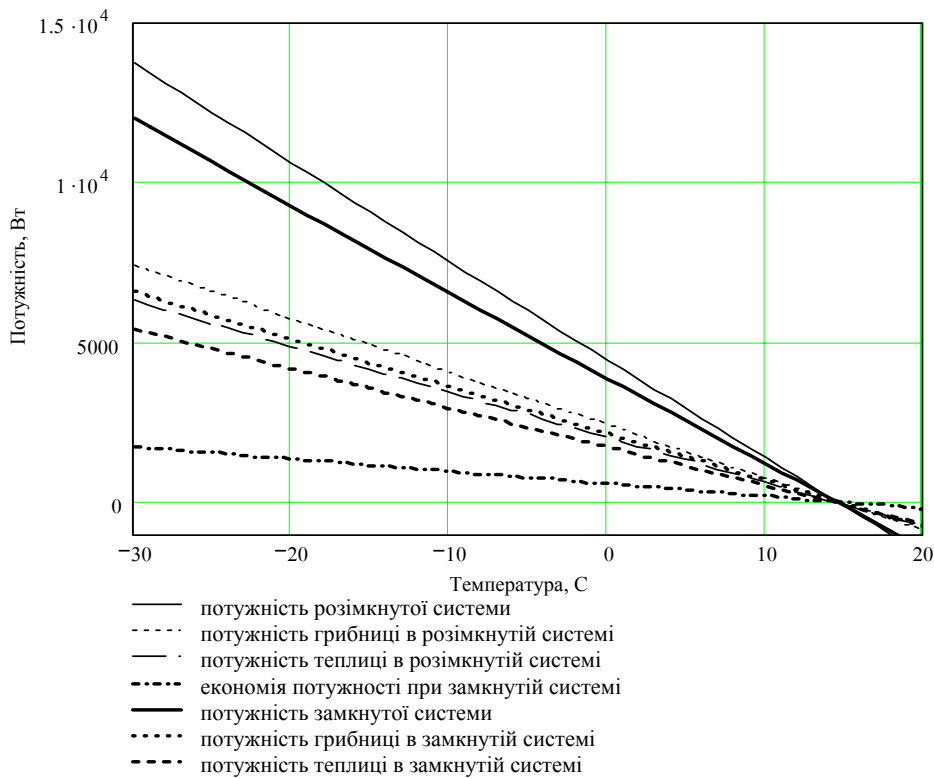


Рис. III.19 – Залежність потужності системи опалення від температури зовнішнього повітря

В діапазоні зовнішніх температур від мінус 21 °С до плюс 14 °С теплова потужність в ЗСВ зменшується на 12,7 – 20,5 %.

Залежність потужності системи опалення від температури внутрішнього повітря в грибниці та температури внутрішнього повітря в теплиці показані на рисунках III.20 і III.21.

При зміні температури внутрішнього повітря в грибниці від 10 до 22 °С (при сталих температурах зовнішнього повітря і температури в теплиці) теплова потужність зменшується на 12,5 – 13,2 %.

При зміні температури внутрішнього повітря в теплиці від 10 до 22 °С (при сталих температурах зовнішнього повітря і температури в грибниці) теплова потужність зменшується на 12,7 – 12,9 %.

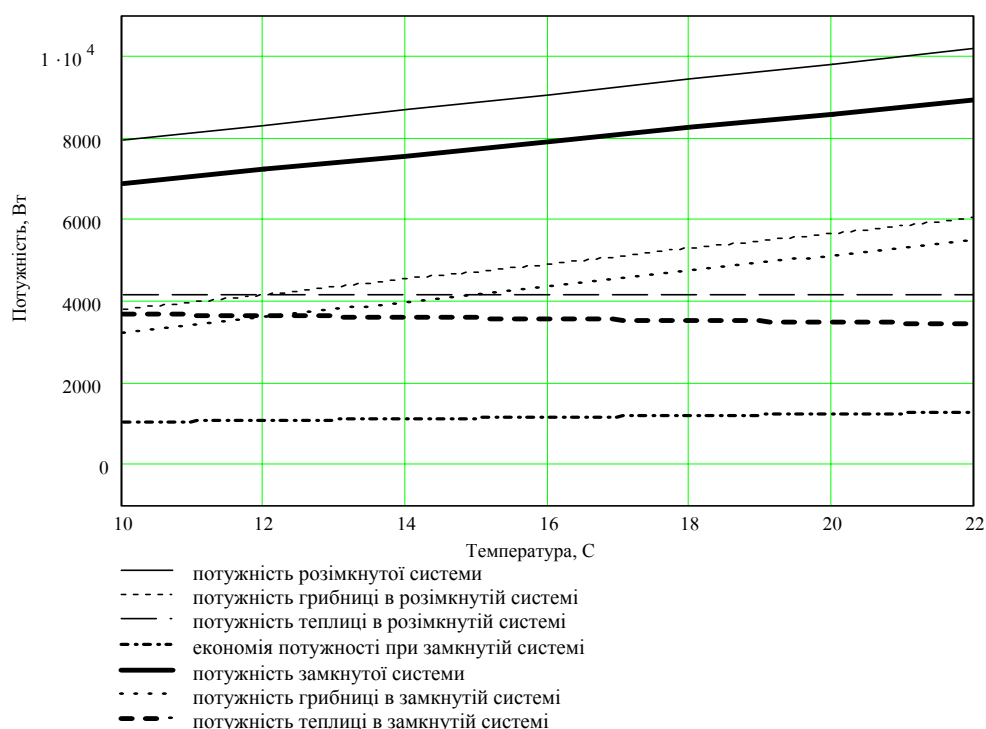


Рис. III.20 – Залежність потужності системи опалення від температури внутрішнього повітря в грибниці (ніч)

Дослідження, проведені за допомогою імітаційної математичної моделі системи повітрообміну, показують, що найбільша ефективність роботи системи спостерігається: при низьких температурах зовнішнього повітря; при максимально більшій різниці температур в приміщеннях (згідно з технологічними

вимогами), а також при роботі з нічною теплицею в якій відсутні теплонадходження від сонячної радіації. Необхідно також відмітити, що для отримання максимального ефекту система повинна бути автоматизована.

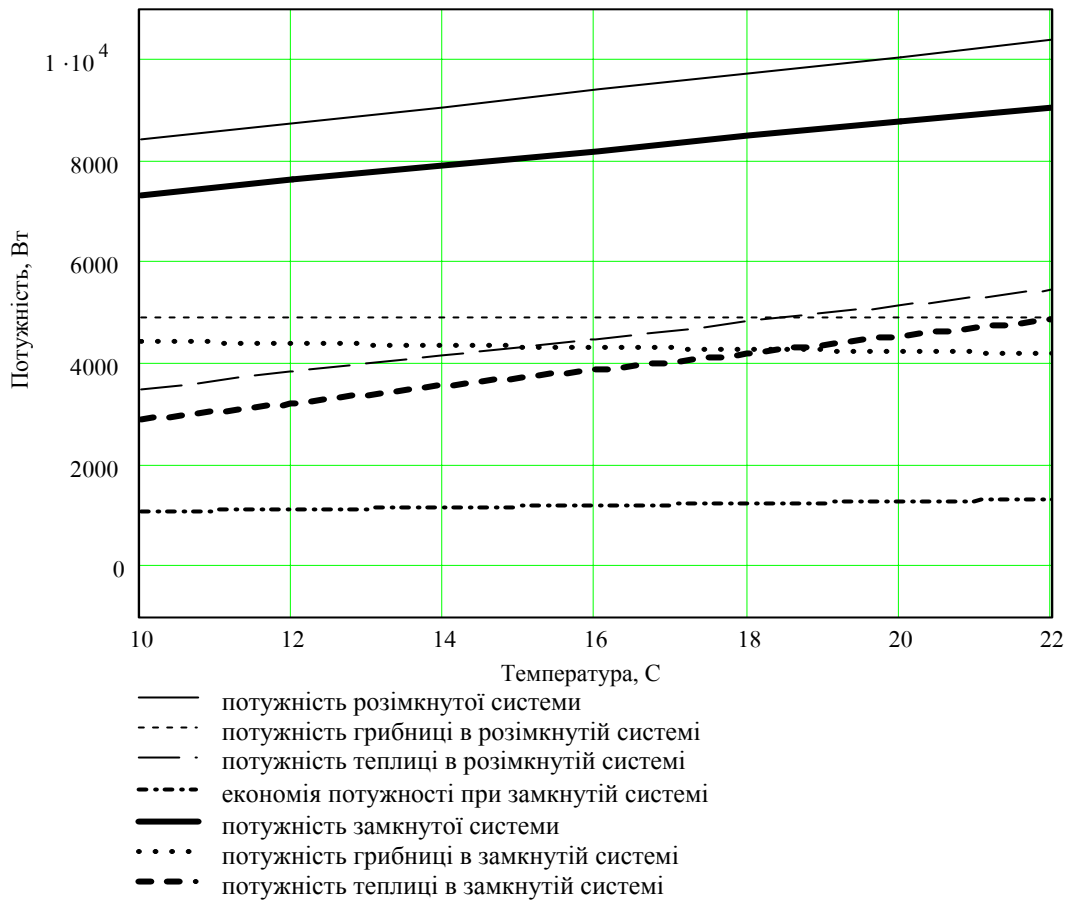


Рис. III.21 – Залежність потужності системи опалення від температури внутрішнього повітря в теплиці (ніч)

### 3.3. Динаміка зміни температури субстрату і повітря та концентрації CO<sub>2</sub> в замкнутій системі опалення та вентиляції теплиць

Температура субстрату та повітря є визначальними факторами, які впливають на процес вирощування грибів [112, 254, 258, 304, 305], одночасно, температура повітря є основним фактором при вирощуванні овочевих культур в теплиці [229, 232, 236, 255, 315].

Для визначення функціональної залежності між температурою повітря в

культиваційному приміщенні і теплиці та температурою субстрату у часі складемо систему диференціальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\Pi}^m c_p \frac{dt_{\epsilon}^m}{d\tau} = -k_{OГ}^m S_{OГ}^m (t_{\epsilon}^m - t_{3\epsilon}) + \alpha_{OП}^m S_{OП}^m (t_{OП}^m - t_{\epsilon}^m) + V_{B.1.1} \rho_{\Pi} c_p (t_{\epsilon}^{2p} - t_{\epsilon}^m) + \\ \quad + V_{инф} \rho_{\Pi} c_p (t_{3\epsilon} - t_{\epsilon}^m) \\ m_{\Pi}^{2p} c_p \frac{dt_{\epsilon}^{2p}}{d\tau} = -k_{OГ}^{2p} S_{OГ}^{2p} (t_{\epsilon}^{2p} - t_{3\epsilon}) + \alpha_C S_C (t_C - t_{\epsilon}^{2p}) + \alpha_{OП}^{2p} S_{OП}^{2p} (t_{OП}^{2p} - t_{\epsilon}^{2p}) + \\ \quad + V_{B.1.1} \rho_{\Pi} c_p (t_{\epsilon}^m - t_{\epsilon}^{2p}) + V_{B.1.2} \rho_{\Pi} c_p (t_{3\epsilon} - t_{\epsilon}^{2p}) + V_{инф} \rho_{\Pi} c_p (t_{3\epsilon} - t_{\epsilon}^{2p}) \\ m_C c_C \frac{dt_C}{d\tau} = m_C q - \alpha_C S_C (t_C - t_{\epsilon}^{2p}) - r m_{BП}, \end{array} \right. \quad (Ш.53)$$

де  $t_C$  – температура субстрату, °С;

$c_C$  – масова теплоємність субстрату, Дж/кг °С;

$q$  – тепловиділення субстрату, Вт/кг;

$\alpha_C$  – коефіцієнт тепловіддачі від субстрату до повітря, Вт/м<sup>2</sup> °С;

$S_C$  – площа поверхні субстрату, яка обдувається повітрям, м<sup>2</sup>;

$t_{\epsilon}^m, t_{\epsilon}^{2p}$  – температура внутрішнього повітря відповідно в теплиці та грибниці, °С;

$t_{3\epsilon}$  – температура зовнішнього повітря, °С;

$r$  – теплота пароутворення води, Дж/кг;

$m_{BП}$  – інтенсивність випаровування води, кг/с;

$\tau$  – час, с;

$m_{\Pi}^m, m_{\Pi}^{2p}$  – маса повітря відповідно в теплиці та грибниці, кг;

$c_p$  – питома теплоємність повітря, Дж/кг °С;

$V_{B.1.1}$  – повітрообмін між приміщеннями, м<sup>3</sup>/с;

$V_{B.1.2}$  – повітрообмін між грибницею і зовнішнім середовищем, м<sup>3</sup>/с;

$V_{инф}$  – повітрообмін інфільтрації,  $m^3/c$ ;

$\rho_{\Pi}$  – густина повітря,  $кг/м^3$ ;

$S_{ог}^m, S_{ог}^{zp}$  – площа поверхні огорожень відповідно теплиці та грибниці,  $м^2$ ;

$k_{ог}^m, k_{ог}^{zp}$  – значення коефіцієнта теплопередачі через огороження відповідно теплиці та грибниці,  $Вт/м^2 \text{ } ^\circ C$ ;

$S_{оп}^m, S_{оп}^{zp}$  – площа поверхні опалювальних приладів відповідно теплиці та грибниці,  $м^2$ ;

$\alpha_{оп}^m, \alpha_{оп}^{zp}$  – коефіцієнт тепловіддачі від опалювальних приладів до повітря відповідно теплиці та грибниці,  $Вт/м^2 \text{ } ^\circ C$ ;

$t_{оп}^m, t_{оп}^{zp}$  – температура води в опалювальних приладах,  $^\circ C$ .

Привівши (III.52) до стандартної форми (форми Коші) [316] отримаємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dt_6^m}{d\tau} = -\frac{k_{ог}^m S_{ог}^m}{m_{\Pi}^m c_p} (t_6^m - t_{36}) + \frac{\alpha_{оп}^m S_{оп}^m}{m_{\Pi}^m c_p} (t_{оп}^m - t_6^m) + \frac{V_{B1.1} \rho_{\Pi}}{m_{\Pi}^m} (t_6^{zp} - t_6^m) + \frac{V_{инф} \rho_{\Pi}}{m_{\Pi}^m} (t_{36} - t_6^m) \\ \frac{dt_6^{zp}}{d\tau} = -\frac{k_{ог}^{zp} S_{ог}^{zp}}{m_{\Pi}^{zp} c_p} (t_6^{zp} - t_{36}) + \frac{\alpha_c S_c}{m_{\Pi}^{zp} c_p} (t_c - t_6^{zp}) + \frac{\alpha_{оп}^{zp} S_{оп}^{zp}}{m_{\Pi}^{zp} c_p} (t_{оп}^{zp} - t_6^{zp}) + \\ + \frac{V_{B1.1} \rho_{\Pi}}{m_{\Pi}^{zp}} (t_6^m - t_6^{zp}) + \frac{V_{B1.2} \rho_{\Pi}}{m_{\Pi}^{zp}} (t_{36} - t_6^{zp}) + \frac{V_{инф} \rho_{\Pi}}{m_{\Pi}^{zp}} (t_{36} - t_6^{zp}) \\ \frac{dt_c}{d\tau} = \frac{m_c q - r m_{вп}}{m_c c_c} - \frac{\alpha_c S_c}{m_c c_c} (t_c - t_6^{zp}). \end{array} \right. \quad (III.54)$$

Увівши додаткові позначення:

$$\begin{aligned} m_{\Pi}^m &= V^m \rho_{\Pi}, & m_{\Pi}^{zp} &= V^{zp} \rho_{\Pi}, & k_{\Pi 1}^m &= \frac{V_{B1.1}}{V^m}, & k_{\Pi 1}^{zp} &= \frac{V_{B1.1}}{V^{zp}}, \\ k_{\Pi 2} &= \frac{V_{B1.2}}{V^{zp}}, & k_{n.инф}^m &= \frac{V_{инф}}{V^m}, & k_{n.инф}^{zp} &= \frac{V_{инф}}{V^{zp}}, \end{aligned} \quad (III.55)$$

значення співвідношення явного тепловиділення субстрату до його теплоємності:

$$Q_C = \frac{qm_C - rm_{ВП}}{m_C c_C}, \quad (III.56)$$

а також значення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} C &= \frac{\alpha_C S_C}{m_C c_C}, & E &= \frac{\alpha_C S_C}{m_{\Pi}^{zp} c_p}, & D_1 &= \frac{k_{ог}^m S_{ог}^m}{m_{\Pi}^m c_p}, & D_2 &= \frac{k_{ог}^{zp} S_{ог}^{zp}}{m_{\Pi}^{zp} c_p}, \\ F_1 &= \frac{\alpha_{оп}^m S_{оп}^m}{m_{\Pi}^m c_p}, & F_2 &= \frac{\alpha_{оп}^{zp} S_{оп}^{zp}}{m_{\Pi}^{zp} c_p}, & D^{zp} &= D_1 + k_{\Pi 2} + k_{n.инф}^{zp}, & & (III.57) \\ D^{m.zp} &= k_{\Pi 1}^{zp}, & D^{zp.m} &= k_{\Pi 1}^m, & D^m &= D_2 + k_{n.инф}^m, \\ \lambda &= D^{zp} + E + F_1 + D^{m.zp}, & \beta &= D^m + F_2 + D^{zp.m}. \end{aligned}$$

де  $k_{\Pi 1}^m, k_{\Pi 1}^{zp}$  – коефіцієнти повітрообміну між приміщеннями,  $c^{-1}$ ;

$k_{\Pi 2}$  – коефіцієнт повітрообміну між грибницею і зовнішнім середовищем,  $c^{-1}$ ;

$k_{n.инф}^m, k_{n.инф}^{zp}$  – коефіцієнт повітрообміну інфільтрації відповідно теплиці та грибниці,  $c^{-1}$ ;

$V^m, V^{zp}$  – об'єм відповідно теплиці та культивацийного приміщення,  $m^3$ ,

одержимо:

$$\begin{cases} \frac{dt_6^m}{d\tau} = D^m t_{36} + F_2 t_{оп}^m - \beta t_6^m + D^{zp.m} t_6^{zp} \\ \frac{dt_6^{zp}}{d\tau} = D^{zp} t_{36} + E t_C + F_1 t_{оп}^{zp} - \lambda t_6^{zp} + D^{m.zp} t_6^m \\ \frac{dt_C}{d\tau} = Q_C - C t_C + C t_6^{zp}. \end{cases} \quad (III.58)$$

Визначивши з третього рівняння системи диференціальних рівнянь значення температури повітря в грибниці:

$$t_6^{zp} = \frac{1}{C} \frac{dt_C}{d\tau} + t_C - \frac{Q_C}{C}, \quad (III.59)$$

та продиференціювавши його, одержимо:

$$\frac{dt_{\epsilon}^{zp}}{d\tau} = \frac{1}{C} \frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + \frac{dt_c}{d\tau}. \quad (\text{III.60})$$

Підставивши (III.59) та (III.60) в друге рівняння системи (III.58) отримаємо лінійне неоднорідне диференційне рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами, що замінює друге та третє рівняння системи:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C} \frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + \frac{dt_c}{d\tau} = D^{zp} t_{3\epsilon} + E t_c + F_1 t_{OP}^{zp} - \lambda t_{\epsilon}^{zp} + D^{m.zp} t_{\epsilon}^m - \\ - \frac{1}{\alpha} \frac{dt_c}{d\tau} - \lambda t_c + \frac{\alpha Q_c}{C} + D^{m.zp} t_{\epsilon}^m. \end{aligned} \quad (\text{III.61})$$

Приведемо отримане рівняння до вигляду:

$$\frac{d^2 t_c}{d\tau^2} = -C \frac{dt_c}{d\tau} + C D^{zp} t_{3\epsilon} + C E t_c + C F_1 t_{OP}^{zp} - \lambda \frac{dt_c}{d\tau} - C \lambda t_c + \lambda Q_c + C D^{m.zp} t_{\epsilon}^m. \quad (\text{III.62})$$

Підставивши (III.59) та (III.62) в (III.58), одержимо:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dt_{\epsilon}^m}{d\tau} &= D^m t_{3\epsilon} + F_2 t_{OP}^m - \beta t_{\epsilon}^m + \frac{D^{zp.m}}{C} \frac{dt_c}{d\tau} + D^{zp.m} t_c - \frac{Q_c D^{zp.m}}{C} \\ \frac{d^2 t_c}{d\tau^2} &= -C \frac{dt_c}{d\tau} + C D^{zp} t_{3\epsilon} + C E t_c + C F_1 t_{OP}^{zp} - \\ &\quad - \lambda \frac{dt_c}{d\tau} - C \lambda t_c + \lambda Q_c + C D^{m.zp} t_{\epsilon}^m. \end{aligned} \right. \quad (\text{III.63})$$

Визначивши з другого рівняння системи диференціальних рівнянь (III.63) значення температури повітря в теплиці:

$$t_{\epsilon}^m = \frac{1}{CD^{m,zp}} \frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + \frac{C + \lambda}{CD^{m,zp}} \frac{dt_c}{d\tau} + \frac{\alpha - E}{D^{m,zp}} t_c - \frac{D^{zp}}{D^{m,zp}} t_{3\epsilon} - \frac{F_1}{D^{m,zp}} t_{OP}^{zp} - \frac{\lambda Q_c}{CD^{m,zp}}, \quad (\text{III.64})$$

та продиференціювавши його, одержимо:

$$\frac{dt_{\epsilon}^m}{d\tau} = \frac{1}{CD^{m,zp}} \frac{d^3 t_c}{d\tau^3} + \frac{C + \lambda}{CD^{m,zp}} \frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + \frac{\lambda - E}{D^{m,zp}} \frac{dt_c}{d\tau}. \quad (\text{III.65})$$

Підставивши рівняння (III.64) та (III.65) в перше рівняння системи (III.63), одержимо:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{CD^{m,zp}} \frac{d^3 t_c}{d\tau^3} + \frac{C + \lambda}{CD^{m,zp}} \frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + \frac{\lambda - E}{D^{m,zp}} \frac{dt_c}{d\tau} = \\ & = D^m t_{3\epsilon} + F_2 t_{OP}^m - \beta \frac{1}{CD^{m,zp}} \frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + \frac{C + \lambda}{CD^{m,zp}} \frac{dt_c}{d\tau} + \frac{\lambda - E}{D^{m,zp}} t_c - \\ & - \frac{D^{zp}}{D^{m,zp}} t_{3\epsilon} - \frac{F_1}{D^{m,zp}} t_{OP}^{zp} - \frac{\lambda Q_c}{CD^{m,zp}} + \frac{D^{zp,m}}{C} \frac{dt_c}{d\tau} + D^{zp,m} t_c - \frac{Q_c D^{zp,m}}{C}. \end{aligned} \quad (\text{III.66})$$

Приведемо отримане рівняння до вигляду:

$$\begin{aligned} & \frac{d^3 t_c}{d\tau^3} + (C + \lambda + \beta) \frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + [\beta(C + \lambda) + C(\lambda - E) - D^{m,zp} D^{zp,m}] \frac{dt_c}{d\tau} + \\ & + [C\beta(\lambda - E) - CD^{m,zp} D^{zp,m}] t_c = (CD^{m,zp} D^m + C\beta D^{zp}) t_{3\epsilon} + \\ & + CD^{m,zp} F_2 t_{OP}^m + C\beta F_1 t_{OP}^{zp} + (\lambda\beta - D^{m,zp} D^{zp,m}) Q_c. \end{aligned} \quad (\text{III.67})$$

З даного рівняння видно, що при постійних температурах води в опалювальних приладах, оскільки вони підтримується окремою системою регулювання, основним вхідним впливом, який може привести до зміни температури субстрату, є зміна температури зовнішнього повітря, зміна температури повітря, яке надходить із теплиці або зміна тепловиділення субстрату. Оскільки швидкість зміни температури зовнішнього повітря, повітря із теплиці та тепловиділення субстрату незначна, будемо вважати, що на короткому

відрізку часу вони також є постійними величинами. В цьому випадку диференціальне рівняння зміни температури субстрату буде мати вигляд:

$$\frac{d^3 t_c}{d\tau^3} + a \frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + b \frac{dt_c}{d\tau} + ct_c = A, \quad (\text{III.68})$$

де  $a = C + \lambda + \beta$ ;

$b = \beta(C + \lambda) + C(\lambda - E) - D^{m, ep} D^{ep, m}$ ;

$c = C\beta(\lambda - E) - CD^{m, ep} D^{ep, m}$

$$A = (CD^{m, ep} D^m + C\beta D^{ep}) t_{36} + CD^{m, ep} F_2 t_{оп}^m + C\beta F_1 t_{оп}^{ep} + (\lambda\beta - D^{m, ep} D^{ep, m}) Q_c.$$

Очевидно, що при цьому одне з часткових рішень неоднорідного диференціального рівняння третього порядку з постійними коефіцієнтами, яке одночасно є сталим значенням температури субстрату, буде мати вигляд:

$$t_c^{cm} = \frac{A}{c} = \frac{(CD^{m, ep} D^m + C\beta D^{ep}) t_{36} + CD^{m, ep} F_2 t_{оп}^m + C\beta F_1 t_{оп}^{ep} + (\lambda\beta - D^{m, ep} D^{ep, m}) Q_c}{C\beta(\lambda - E) - CD^{m, ep} D^{ep, m}}. \quad (\text{III.69})$$

Загальне рішення диференціального рівняння, як сума рішень відповідного однорідного диференціального рівняння та часткового рішення неоднорідного диференціального рівняння матиме вигляд:

$$t_c = C_1 \exp(k_1 \tau) + C_2 \exp(k_2 \tau) + C_3 \exp(k_3 \tau) + t_c^{cm}, \quad (\text{III.70})$$

де  $k_1, k_2, k_3$  – корені характеристичного рівняння виду  $k^3 + ak^2 + bk + c = 0$  [317];

$C_1, C_2, C_3$  – сталі рішення диференційного рівняння.

З третього рівняння системи диференційних рівнянь (III.58) знаходимо:

$$t_{\epsilon}^{ep} = \left(\frac{k_1}{C} + 1\right)C_1 \exp(k_1 \tau) + \left(\frac{k_2}{C} + 1\right)C_2 \exp(k_2 \tau) + \left(\frac{k_3}{C} + 1\right)C_3 \exp(k_3 \tau) + t_{\epsilon}^{ep.cm} \quad (III.71)$$

де  $t_{\epsilon}^{ep.cm}$  – стале значення температури повітря грибниці, °С.

$$t_{\epsilon}^{ep.cm} = \frac{A}{c} - \frac{Q_c}{C}. \quad (III.72)$$

З другого рівняння системи диференційних рівнянь (III.63) знаходимо:

$$t_{\epsilon}^m = S_1 C_1 \exp(k_1 \tau) + S_2 C_2 \exp(k_2 \tau) + S_3 C_3 \exp(k_3 \tau) + t_{\epsilon}^{m.cm}, \quad (III.73)$$

де  $t_{\epsilon}^{m.cm}$  – стале значення температури повітря теплиці, °С;

$$t_{\epsilon}^{m.cm} = -\frac{E - \lambda}{D^{m.ep}} \frac{A}{c} - \frac{D^{ep}}{D^{m.ep}} t_{\epsilon}^{ep} - \frac{F_1}{D^{m.ep}} t_{OII}^{ep} - \frac{\lambda Q_c}{CD^{m.ep}};$$

$$S_1 = \frac{k_1^2}{CD^{m.ep}} + \frac{C + \lambda}{CD^{m.ep}} k_1 - \frac{E - \lambda}{D^{m.ep}}; \quad S_2 = \frac{k_2^2}{CD^{m.ep}} + \frac{C + \lambda}{CD^{m.ep}} k_2 - \frac{E - \lambda}{D^{m.ep}}; \quad (III.74)$$

$$S_3 = \frac{k_3^2}{CD^{m.ep}} + \frac{C + \lambda}{CD^{m.ep}} k_3 - \frac{E - \lambda}{D^{m.ep}}.$$

Постійні розв'язку диференціальних рівнянь визначаються з тієї умови, що в початковий момент часу температура субстрату та повітря дорівнюють своїм початковим сталим значенням. При наявності вхідних збуджуючих впливів (зміна температури зовнішнього повітря або величини тепловиділень субстрату) встановлюються нові сталі значення температури субстрату та повітря в грибниці

та теплиці. Таким чином можна записати:

$$\begin{cases} S_1 C_1 + S_2 C_2 + S_3 C_3 + t_6^{m.cm.k} - t_6^{m.cm.n} = 0 \\ \left(\frac{k_1}{C} + 1\right) C_1 + \left(\frac{k_2}{C} + 1\right) C_2 + \left(\frac{k_3}{C} + 1\right) C_3 + t_6^{zp.cm.k} - t_6^{zp.cm.n} = 0 \\ C_1 + C_2 + C_3 + t_C^{cm.k} - t_C^{cm.n} = 0. \end{cases} \quad (\text{III.75})$$

де  $t_6^{m.cm.n}$ ,  $t_6^{m.cm.k}$  – початкове та кінцеве сталі значення температури повітря в теплиці, °С;

$t_6^{zp.cm.n}$ ,  $t_6^{zp.cm.k}$  – початкове та кінцеве сталі значення температури повітря в грибниці, °С;

$t_C^{cm.n}$ ,  $t_C^{cm.k}$  – початкове та кінцеве сталі значення температури субстрату, °С.

Як окремий випадок можна розглядати систему в якій температура повітря в теплиці підтримується сталою – окремою (власною) АСУ. В цьому випадку температура повітря, яке надходить з теплиці в грибницю приймається сталим, що дає можливість спростити систему (III.53) до системи із двох рівнянь.

Складемо функціональну залежність між температурою субстрату та повітря в культивацийному приміщенні для вирощування грибів у часі, скориставшись теоретичними передумовами, викладеними в роботі [318, 319] та з використанням раніше прийнятих позначень:

$$\begin{cases} m_c c_c \frac{dt_c}{d\tau} = m_c q - \alpha_c S_c (t_c - t_6^{zp}) - r m_{вп} \\ m_{п}^{zp} c_p \frac{dt_6^{zp}}{d\tau} = -k_{ог}^{zp} S_{ог}^{zp} (t_6^{zp} - t_{36}) + \alpha_c S_c (t_c - t_6^{zp}) + \alpha_{оп}^{zp} S_{оп}^{zp} (t_{оп}^{zp} - t_6^{zp}) \\ + V_{в1.1} \rho_{п} c_p (t_{пп} - t_6^{zp}) + V_{в1.2} \rho_{п} c_p (t_{36} - t_6^{zp}) + V_{инф} \rho_{п} c_p (t_{36} - t_6^{zp}) \end{cases} \quad (\text{III.76})$$

привівши (III.76) до стандартної форми (форми Коші) отримаємо:

$$\begin{cases} \frac{dt_c}{d\tau} = \frac{qm_c - rm_{\text{вп}}}{m_c c_c} - \frac{\alpha_c S_c}{m_c c_c} (t_c - t_6^{zp}) \\ \frac{dt_6^{zp}}{d\tau} = -\frac{k_{\text{ог}}^{zp} S_{\text{ог}}^{zp}}{m_{\text{п}}^{zp} c_p} (t_6^{zp} - t_{36}) + \frac{\alpha_c S_c}{m_{\text{п}}^{zp} c_p} (t_c - t_6^{zp}) + \frac{\alpha_{\text{оп}}^{zp} S_{\text{оп}}^{zp}}{m_{\text{п}}^{zp} c_p} (t_{\text{оп}}^{zp} - t_6^{zp}) \\ + \frac{V_{\text{B1.1}} \rho_{\text{п}}}{m_{\text{п}}^{zp}} (t_{\text{III}} - t_6^{zp}) + \frac{V_{\text{B1.2}} \rho_{\text{п}}}{m_{\text{п}}^{zp}} (t_{36} - t_6^{zp}) + \frac{V_{\text{инф}} \rho_{\text{п}}}{m_{\text{п}}^{zp}} (t_{36} - t_6^{zp}) \end{cases} \quad (\text{III.77})$$

де  $t_{\text{III}}$  – температура припливного повітря із рослинної теплиці в грибницю, °С;

Ввівши додаткові позначення:

$$m_{\text{п}}^{zp} = V^{zp} \rho_{\text{п}}, \quad k_{\text{п1}}^{zp} = \frac{V_{\text{B1.1}}}{V^{zp}}, \quad k_{\text{п2}}^{zp} = \frac{V_{\text{B1.2}}}{V^m}, \quad k_{\text{н.инф}}^{zp} = \frac{V_{\text{инф}}}{V^{zp}}, \quad (\text{III.78})$$

одержимо:

$$\begin{cases} \frac{dt_c}{d\tau} = \frac{qm_c - rm_{\text{вп}}}{m_c c_c} - \frac{\alpha_c S_c}{m_c c_c} (t_c - t_6^{zp}) \\ \frac{dt_6^{zp}}{d\tau} = -\frac{k_{\text{ог}}^{zp} S_{\text{ог}}^{zp}}{m_{\text{п}}^{zp} c_p} (t_6^{zp} - t_{36}) + \frac{\alpha_c S_c}{m_{\text{п}}^{zp} c_p} (t_c - t_6^{zp}) + \frac{\alpha_{\text{оп}}^{zp} S_{\text{оп}}^{zp}}{m_{\text{п}}^{zp} c_p} (t_{\text{оп}}^{zp} - t_6^{zp}) \\ + k_{\text{п1}}^{zp} (t_{\text{III}} - t_6^{zp}) + k_{\text{п2}}^{zp} (t_{36} - t_6^{zp}) + k_{\text{н.инф}}^{zp} (t_{36} - t_6^{zp}) \end{cases} \quad (\text{III.79})$$

Ввівши значення співвідношення явного тепловиділення субстрату до його теплоємності (III.56), а також значення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} C &= \frac{\alpha_c S_c}{m_c c_c}, \quad D = \frac{k_{\text{ог}}^{zp} S_{\text{ог}}^{zp}}{m_{\text{п}}^{zp} c_p}, \quad E = \frac{\alpha_c S_c}{m_{\text{п}}^{zp} c_p}, \\ F &= \frac{\alpha_{\text{оп}}^{zp} S_{\text{оп}}^{zp}}{m_{\text{п}}^{zp} c_p}, \quad J = k_{\text{п1}}^{zp}, \quad Y = k_{\text{п2}}^{zp}, \quad G = k_{\text{н.инф}}^{zp}, \end{aligned} \quad (\text{III.80})$$

одержимо:

$$\begin{cases} \frac{dt_c}{d\tau} = Q_c - C(t_c - t_6^{ep}) \\ \frac{dt_6^{ep}}{d\tau} = -D(t_6^{ep} - t_{36}) + E(t_c - t_6) + F(t_{оп}^{ep} - t_6^{ep}) \\ \quad + J(t_{III} - t_6^{ep}) + Y(t_{36} - t_6^{ep}) + G(t_{36} - t_6^{ep}), \end{cases} \quad (III.81)$$

або:

$$\begin{cases} \frac{dt_c}{d\tau} = Q_c - C t_c + C t_6^{ep} \\ \frac{dt_6^{ep}}{d\tau} = D t_{36} + J t_{III} + Y t_{36} + E t_c + F t_{оп}^{ep} + G t_{36} - (D + E + F + J + Y + G) t_6^{ep}. \end{cases} \quad (III.82)$$

Визначивши з першого рівняння системи диференціальних рівнянь (III.82) значення температури повітря:

$$t_6 = \frac{1}{C} \frac{dt_c}{d\tau} + t_c - \frac{Q_c}{C}, \quad (III.83)$$

та підставивши в друге рівняння, одержимо:

$$\begin{aligned} \frac{dt_6^{ep}}{d\tau} = D t_{36} + J t_{III} + Y t_{36} + G t_{36} + E t_c + F t_{оп}^{ep} - \\ - (D + E + F + J + Y + G) \left( \frac{1}{C} \frac{dt_c}{d\tau} + t_c - \frac{Q_c}{C} \right). \end{aligned} \quad (III.84)$$

Продиференціювавши перше рівняння системи, одержимо:

$$\frac{d^2 t_c}{d\tau^2} = -C \frac{dt_c}{d\tau} + C \frac{dt_6^{ep}}{d\tau}. \quad (III.85)$$

Об'єднавши останні два вирази, отримаємо лінійне неоднорідне

диференціальне рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами, що замінює систему диференційних рівнянь:

$$\frac{d^2 t_c}{d\tau^2} = -C \frac{dt_c}{d\tau} + C(Dt_{36} + Jt_{III} + Yt_{36} + Gt_{36} + Et_c + Ft_{оп}^{2p}) - (D + E + F + J + Y + G) \left( \frac{dt_c}{d\tau} + Ct_c - Q_c \right) \quad (III.86)$$

Приведемо отримане рівняння до вигляду:

$$\frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + (C + D + E + F + J + Y + G) \frac{dt_c}{d\tau} + C(D + F + J + Y + G) t_c = C(Dt_{36} + Jt_{III} + Yt_{36} + Ft_{оп}^{2p} + Gt_{36}) + (D + E + F + J + Y + G) Q_c \quad (III.87)$$

З даного рівняння видно, що при постійних температурах води в опалювальних приладах та припливного повітря, оскільки вони підтримується окремою системою регулювання, основним вхідним впливом, який може привести до зміни температури субстрату, є зміна температури зовнішнього повітря або зміна тепловиділення субстрату. Оскільки швидкість зміни температури зовнішнього повітря та тепловиділення субстрату незначна, будемо вважати, що на короткому відрізку часу вони також є постійними величинами. В цьому випадку, диференціальне рівняння зміни температури субстрату буде мати вигляд:

$$\frac{d^2 t_c}{d\tau^2} + c \frac{dt_c}{d\tau} + bt_c = A, \quad (III.88)$$

$$\text{де } c = C + D + E + F + J + Y + G; \quad b = C(D + F + J + Y + G);$$

$$A = C(Dt_{36} + Jt_{III} + Yt_{36} + Ft_{оп}^{2p} + Gt_{36}) + (D + E + F + J + Y + G) Q_c.$$

Очевидно, що при цьому одне з часткових рішень неоднорідного диференціального рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами, яке

одночасно є сталим значенням температури субстрату, буде мати вигляд:

$$t_c^* = t_c^{cm} = \frac{A}{b} = \frac{Dt_{36} + Jt_{III} + Ft_{OII}^{cp} + Yt_{36} + Gt_{36}}{D + F + J} + \frac{EQ_c}{C(D + F + J + Y + G)} + \frac{Q_c}{C}. \quad (\text{III.89})$$

Загальне рішення диференціального рівняння, як сума рішень відповідного однорідного диференціального рівняння та часткового рішення неоднорідного диференціального рівняння матиме вигляд:

$$t_c = C_1 \exp(k_1 \tau) + C_2 \exp(k_2 \tau) + \frac{(D + Y + G)t_{36} + Ft_{OII}^{cp} + Yt_{36} + Gt_{36}}{D + F + J + Y + G} + \frac{EQ_c}{C(D + F + J + Y + G)} + \frac{Q_c}{C} = C_1 \exp(k_1 \tau) + C_2 \exp(k_2 \tau) + t_c^{cm}, \quad (\text{III.90})$$

де  $k_1, k_2$  – корені характеристичного рівняння;

$$k_{1,2} = -\frac{c}{2} \pm \sqrt{\frac{c^2}{4} - b}, \quad (\text{III.91})$$

$C_1, C_2$  – постійні рішення диференційного рівняння.

З першого рівняння системи диференційних рівнянь знаходимо:

$$t_{\epsilon}^{cp} = \left(\frac{k_1}{C} + 1\right) C_1 \exp(k_1 \tau) + \left(\frac{k_2}{C} + 1\right) C_2 \exp(k_2 \tau) + \frac{Dt_{36} + Jt_{III} + Ft_{OII}^{cp} + Yt_{36} + Gt_{36}}{D + F + J + Y + G} + \frac{EQ_c}{C(D + F + J + Y + G)}. \quad (\text{III.92})$$

Позначивши стале значення температури повітря:

$$t_{\epsilon}^{zp.cm} = \frac{Dt_{36} + Jt_{III} + Ft_{OP}^{zp} + Yt_{36} + Gt_{36}}{D + F + J + Y + G} + \frac{EQ_C}{C(D + F + J + Y + G)}, \quad (III.93)$$

одержимо:

$$t_{\epsilon}^{zp} = \left(\frac{k_1}{C} + 1\right)C_1 \exp(k_1 \tau) + \left(\frac{k_2}{C} + 1\right)C_2 \exp(k_2 \tau) + t_{\epsilon}^{zp.cm}. \quad (III.94)$$

Сталі рішення диференціальних рівнянь визначаються з тієї умови, що в початковий момент часу температура субстрату та повітря дорівнюють своїм початковим сталим значенням. При наявності вхідних збуджуючих впливів (зміна температури зовнішнього повітря або величини тепловиділень субстрату) встановлюються нові сталі значення температури субстрату та повітря. Таким чином можна записати:

$$\begin{cases} t_C^{cm.n} = C_1 + C_2 + t_C^{cm.k} \\ t_{\epsilon}^{zp.cm.n} = \left(\frac{k_1}{C} + 1\right)C_1 + \left(\frac{k_2}{C} + 1\right)C_2 + t_{\epsilon}^{zp.cm.k} \end{cases} \quad (III.95)$$

звідки:

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{(k_2 + C)(t_C^{cm.n} - t_C^{cm.k}) - C(t_{\epsilon}^{zp.cm.n} - t_{\epsilon}^{zp.cm.k})}{k_1 - k_2}, \\ C_2 &= \frac{(k_1 + C)(t_C^{cm.n} - t_C^{cm.k}) - C(t_{\epsilon}^{zp.cm.n} - t_{\epsilon}^{zp.cm.k})}{k_1 - k_2}. \end{aligned} \quad (III.96)$$

Неоднорідне диференціальне рівняння другого порядку, яке описує динамічні властивості системи культивацийне приміщення – теплиця може бути представленим через перетворення Лапласа у формі передаточної функції, що має важливе значення для виконання функцій автоматичного управління

температурою субстрату:

$$W(p) = \frac{k}{T_{01}^2 p^2 + T_{02} p + 1}, \quad (\text{III.97})$$

$$\text{де } k = \frac{A}{d}; \quad T_{01}^2 = \frac{I}{d}; \quad T_{02} = \frac{c}{d}.$$

Із вигляду передаточної функції можна зробити висновок, що система культивацийне приміщення – теплиця з точки зору автоматичного управління температурою субстрату являє собою двохмемнісний об'єкт [295]. Приведемо передаточну функцію до виду:

$$W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (\text{III.98})$$

$$\text{де } T_1 = -\frac{I}{k_1} \text{ – стала часу для субстрату, с;}$$

$$T_2 = -\frac{I}{k_2} \text{ – стала часу для повітря, с.}$$

Так, наприклад, зміна температури води в системі опалення дослідної теплиці від 50 до 60 °С при початковому сталому значенні температури субстрату 15,2 °С та повітря 12,9 °С і при температурі припливного повітря із теплиці 14 °С призводить до перехідного процесу, і нове стає значення встановлюється на рівні 18,8 °С та 16,5 °С (рис. III.22).

Як видно на рисунку III.22, криві отримані при моделюванні перехідного процесу по температурі субстрату за залежностями (III.90), (III.88), (III.76) та по температурі повітря в грибниці (III.94), (III.76) співпадають. Система диференціальних рівнянь (III.76) та диференційне рівняння другого порядку (III.88) вирішені методом Рунге–Кутта з використанням програмного забезпечення MathCad 2001 Professional.

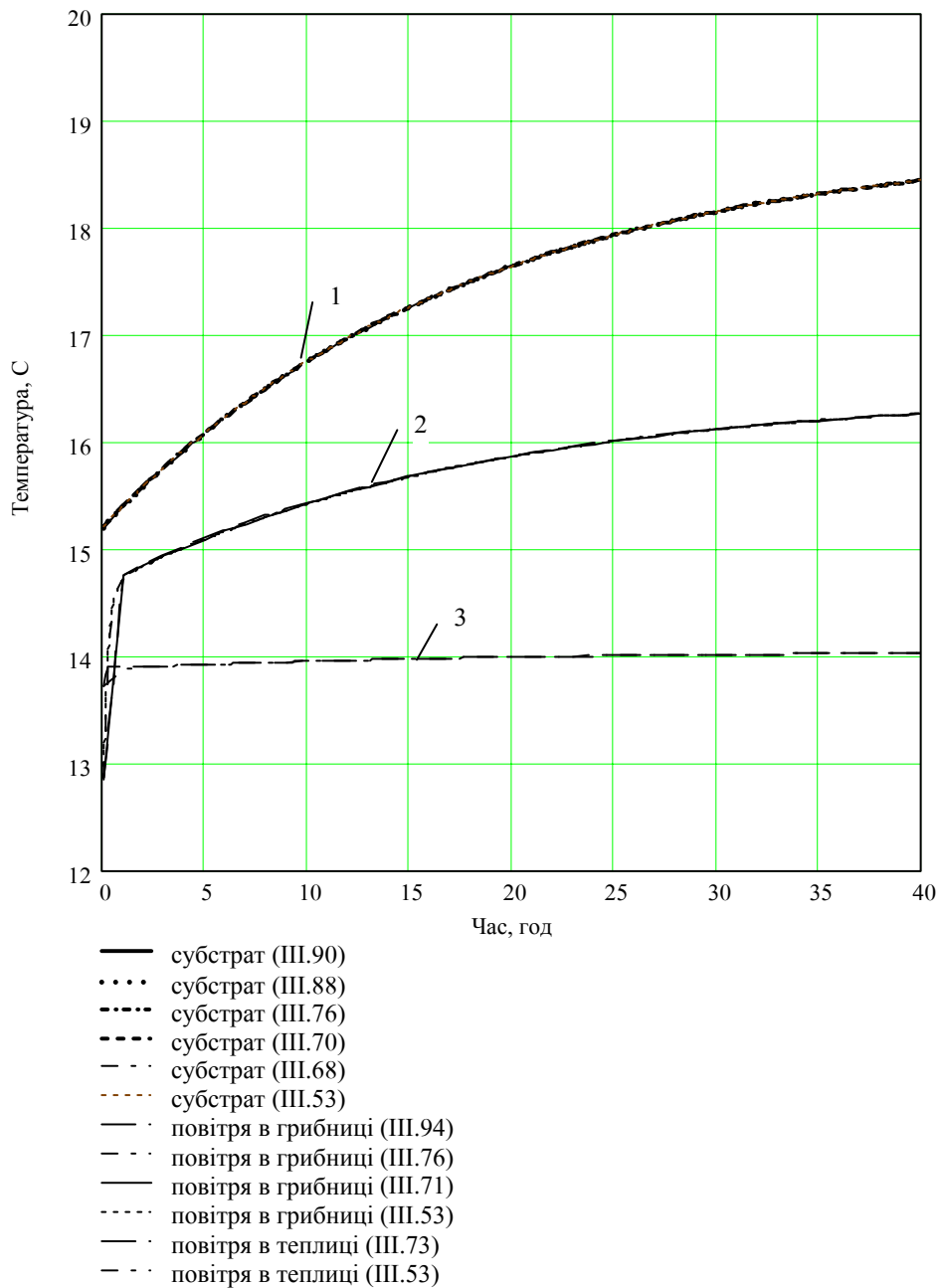


Рис. Ш.22 – Динаміка зміни температури субстрату та внутрішнього повітря в грибниці при зміні температури води в опалювальній системі від 50 до 60 °С: 1 – температура субстрату; 2 – температура повітря в грибниці; 3 – температура повітря в теплиці

Якщо в опалювальній установці теплиці встановити температуру води такою, щоб температура повітря в теплиці стабілізувалась на рівні 14 °С то

використавши для моделювання перехідних процесів залежності: для температури субстрату (Ш.70), (Ш.68), (Ш.53); для температури повітря в грибниці (Ш.71), (Ш.53) отримаємо криві які співпадають з розгінними характеристиками (Ш.90), (Ш.88), (Ш.76) – для субстрату та (Ш.94), (Ш.76) – для повітря теплиці. Співпадають також криві побудовані за (Ш.73) та (Ш.53). Система диференційних рівнянь (Ш.53) та диференційне рівняння третього порядку (Ш.68) розв’язані методом Рунге–Кутта з використанням програмного забезпечення MathCad 2001 Professional. Збіг розгінних характеристик дозволяє зробити висновок про правильність аналітичного вирішення систем (Ш.53) та (Ш.76).

Функціональна залежність концентрації вуглекислого газу у часі в системі культиваційне приміщення – теплиця визначається диференціальним рівнянням, яке має вигляд [320]:

$$V_{II} \frac{dC}{d\tau} = L_C + L_{IIIi} - L_{VIIi} + L_{III1.1} - L_{VII1.1} + L_{III1.2} - L_{VII1.2}, \quad (III.99)$$

де  $V_{II}$  – об’єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$L_C = L_{CO_2 \text{ зр}} \cdot m_C$  – потік CO<sub>2</sub> від субстрату, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;

$L_{III1.2} = C_{нов} \cdot L_{M.1.2} \cdot m_C$  – потік вуглекислого газу з припливним вентиляційним повітрям, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;

$L_{VII1.2} = C \cdot L_{M.1.2} \cdot m_C$  – потік CO<sub>2</sub> з викидним вентиляційним повітрям, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;

$L_{IIIi} = C_{нов} \cdot L_{инф}$  – потік CO<sub>2</sub> з припливним інфільтраційним повітрям, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;

$L_{VIIi} = C \cdot L_{инф}$  – потік CO<sub>2</sub> з викидним інфільтраційним повітрям, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;

$L_{III1.1} = C_m \cdot L_{M.1.1} \cdot m_C$  – потік CO<sub>2</sub> з припливним повітрям із теплиці, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;

$L_{VII1.1} = C \cdot L_{M.1.1} \cdot m_C$  – потік CO<sub>2</sub> з викидним повітрям в теплицю, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;

$L_{инф}$  – повітрообмін інфільтрації, м<sup>3</sup>/год. кг маси субстрату;

$L_{M.1.1}$  – повітрообмін між приміщеннями, м<sup>3</sup>/год. кг;

$L_{M.1.2}$  – повітрообмін із зовнішнім середовищем, м<sup>3</sup>/год. кг;

$L_{CO_2\text{ зр}}$  – виділення CO<sub>2</sub> з 1 кг маси субстрату, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год кг;

$C_m$  – концентрація CO<sub>2</sub> в припливному повітрі з теплиці, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>;

$C_{нов}$  – концентрація CO<sub>2</sub> в припливному повітрі, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>;

$m_c$  – маса субстрату, кг;

$\tau$  – час, год.

Розділивши всі члени на  $V_{\Pi}$ , отримаємо:

$$\frac{dC}{d\tau} = L_{CO_2\text{ зр}} m_c V_{\Pi}^{-1} + C_{нов} k_{инф} + C_{нов} k_{\epsilon} - C k_{инф} + C_m k_c - C k_c - C k_{\epsilon}, \quad (\text{III.100})$$

де  $k_{\epsilon} = L_{M.1.2} m_c V_{\Pi}^{-1}$  – кратність повітрообміну вентиляції, год<sup>-1</sup>;

$k_c = L_{M.1.1} m_c V_{\Pi}^{-1}$  – кратність повітрообміну між теплицями, год<sup>-1</sup>;

$k_{инф} = L_{инф} V_{\Pi}^{-1}$  – кратність повітрообміну інфільтрації, год<sup>-1</sup>.

Введемо додаткові позначення:  $a = L_{CO_2\text{ зр}} m_c V_{\Pi}^{-1}$ ;  $b = C_{нов} k_{инф}$ ;  $f = C_{нов} k_{\epsilon}$ ;

$g = C_m k_c$ ;  $d = k_{инф} + k_{\epsilon} + k_c$ .

Тоді (III.100) прийме вигляд:

$$\frac{dC}{d\tau} = a + b + f + g - C d, \quad (\text{III.101})$$

ведемо додаткові позначення:  $A = a + b + f + g$ ;  $B = d$ .

Тоді:

$$\frac{dC}{d\tau} = A - CB; \quad \frac{dC}{d\tau} + CB = A. \quad (\text{III.102})$$

Диференціальне рівняння розв'язуємо методом підстановки:

$$C = uv; \frac{dC}{d\tau} = u \frac{dv}{d\tau} + v \frac{du}{d\tau}; u \frac{dv}{d\tau} + v \frac{du}{d\tau} + Buv = A;$$

$$u \left( \frac{dv}{d\tau} + Bv \right) + v \frac{du}{d\tau} = A; \frac{dv}{d\tau} + Bv = 0; \frac{dv}{d\tau} = -Bv;$$

$$\frac{dv}{v} = -Bd\tau; \ln v = -B\tau; v = e^{-B\tau} = \exp(-B\tau); v \frac{du}{d\tau} = A;$$

$$e^{-B\tau} \frac{du}{d\tau} = A; e^{-B\tau} du = Ad\tau; du = Ae^{B\tau} d\tau; u = \frac{A}{B} e^{B\tau} + c.$$

Загальне рішення диференціального рівняння:

$$C = vu = e^{-B\tau} \left( \frac{A}{B} e^{B\tau} + c \right). \quad (\text{III.103})$$

Початкові умови:  $\tau = 0$ ;  $C = C_{II}$ , тоді:

$$C_{II} = \frac{A}{B} + c; c = C_{II} - \frac{A}{B}.$$

Рівняння динаміки концентрації вуглекислого газу має вигляд:

$$C = e^{-B\tau} \left( \frac{A}{B} e^{B\tau} + C_{II} - \frac{A}{B} \right),$$

$$C = \frac{A}{B} + \left( C_{II} - \frac{A}{B} \right) e^{-B\tau}. \quad (\text{III.104})$$

Рівняння динаміки концентрації вуглекислого газу в приміщенні грибниці в явному вигляді має вид:

$$C = \frac{a+b+f+g}{d} + \left( C_{\Pi} - \frac{a+b+f+g}{d} \right) e^{-d\tau}; \quad (\text{III.105})$$

$$C = \frac{C_{\text{нов}}(L_{\text{инф}} + L_{M1.2}m_C) + m_C(C_m L_{M1.1} + L_{CO_2 \text{ зр}})}{L_{\text{инф}} + L_{M1.1}m_C + L_{M1.2}m_C} +$$

$$+ \left( C_{\Pi} - \frac{C_{\text{нов}}(L_{\text{инф}} + L_{M1.2}m_C) + m_C(C_m L_{M1.1} + L_{CO_2 \text{ зр}})}{L_{\text{инф}} + L_{M1.1}m_C + L_{M1.2}m_C} \right) \times$$

$$\times \exp(-(k_{\text{инф}} + k_{\text{с}} + k_c)\tau) \quad (\text{III.106})$$

У випадку, коли параметри внутрішнього повітря в приміщенні грибниці в замкненій системі і при роботі вентиляції по концентрації вуглекислого газу відповідають свіжому повітрю ( $C_{\Pi} = C_{\text{нов}}$ ), рівняння набуває вигляду:

$$C = \frac{C_{\text{нов}}(L_{\text{инф}} + L_{M1.2}m_C) + m_C(C_m L_{M1.1} + L_{CO_2 \text{ зр}})}{L_{\text{инф}} + L_{M1.1}m_C + L_{M1.2}m_C} +$$

$$+ \frac{C_{\text{нов}}L_{M1.1} \cdot m_C - m_C(C_m L_{M1.1} + L_{CO_2 \text{ зр}})}{L_{\text{инф}} + L_{M1.1}m_C + L_{M1.2}m_C} \exp(-(k_{\text{инф}} + k_{\text{с}} + k_c)\tau). \quad (\text{III.107})$$

Стале значення концентрації вуглекислого газу:

$$C = \left( \frac{C_{\text{нов}}(L_{\text{инф}} + L_{M1.2}m_C) + m_C(C_m L_{M1.1} + L_{CO_2 \text{ зр}})}{L_{\text{инф}} + L_{M1.1}m_C + L_{M1.2}m_C} + \right.$$

$$+ \left. \frac{C_{\text{нов}}L_{M1.1} \cdot m_C - m_C(C_m L_{M1.1} + L_{CO_2 \text{ зр}})}{L_{\text{инф}} + L_{M1.1}m_C + L_{M1.2}m_C} \exp(-(k_{\text{инф}} + k_{\text{с}} + k_c)\tau) \right) \times$$

$$\times (1 - \exp(-(k_{\text{инф}} + k_{\text{с}} + k_c)\tau)). \quad (\text{III.108})$$

Концентрація вуглекислого газу в приміщенні грибниці при розімкненій системі і при роботі вентиляції має вигляд:

$$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2,зп} m_C}{L_{инф} + L_{M1.2} m_C} (1 - \exp(-(k_{инф} + k_e)\tau)). \quad (III.109)$$

Стале значення концентрації:

$$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2,зп} m_C}{L_{инф} + L_{M1.2} m_C}. \quad (III.110)$$

У випадку, коли вентиляційна установка не працює, рівняння динаміки концентрації вуглекислого газу набуває вигляду:

- в замкнутій системі:

$$C = \frac{L_{CO_2,зп} m_C + C_{нов} L_{инф} + C_m L_{M1.1} m_C}{L_{инф} + L_{M1.1} m_C} + \left( C_{II} - \frac{L_{CO_2,зп} m_C + C_{нов} L_{инф} + C_m L_{M1.1} m_C}{L_{инф} + L_{M1.1} m_C} \right) \exp(-(k_{инф} + k_c)\tau), \quad (III.111)$$

стале значення:

$$C = \left( \frac{L_{CO_2,зп} m_C + C_{нов} L_{инф} + C_m L_{M1.1} m_C}{L_{инф} + L_{M1.1} m_C} + \frac{m_C (C_{нов} L_{M1.1} - L_{CO_2,зп} - C_m L_{M1.1})}{L_{инф} + L_{M1.1} m_C} \exp(-(k_{инф} + k)\tau) \right) \times (1 - \exp(-(k_{инф} + k_e + k_c)\tau)), \quad (III.112)$$

- в розімкнутій системі:

$$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2,зп} m_C}{L_{инф}} (1 - \exp(-k_{инф}\tau)), \quad (III.113)$$

стале значення:

$$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2,зр} m_c}{L_{інф}} . \quad (III.114)$$

Середнє значення концентрації вуглекислого газу при позиційному регулюванні визначається часом роботи вентиляційної системи та часом її “простою”, або, інакше кажучи, частотою включень вентиляційної системи, а при пропорційному регулюванні – продуктивністю (потужністю) системи вентиляції.

Динаміка зміни концентрації CO<sub>2</sub> в культивацийному приміщенні при розімкнутій та замкнутій системі опалення та вентиляції показана на рисунках III.23 і III.24. Динаміка зміни концентрації CO<sub>2</sub> від 0,04 до 0,06 % показана на рисунку III.25.

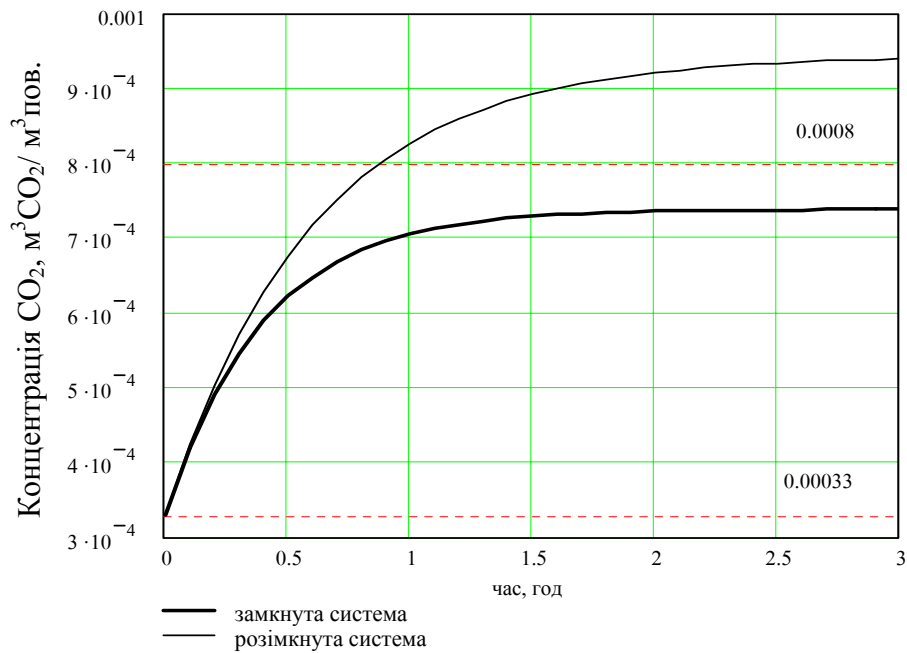


Рис. III.23 – Динаміка зміни концентрації вуглекислого газу в грибниці при включеній вентиляційній системі

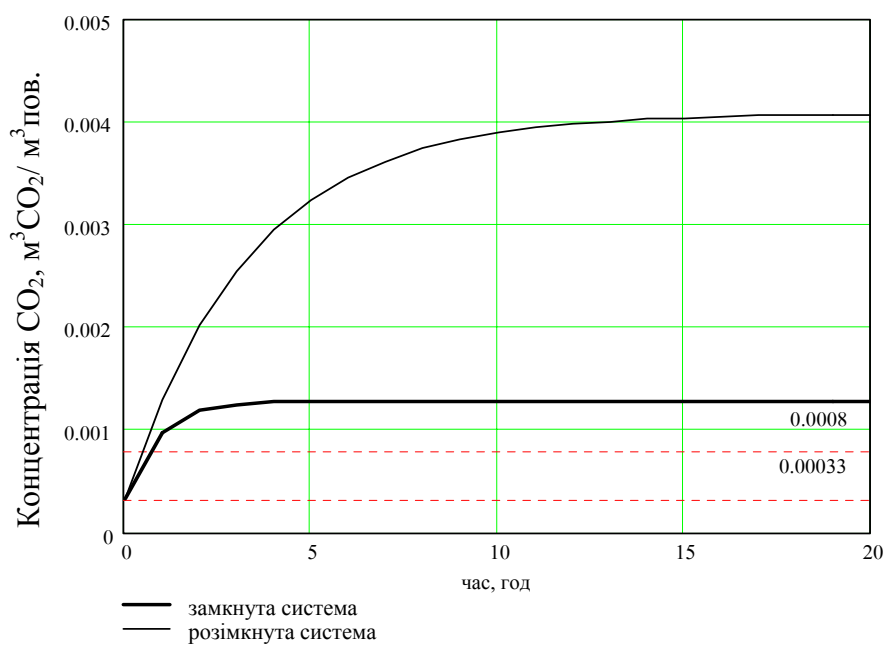


Рис. III.24 – Динаміка зміни концентрації вуглекислого газу в грибниці при включеній вентиляційній системі

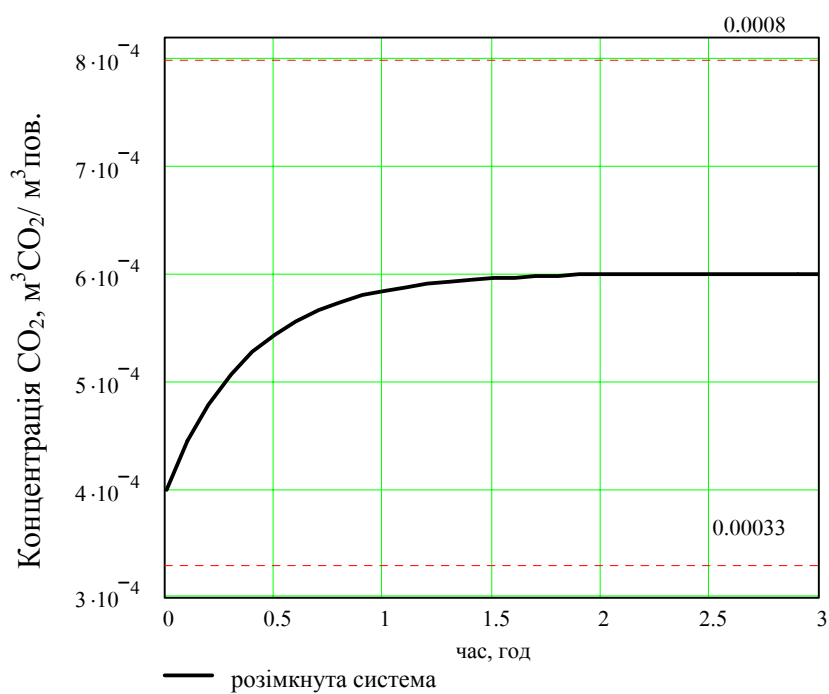


Рис. III.25 – Динаміка зміни концентрації вуглекислого газу в грибниці від 0,04 до 0,06 %

### 3.4. Результати експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є перевірка і уточнення отриманих для замкнутої системи опалення та вентиляції аналітичних залежностей між концентрацією CO<sub>2</sub>, температурою повітря і субстрату та енергетичними і технологічними параметрами системи, а також визначення енергетичних показників системи для розробки методики розрахунку ЗСВ СЗГ. Програма експериментальних досліджень полягала в виконанні наступних етапів:

1. Визначення статичних характеристик об'єкта для розрахунку теплового балансу системи.
2. Дослідження динаміки зміни концентрації CO<sub>2</sub> в ЗСВ.
3. Дослідження динаміки зміни температури повітря і субстрату в ЗСВ.
4. Визначення витрат енергії в системі споруд закритого ґрунту при роботі вентиляції в замкнутому і розімкнутому режимах.
5. Перевірка роботи ЗСВ у виробничих умовах.
6. Визначення енергетичних параметрів теплового насоса при роботі в СЗГ.

Аналітичними дослідженнями встановлено, що ЗСВ забезпечує можливість отримати економію енерговитрат при створенні мікроклімату в СЗГ. Основою ЗСВ є система приміщень СЗГ, з'єднаних між собою замкнутою системою вентиляції (рис. III.13).

Для перевірки та підтвердження аналітичних залежностей були проведені дослідження динаміки зміни температури повітря та концентрації CO<sub>2</sub> в системі “рослинна теплиця – грибниця”. Вибір методики досліджень та обробки експериментальних даних проводився на основі рекомендацій, викладених у [234, 240, 295, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327].

Для дослідження статичних характеристик використовувався метод пасивного експерименту, а для дослідження динамічних характеристик – метод активного експерименту [326, 234, 328].

Дослідження статичних характеристик об'єкта зводилось до вимірювання температур: води в опалювальній системі на вході в приміщення та на виході з

нього; повітря в культивацийному приміщенні; зовнішнього повітря; води на вході та на виході з калорифера; повітря на вході та виході з калорифера; субстрату. Отримані значення використовувались для складання рівнянь теплового балансу.

Дослідження по динаміці температури та концентрації  $\text{CO}_2$  проводились з метою отримання динамічних (розгінних) характеристик та порівняння їх із динамічними характеристиками, отриманими з аналітичних залежностей.

Для перевірки аналітичних залежностей по динаміці температури та концентрації  $\text{CO}_2$  було реконструйовано дослідну теплицю кафедри садово-паркового господарства Уманського державного аграрного університету, в якій було змонтовано перегородку яка розділила приміщення на дві частини – рослинну теплицю та грибницю (рис. III.26, III.29). Приміщення були оснащені опалювально-вентиляційною системою та системою контролю і регулювання температури. Загальний вигляд об'єкта зображено на рисунку III.27, щита керування на рисунку III.28.

Для перевірки аналітичних залежностей по динаміці  $\text{CO}_2$  подача повітря, збагаченого киснем, із рослинної теплиці в грибницю моделювалась за рахунок подачі кисню з кисневого балона в контур вентиляції між приміщеннями.

Температура внутрішнього і зовнішнього повітря і температура води в трубах вимірювалась ртутними термометрами та термографами, регулювання температури проводилось терморегулятором Т-419 при використанні датчиків температури типу ТСМ. Концентрація  $\text{CO}_2$  визначалась оптичними газоаналізаторами типу “gazex Q01” (Голландія) (рис. III.30), ПГА-ДУ та хімічним типу ГХП 100



Рис. III.26 – Дослідне приміщення (вид з грибниці)



Рис. III.27 – Загальний вигляд об'єкта досліджень

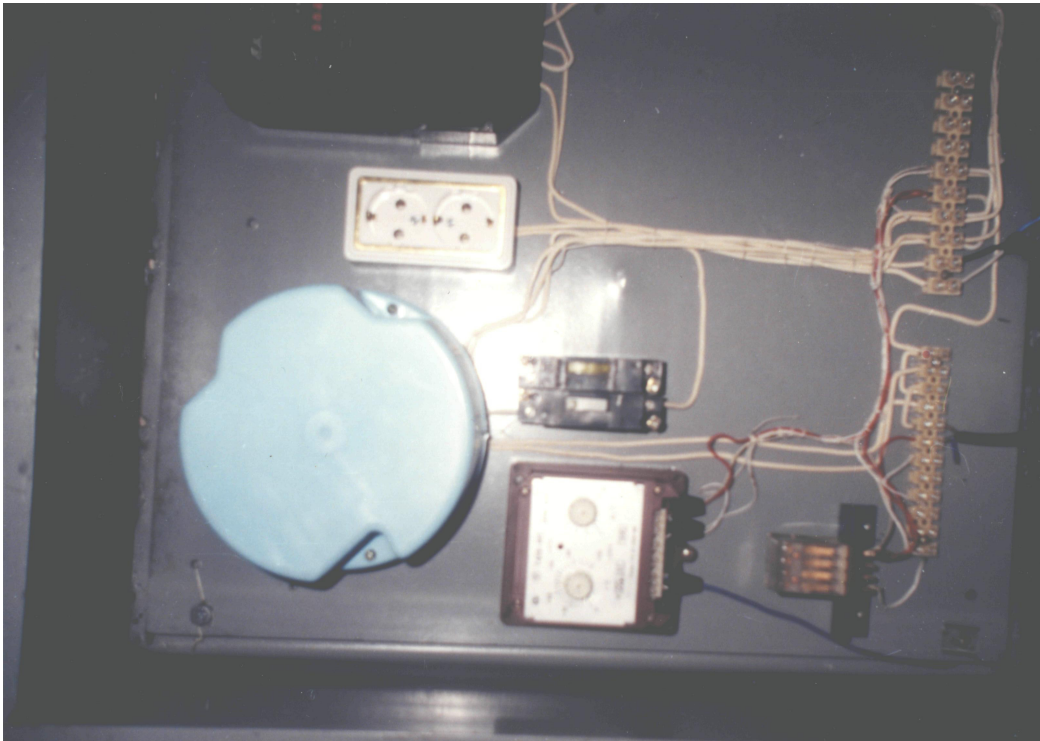


Рис. Ш.28 – Загальний вигляд щита управління дослідною вентиляційною установкою



Рис. Ш.29 – Дослідне приміщення



Рис. III.30 – Прилад для вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> “gazex Q01”

Енергетичні параметри теплового насоса досліджувались за допомогою кліматичної камери [306]. При цьому змінювалась температура повітря, яке надходить у випарник теплового насоса, та визначалась теплопродуктивність теплового насоса і його коефіцієнт перетворення. На основі отриманих даних визначалась залежність цих величин від температури повітря, що надходить у випаровувач. Отримані залежності апроксимувались та використовувались для визначення енергетичної та економічної ефективності використання теплонасосної системи опалення.

Методика визначення економії енергії ЗСВ наступна: при однакових внутрішніх і зовнішніх факторах система опалення та вентиляції досліджувалась по чергово в замкнутому і розімкнутому варіантах. Витрата енергії на обігрів приміщень визначалась по різниці температур теплоносія в трубопроводі на вході та виході з приміщення з подальшим розрахунком величини теплової потужності  $Q_{OP}$  та її вартості  $B$ :

$$Q_{OP} = S_{OP} \alpha_{OP} (t_{CP} - t_B),$$

$$B = \frac{\tau Q_{OP} T}{Qk},$$

де  $S_{OP}$  – площа опалювальних приладів, м<sup>2</sup>;

$\alpha_{OP}$  – коефіцієнт тепловіддачі від опалювальних приладів до повітря, Вт/м<sup>2</sup> °С;

$t_{CP}$  – середня температура теплоносія  $t_{CP} = (t_{BX} - t_{VIX})/2$ , °С;

$t_B$  – температура внутрішнього повітря, °С;

$\tau$  – час, год.;

$T$  – тариф на енергоносії, грн./кг;

$Q$  – енергоємність палива, кВт г/кг;

$k$  – коефіцієнт використання.

Оцінка похибок результатів дослідів і обробка експериментальних даних.

Для визначення впливу параметрів, що досліджуються, на процеси, які проходять в ЗСВ, проводилось попарне співставлення двох факторів, при постійних інших.

Оцінка точності і надійності результатів дослідів, які містять систематичні і випадкові похибки, проводиться з використанням методів теорії ймовірностей і математичної статистики [199, 218, 330].

Визначення коефіцієнтів емпіричних залежностей проводиться згідно із [331].

На рисунках III.31 – III.33 – показано дослідні розгінні характеристики при регулюванні концентрації CO<sub>2</sub>  $C(\tau)$  та температури субстрату  $t_{суб}(\tau)$  і внутрішнього повітря  $t_6(\tau)$ . Ці характеристики охоплюють весь діапазон можливих значень концентрації CO<sub>2</sub> та температури.

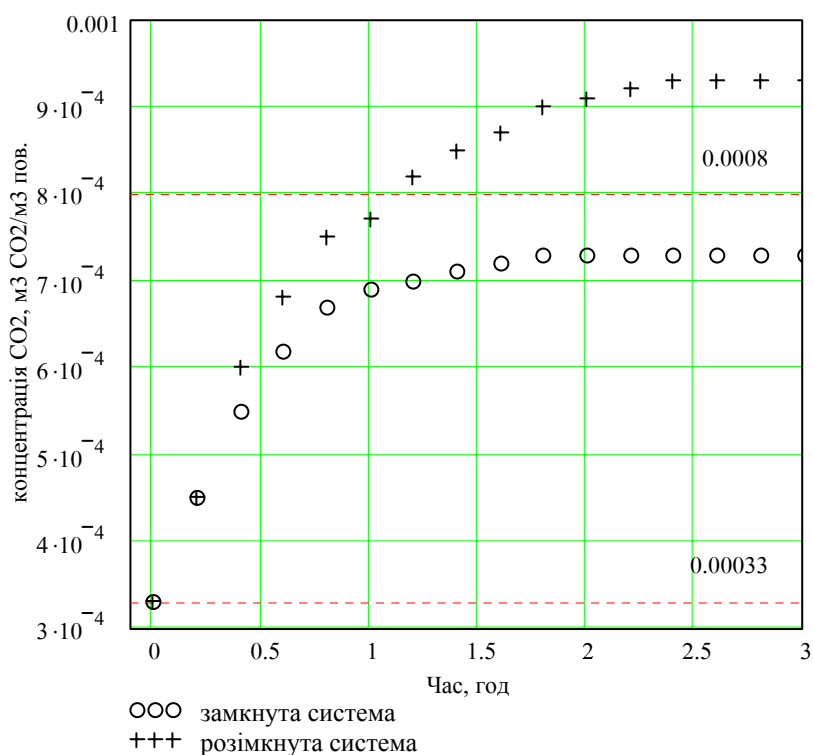


Рис. III.31 – Дослідні точки розгінної характеристики при включеній вентиляції

По характеру дослідних залежностей видно, що апроксимацію можна провести за допомогою регресії експонентою [295, 332]:

$$f(x) = a \cdot e^{bx} + c, \tag{III.115}$$

Коефіцієнти експоненціальної регресії  $a, b, c$  визначено за допомогою математичного пакета MathCAD 2001 згідно рекомендацій [331].

Межі досліджуваної області:

- по концентрації  $\text{CO}_2$  –  $C_{\min} = 0,00033 \text{ м}^3\text{CO}_2/\text{м}^3\text{пов.}$ ,  $C_{\max} = 0,004 \text{ м}^3\text{CO}_2/\text{м}^3\text{пов.}$ ;

- по температурі  $t_{\min} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{\max} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

З експериментальних отримано апроксимуючі рівняння:

$$C = -0.000412 \cdot e^{-2,1t} + 0.000734, \quad (\text{III.116})$$

$$C = -0.000623 \cdot e^{-1,36t} + 0.000947. \quad (\text{III.117})$$

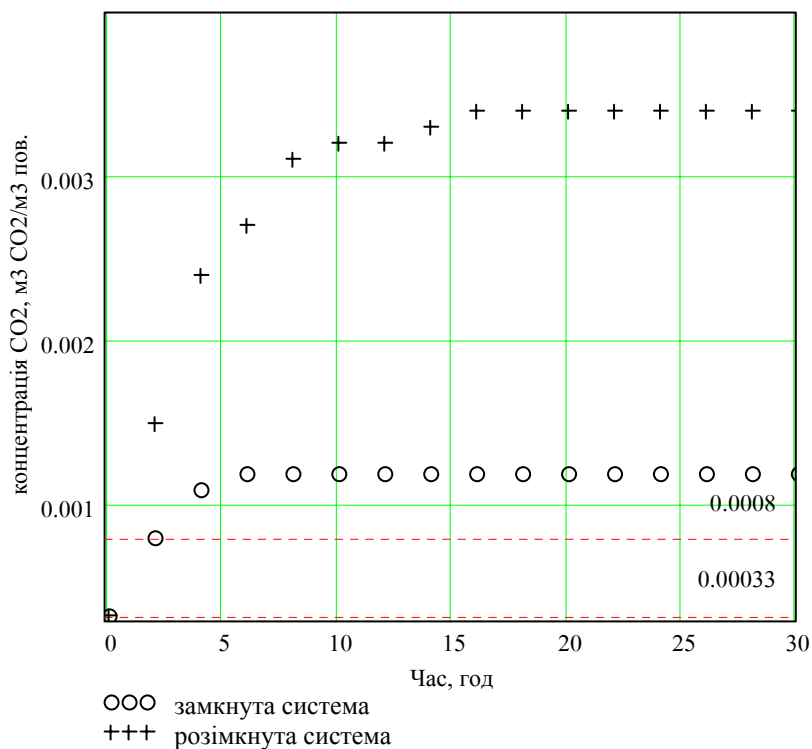


Рис. III.32 – Дослідні точки розгінної характеристики при виключеній вентиляції

З експериментальних даних отримано апроксимуючі рівняння:

$$C = -0,000889 \cdot e^{-0,462t} + 0,00121, \quad (\text{III.118})$$

$$C = -0,00313 \cdot e^{-0,249 \cdot t} + 0,00346. \quad (\text{III.119})$$

З експериментальних даних для описання залежності отримано апроксимуюче рівняння для температури субстрату:

$$C = -3,87 \cdot e^{-0,0401t} + 18,89. \quad (\text{III.120})$$

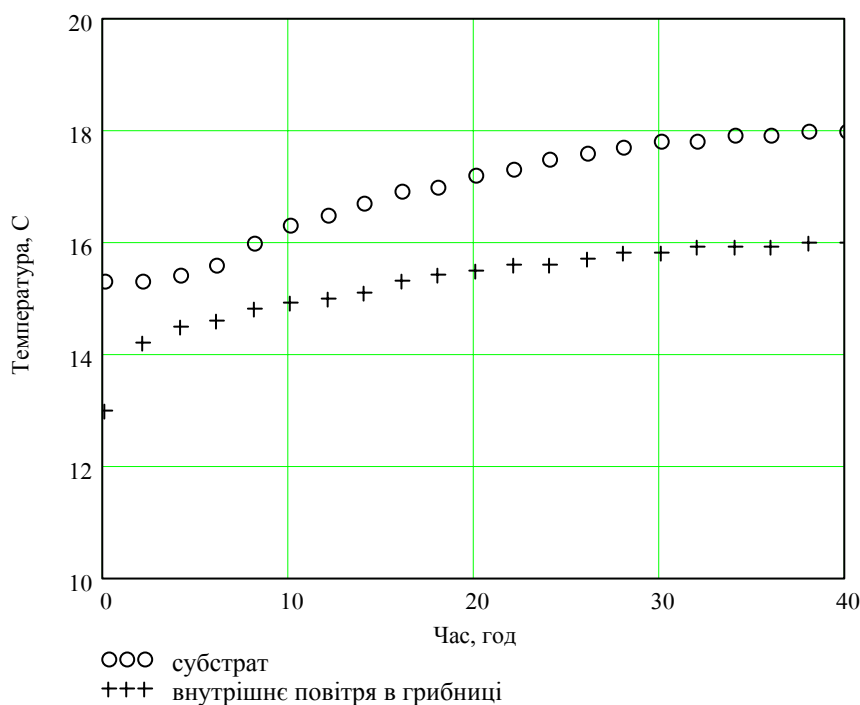


Рис. III.33 – Дослідні точки розгінної характеристики температури повітря та субстрату при зміні температури води в опалювальній системі від 50 до 60 °С

З експериментальних даних для описання залежності отримано апроксимуюче рівняння для температури повітря:

$$C = -2,55 \cdot e^{-0,089t} + 15,99, \quad (\text{III.121})$$

На рисунках III.34 – III.36 показані дослідні точки та криві які отримані по апроксимуючому рівнянню (III.115) та аналітичним залежностям.

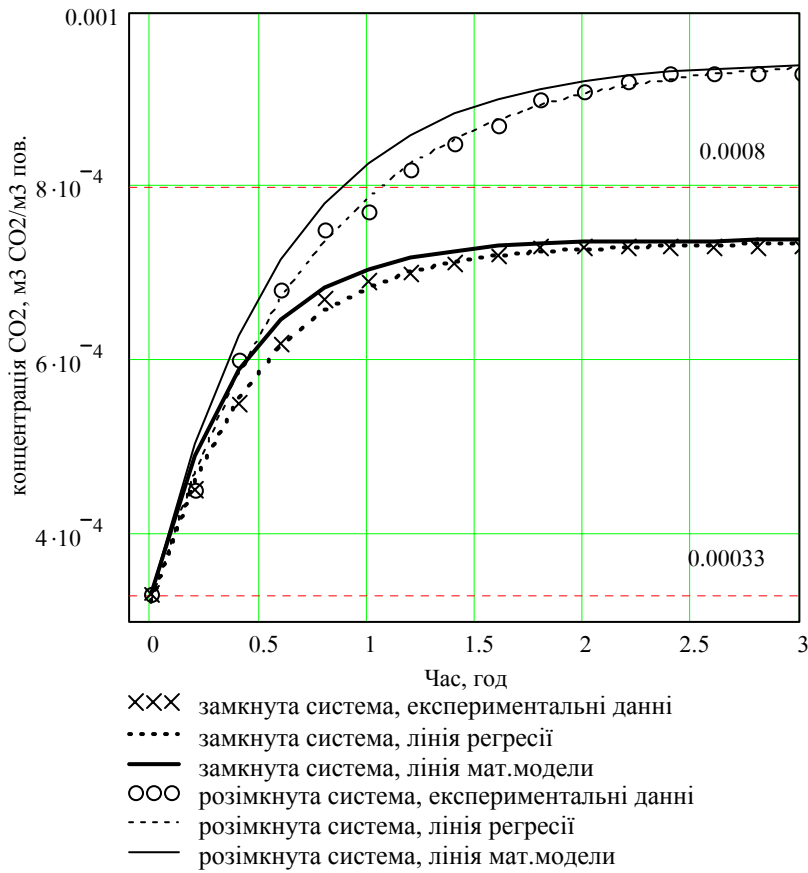


Рис. III.34 – Експериментальні та розрахункові характеристики концентрації CO<sub>2</sub> при включеній вентиляції

На всіх графіках видно, що аналітичні криві не збігаються з апроксимуючими кривими, це пояснюється тим, що в приміщеннях реальна інфільтрація дещо більша ніж розрахункова і мають місце не враховані збурюючі фактори.

Визначення передаточної функції [333, 334] при регулювання температури субстрату проведено по експериментальним даним за допомогою номограми згідно з методикою викладеною в [326].

$$W(p) = \frac{16,7}{(21,8 \cdot p + 1)(0,1 \cdot p + 1)}, \tau = 2 \quad (\text{III.122})$$

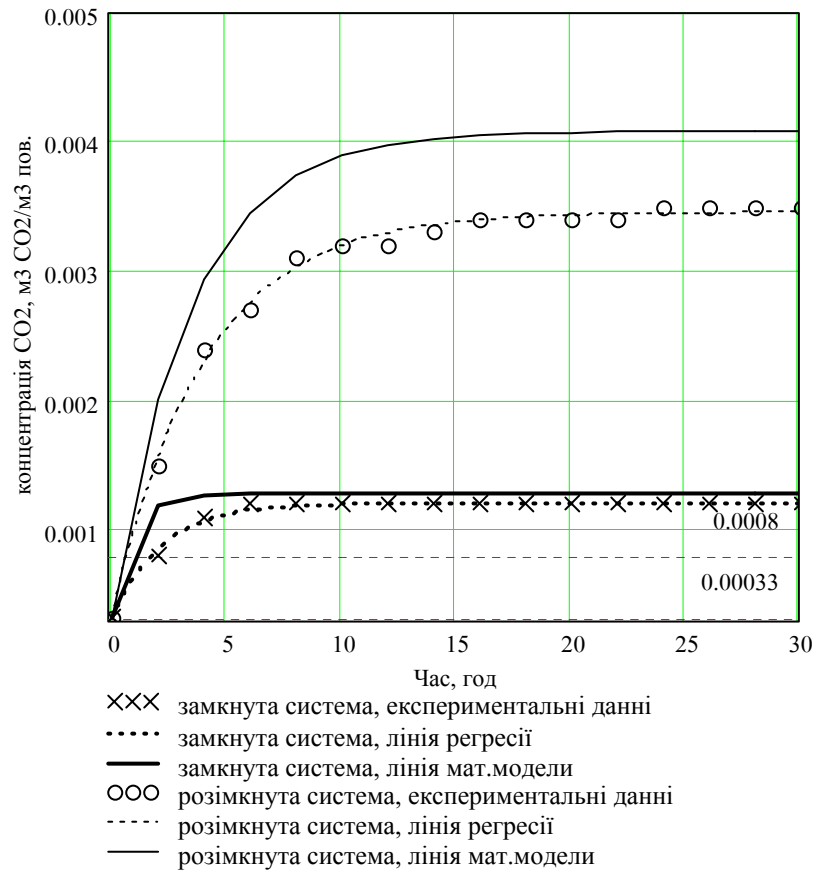


Рис. III.35 – Експериментальні та розрахункові характеристики концентрації CO<sub>2</sub> при виключеній вентиляції

а передаточна функція, яка отримана з математичної моделі (III.54) при тих же умовах, що і експеримент:

$$W(p) = \frac{18,8}{(17,9 \cdot p + 1)(0,04 \cdot p + 1)} \cdot \quad (\text{III.123})$$

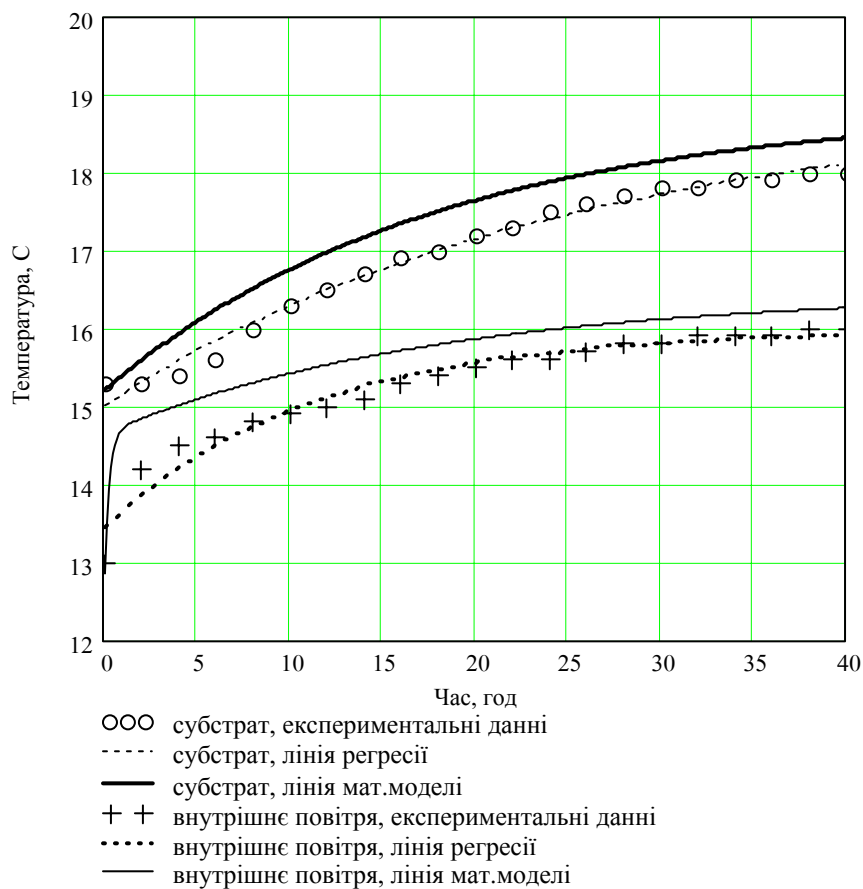


Рис. III.36 – Експериментальні та розрахункові характеристики зміни температури повітря та субстрату при зміні температури води в опалювальній системі від 50 до 60 °С

### 3.5. Структурно-логічна схема управління замкнутою системою опалення та вентиляції теплиць

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 до себе більш жорсткі вимоги в технології вирощування, ніж їх “дикі предки”. Тому створення і підтримування мікроклімату на високому рівні є вимогою обов'язковою.

Розглянемо типову технологію вирощування гливи. Найчастіше всього 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 паром, який пускають в камеру при температурі 65-70 °С з постійною циркуляцією повітря. Пастеризація продовжується 12 годин. Далі субстрат охолоджують до 24...25 °С, і змішують з міцелієм (2-5 % маси субстрату), потім укладають в мішки [83, 51] і розміщують на стелажах [224] в камері пророщування.

Камерою пророщування може бути камера пастеризації або спеціальна камера, яка має систему вентиляції та циркуляції повітря. Міцелій росте на протязі 15-20 днів при відносній вологості повітря 90-95%. Температуру повітря в цей період підтримують в межах 18-20 °С. 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 °С. В цей період культуру не поливають, але забезпечують добре провітрювання приміщення. Після чого субстрат виймають з мішків і блоки розміщують в плівковій або скляній теплиці штабелями (з проходами для догляду за культурою). Штабелі укривають плівкою і приміщення охолоджують до 10-12 °С. Через 2-3 дні поверхня субстрату стає кремовою від появи зародків плодових тіл. Плівку зі штабелів знімають. В період плодоношення підтримують температуру повітря 12...14 °С, відносну вологість 95 %, проводять вентиляцію. Приміщення для вирощування гливи повинно мати світлопроникливу покрівлю або штучне освітлення. Догляд в період плодоношення складається з підтримання оптимальної температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub> та освітленості.

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. III.9).

Таблиця III.9 – 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

Складемо технологічну карту зміни температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub> та освітленості у функції часу (табл. III.10).

Таблиця III.10 – Параметри вирощування гливи звичайної

Фази	Період	Температура, t, °C	Вологість, H, %	Концентрація CO <sub>2</sub> , 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

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. III.10), 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 складемо модель об'єкта управління у вигляді “чорного ящика” (рис. III.37).

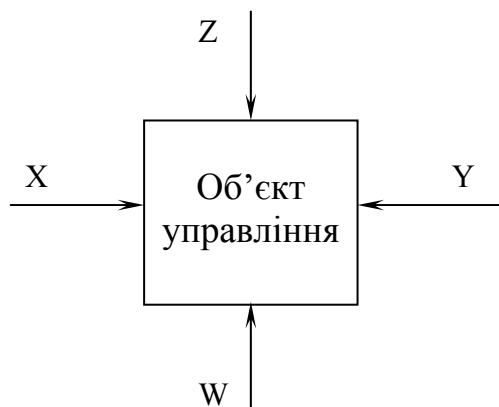


Рис. III.37 – Модель об'єкта управління у вигляді “чорного ящика”, де:  $Y$  – керована величина;  $X$  – керуюча дія;  $Z$  – контрольована збурююча дія;  $W$  – неконтрольована збурююча дія

Згідно з п. 1 можна виділити 4 керовані величини:  $Y_1$  – температура;  $Y_2$  – вологість;  $Y_3$  – концентрація  $CO_2$ ;  $Y_4$  – освітлення.

Тепер визначимо керуючу дію. Щоб забезпечити заданий рівень температури в культиваційному 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. III.10) 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.

Узагальнююча модель об’єкта управління буде мати вигляд, зображений на рис. III.38.

Сформулюємо алгоритм функціонування і управління. Як говорилось вище, замкнута система опалення та вентиляції в певний період доби працює як система із двох приміщень, тому модель об’єкту управління з деякими внутрішніми зв’язками буде мати вигляд (рис. III.39).

Графічно алгоритм управління можна зобразити у вигляді блок-схеми (рис. III.40).

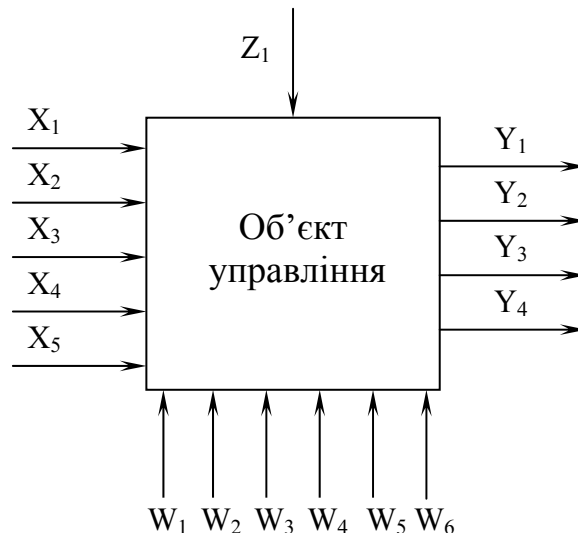


Рис. III.38 – Модель об'єкту управління

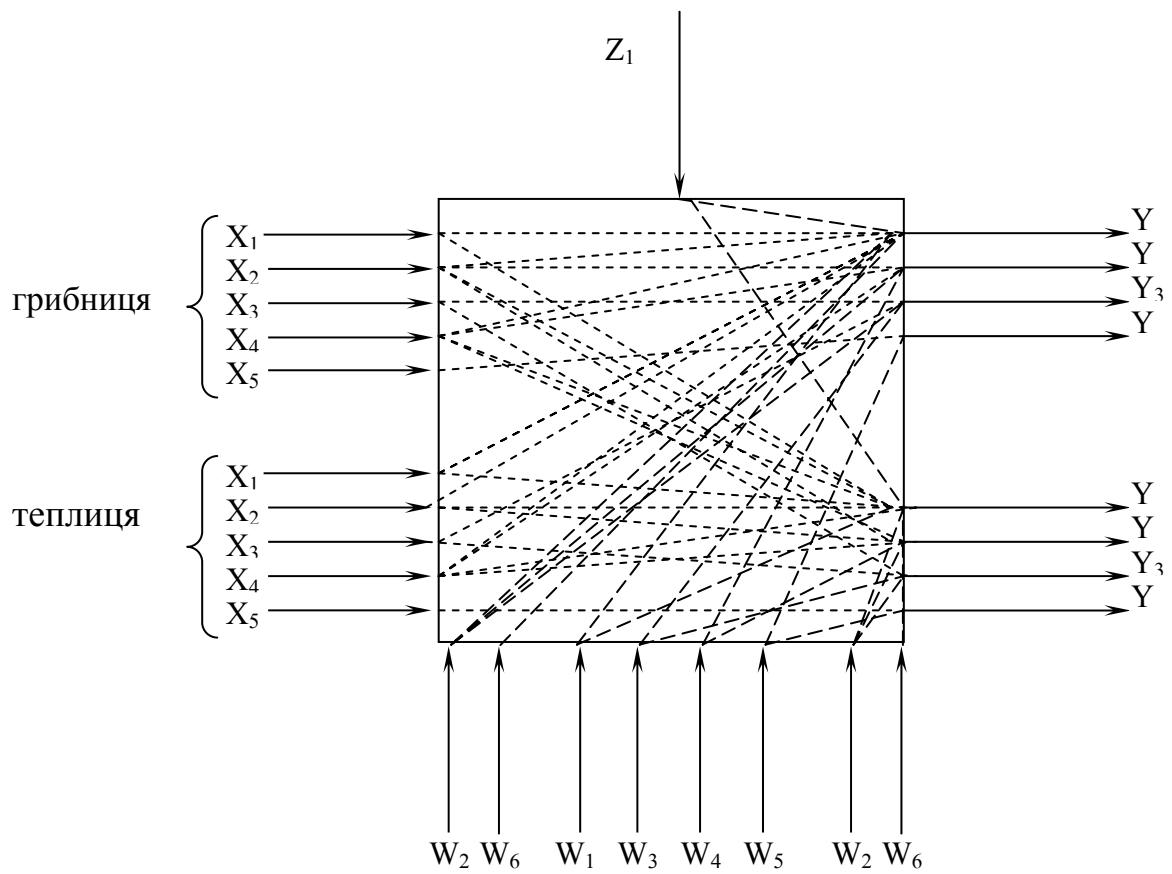


Рис. III.39 – Модель об'єкту управління

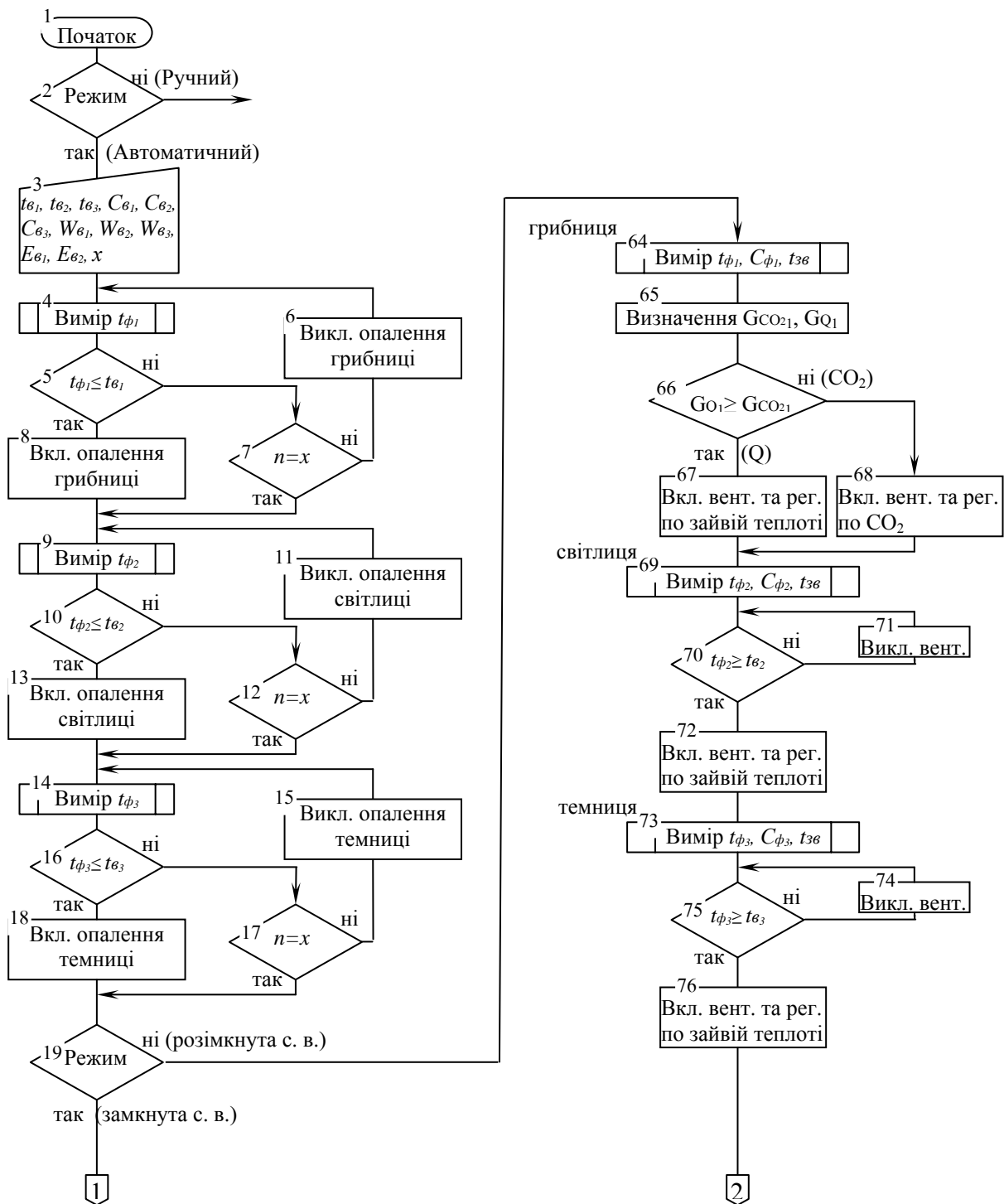


Рис. III.40 – Структурно-логічна схема замкнутої системи вентиляції

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:  $t_{e1}$ ,  $t_{e2}$ ,  $t_{e3}$ , – температурі внутрішнього повітря, відповідно, в грибниці, світлиці та

темниці;  $C_{e1}, C_{e2}, C_{e3}$ , – концентрації  $\text{CO}_2$  в грибниці, світлиці та темниці;  $W_{e1}, W_{e2}, W_{e3}$ , – вологості внутрішнього повітря в грибниці, світлиці та темниці;  $E_{e1}, E_{e2}$ , – освітленості, відповідно, в грибниці та темниці;  $x$  – кількості повторів у циклах повтору (затримка).

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.

В світлу частину доби при виборі пари “грибниця-світлиця” управління передається блоку 21, в якому відбувається вимірювання поточних значень внутрішніх температури повітря і концентрації  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  –  $GCO2_1, GCO2_2, GQ_1, GQ_2$ .

В 23-му блоці визначається максимальний з повітрообмінів по вуглекислоті  $GCO2_{max}$  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  $\text{CO}_2$ ). При  $GQ_{max} \geq GCO2_{max}$  повітрообмін відбувається по надлишковій теплоті і управління передається блокові 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.

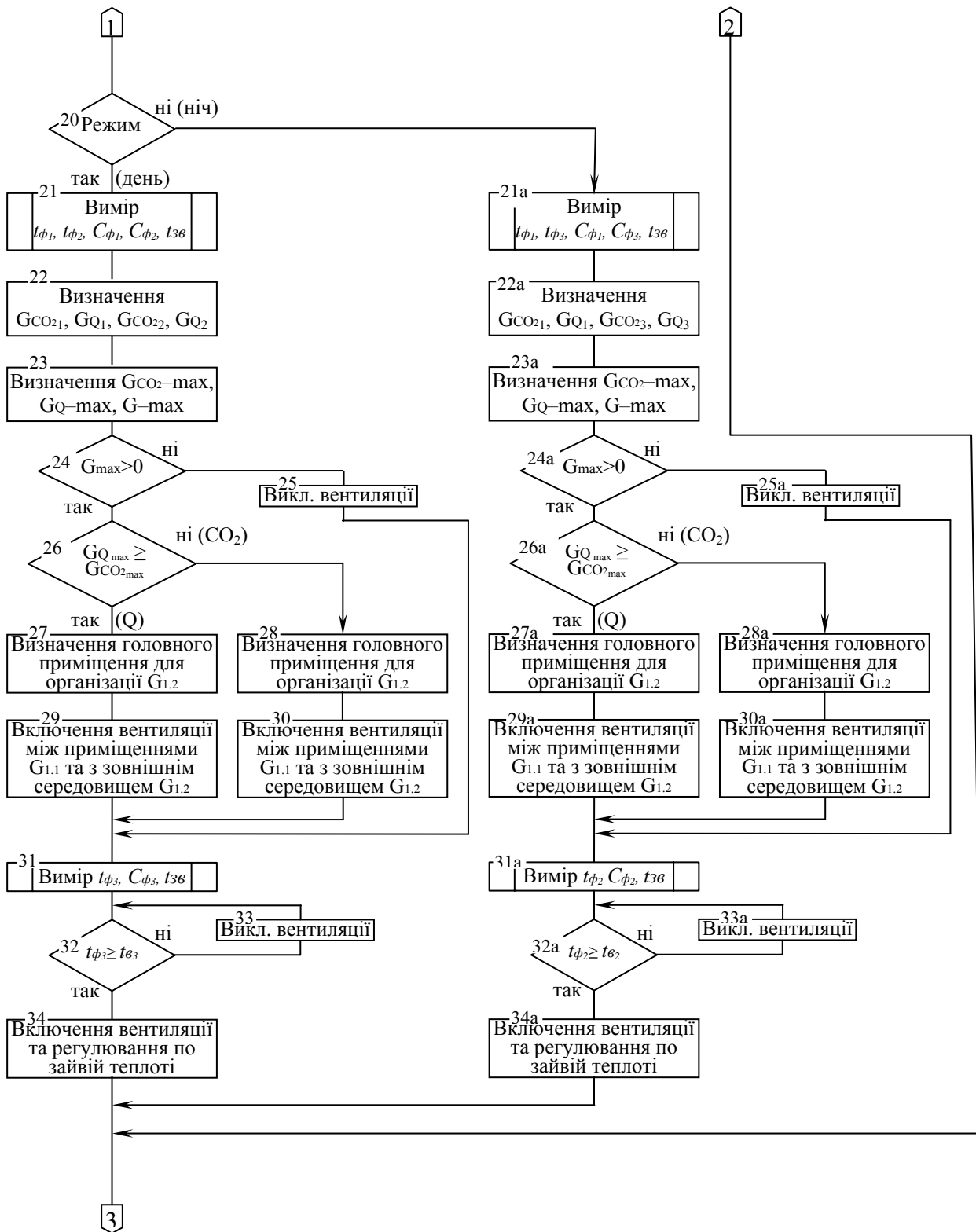


Рис. III.40 – Структурно-логічна схема замкнутої системи вентиляції

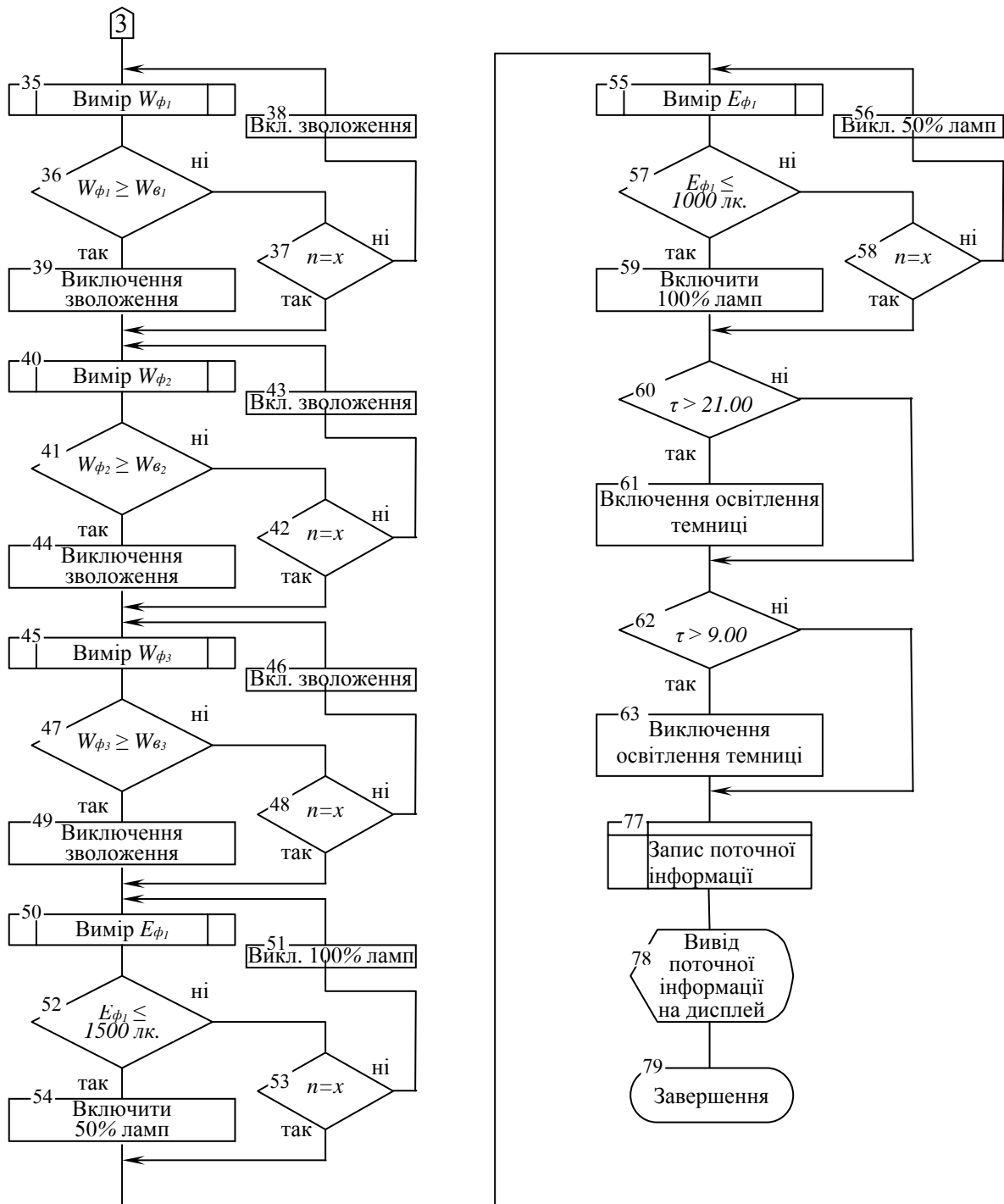


Рис. III.40 – Структурно-логічна схема замкнутої системи вентиляції

Блок 29 включає вентилятори замкнутої системи вентиляції та проводить регулювання їх продуктивності. При  $GQ_{max} < GCO2_{max}$  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  $t\phi_1$ ,  $C\phi_1$ ,  $t_{36}$  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  $GQ_1 \geq GCO2_1$  управління передається 67, який вмикає вентиляційну установку і проводить вентилявання по зайвій теплоті. При  $GQ_1 < GCO2_1$  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  $t_{36}$ . У 70 відбувається порівняння фактичного значення температури в світлиці  $t\phi_2$  із заданим  $t_{e2}$ . При  $t\phi_2 \geq t_{e2}$  управління передається 62 для включення вентиляційної установки і регулювання повітрообміну по зайвій теплоті, при  $t\phi_2 < t_{e2}$  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  $W_{e1}$ . При  $W\phi_1 < W_{e1}$ , після затримки у 37, вмикається установка зволоження 38. При  $W\phi_1 \geq W_{e1}$  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.

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  $\tau/T_{2a} = 44,8$  (п. 3.4).

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. На протязі всього технологічного циклу пристрій повинен пам'ятати значення температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub> 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.

### **3.6. Резюме по розділу 3**

1. Розроблено структурно-функціональну схему замкнутої системи опалення та вентиляції. Запропоновано три варіанти побудови ЗСВ в СЗГ, які передбачають використання однієї теплиці, розділеної на дві частини, та двох або трьох теплиць одного блоку.

2. Розроблена статична модель залежності повітрообміну від потужності опалювальної системи, яка являє собою систему лінійних рівнянь теплових балансів грибного та рослинного приміщень. В запропонованому вигляді модель дозволяє, в залежності від поточних значень температур, визначати величину повітрообмінів і відповідно до них потужність опалювальної системи.

Дослідження, проведені за допомогою імітаційної математичної моделі, показують, що найбільша ефективність роботи системи спостерігається: при низьких температурах зовнішнього повітря; при максимально більшій різниці температур в приміщеннях, а також при роботі з нічним приміщенням в якому відсутні теплонадходження від сонячної радіації. В залежності від наведених умов, використання ЗСВ дає можливість зменшити теплову потужність на 12,7 – 20,5 %.

3. Розроблено динамічну модель зміни температури субстрату та повітря в тандемі, яка дозволяє для кожної конкретної системи “культивуаційне приміщення – теплиця” визначити температуру припливного повітря в залежності від нормативних значень температури субстрату та повітря в приміщенні.

4. Встановлено, що з точки зору автоматичного управління температурою субстрату та повітря, система “культивуаційне приміщення – теплиця” з водяною системою опалення являє собою двохемістний об’єкт. На основі моделі та експериментальних досліджень визначено передаточну функцію системи теплиць як об’єкта керування температурою субстрату та повітря.

5. Розроблена динамічна модель зміни концентрації  $\text{CO}_2$ , яка дозволяє визначити концентрацію  $\text{CO}_2$  в одному із приміщень по завершенню перехідного процесу в залежності від концентрації  $\text{CO}_2$  в припливному повітрі з іншого приміщення системи, та нормативних значень повітрообмінів. Модель розроблена в варіантах роботи системи в замкнутому та розімкнутому режимах, а також при наявності та відсутності повітрообміну із зовнішнім середовищем.

6. Результати експериментальних досліджень показали відповідність отриманих математичних моделей дослідним даним, середня відносна похибка склала: по концентрації  $\text{CO}_2$  в замкнутій системі при включеній вентиляції із

зовнішнім середовищем – 2,8 %, при виключеній вентиляції – 7,2 %, в розімкнутій системі при включеній вентиляції із зовнішнім середовищем – 4,6 %, при виключеній вентиляції – 19,8 %; по температурі субстрату – 3 % і по температурі повітря – 3,2 %. Коефіцієнти кореляції, відповідно, склали: 0,99, 0,94, 0,99, 0,99, 0,99, 0,98, а на основі експериментальних даних, отримано апроксимуюче рівняння виду  $f(x) = a \cdot e^{bx} + c$  та коефіцієнти експоненціальної регресії. На основі експериментальних даних визначені передаточні функції для процесу регулювання температури субстрату та концентрації CO<sub>2</sub>.

7. Обґрунтовано та розроблено структурно-логічну схему управління замкнутою системою опалення та вентиляції, яка передбачає управління технологічними параметрами (температурою, вологістю, концентрацією CO<sub>2</sub>, освітленістю) в системі.

# ЧАСТИНА IV ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ГЛИВИ

## РОЗДІЛ 1 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СУБСТРАТУ

### 1.1. Інженерний розрахунок параметрів поршневого ущільнювача субстрату

Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень процесу роботи поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи дають можливість провести інженерний розрахунок його конструкційно-режимних параметрів.

Вихідними даними до розрахунків параметрів поршневого ущільнювача соломистого субстрату є початкова щільність субстрату  $\gamma_0$ , щільність субстрату запакованого у мішок  $\gamma_K$ , діаметр  $D_M$  та висота мішка  $h_M$ .

Виходячи із технологічно заданих параметрів ущільнених мішків пастеризованого субстрату конструкційні параметри ущільнювача визначали в наступній послідовності [208]:

Визначаємо необхідний для завантаження заданої порції субстрату сумарний об'єм камер ущільнення:

$$V_{KC} = \frac{M_M}{\gamma_0} = \frac{V_M \gamma_K}{\gamma_0} = \frac{\pi D_M^2}{\gamma_0} \gamma_K h_M, \quad (\text{IV.1})$$

де  $V_{KC}$  – сумарний об'єм камер ущільнення, м<sup>3</sup>;

$M_M$  – маса мішка з ущільненим субстратом, кг;

$\gamma_0$  – початкова щільність субстрату, кг/м<sup>3</sup>;

$V_M$  – об’єм мішка з ущільненим субстратом, м<sup>3</sup>;

$\gamma_K$  – щільність субстрату, запакованого у мішок, кг/м<sup>3</sup>;

$D_M$  – діаметр мішка, м;

$h_M$  – висота мішка, м.

Задавшись величиною ходу штока основного гідроциліндра  $L_{ОЦ}$  [206] та технологічно обумовленою довжиною вивантажувальної горловини камери основного ущільнення  $L_G$ , необхідної для одягання мішка, визначаємо довжину камери основного ущільнення:

$$L_{KO} = L_{ОЦ} - L_G, \quad (IV.2)$$

де  $L_{KO}$  – довжина камери основного ущільнення, м;

$L_{ОЦ}$  – хід штоку основного гідроциліндра, м;

$L_G$  – довжиною вивантажувальної горловини камери основного ущільнення, м.

При взаємноперпендикулярному розташуванню камер попереднього та основного ущільнення приймають довжину камери попереднього ущільнення рівною довжині камери основного ущільнення:

$$L_{KP} = L_{KO},$$

де  $L_{KP}$  – довжина камери попереднього ущільнення, м.

Об’єм камери основного ущільнення розраховується за формулою:

$$V_{KO} = \frac{\pi D_{KO}^2}{4} L_{KO}, \quad (IV.3)$$

де  $V_{KO}$  – об’єм камери основного ущільнення, м<sup>3</sup>;

$D_{KO}$  – внутрішній діаметр камери основного ущільнення, м.

Після ущільнення та пакування субстрату у мішок, який під дією сил релаксації, має властивість до розширення, збільшуючи діаметральні розміри мішка. Враховуючи цю властивість субстрату розраховуємо внутрішній діаметр камери основного ущільнення машини:

$$D_{KO} = \frac{D_M}{k_P}, \quad (\text{IV.4})$$

де  $k_P$  – коефіцієнт розширення ущільненого та запакованого мішка з субстратом.

На основі результатів експериментальних досліджень встановлено, що значення коефіцієнта розширення мішка становить  $k_P = 1,22$ .

При заданих умовах конструкційні параметри камери основного ущільнення приймаємо діаметр камери основного ущільнення відповідно до сортаменту труб [335].

Об’єм камери попереднього ущільнення розраховуємо за формулою:

$$V_{KП} = V_M - V_{KO}, \quad (\text{IV.5})$$

де  $V_{KП}$  – об’єм камери попереднього ущільнення, м<sup>3</sup>.

Задавшись ходом штоку гідроциліндра вертикальної камери попереднього ущільнення  $L_{П}$  [206], визначаємо її ширину:

$$B_{П} = \frac{V_{KП}}{L_{KП} L_{П}}, \quad (\text{IV.6})$$

де  $B_{\Pi}$  – ширина камери попереднього ущільнення, м;

$L_{\Pi}$  – хід штоку гідроциліндра вертикальної камери попереднього ущільнення, м.

Для забезпечення дотримання умов працездатності ущільнювача та узгодженості у взаємному розташуванні камер ущільнення має бути дотримана така умова:

$$B_{\Pi} \leq D_{ЗКО}, \quad (IV.7)$$

де  $D_{ЗКО}$  – зовнішній діаметр камери основного ущільнення, м.

Кут  $\varphi$  вирізу камери основного ущільнення визначається за виразом:

$$\varphi = 2(90^{\circ} - \gamma), \quad (IV.8)$$

де  $\varphi$  – кут вирізу камери основного ущільнення, град;

$\gamma$  – кут між зовнішнім радіусом камери основного ущільнення  $R_{ЗКО}$  та хордою, значення якої рівне ширині вертикальної камери попереднього ущільнення  $B_{\Pi}$ , град;

$R_{ЗКО}$  – зовнішній радіус труби камери основного ущільнення, м.

Кут між зовнішнім радіусом камери основного ущільнення та хордою, значення якої рівне ширині вертикальної камери попереднього ущільнення становить:

$$\gamma = \arccos \frac{0,5 B_{\Pi}}{R_{ЗКО}}. \quad (IV.9)$$

Результати проведених теоретичних та оптимізаційних експериментальних досліджень поршневого ущільнювача соломистого субстрату дали можливість

розробити методику інженерного розрахунку конструкційно-технологічних параметрів ущільнювача, результати застосування якої для розрахунку параметрів ущільнювача субстрату приведено в табл. IV.1.

Таблиця IV.1 – Конструкційні параметри поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи

№ п/п	Назва параметра	Позначення та одиниця виміру	Значення параметра
Вихідні параметри			
1	Діаметр мішка	$D_M$ , м	0,31
2	Висота мішка	$h_M$ , м	0,6
3	Початкова щільність субстрату	$\gamma_0$ , кг/дм <sup>3</sup>	0,2
4	Щільність субстрату, запакованого у мішок	$\gamma_K$ , кг/дм <sup>3</sup>	0,38
Технологічно задані параметри			
5	Маса мішка з ущільненим субстратом	$M_M$ , кг	17,6
6	Об'єм мішка з ущільненим субстратом	$V_M$ , дм <sup>3</sup>	46,3
7	Коефіцієнт поперечного розширення мішка з субстратом	$k_P$	1,22
Прийняті показники			
8	Довжина вивантажувальної горловини	$L_G$ , м	0,2
9	Хід штоку основного гідроциліндра	$L_{OC}$ , м	0,8
10	Хід штоку гідроциліндра вертикальної камери попереднього ущільнення	$L_{II}$ , м	0,4
Розрахункові параметри			
11	Сумарний об'єм камер ущільнення	$V_{KC}$ , дм <sup>3</sup>	87,9
12	Довжина камери основного ущільнення	$L_{KO}$ , м	0,6
13	Довжина камери попереднього ущільнення	$L_{KII}$ , м	0,6
14	Об'єм камери основного ущільнення	$V_{KO}$ , дм <sup>3</sup>	31,1
15	Внутрішній діаметр камери основного ущільнення	$D_{KO}$ , м	0,257
16	Об'єм камери попереднього ущільнення	$V_{KII}$ , дм <sup>3</sup>	56,7
17	Ширина камери попереднього ущільнення	$B_{II}$ , м	0,236
18	Зовнішній діаметр камери основного ущільнення	$D_{ЗКО}$ , м	0,273
19	Кут вирізу камери основного ущільнення	$\varphi$ , °	120,0
20	Розрахунковий кут	$\gamma$ , °	0,524
			30
21	Радіус камери основного ущільнення	$R_{ЗКО}$ , м	0,1365

Приведений алгоритм дозволяє визначити основні конструкційні параметри поршневого ущільнювача субстрату на основі вологості соломи при різних заданих вихідних та технологічних параметрах.

## **1.2. Техніко-технологічні та економічні показники роботи поршневого ущільнювача субстрату**

При пастеризації субстрату в пастеризаційній камері, щільність його в нижніх шарах досягає  $400 \text{ кг/м}^3$ , що значно перевищує нормативне значення та ускладнює внесення посівного міцелію. Для рівномірного внесення посівного міцелію в субстрат його необхідно розпушити та в послідуєчому ущільнити з одночасним пакуванням у мішки. При пакуванні субстрату в мішки та обмежених розмірах пастеризаційної камери виникає проблема з розміщенням робочих місць для виконання відповідних технологічних операцій. Це призводить до того, що для пастеризаційних камер місткістю субстрату більше 15-20 т неможливо провести його вивантаження на протязі однієї робочої зміни. Крім того, при ущільненні субстрату вручну виникають проблеми, пов'язані з наявністю неоднорідностей щільності маси відносно об'єму мішка та зниження показників якості ущільнених мішків з субстратом. При цьому розростання міцелію у субстраті уповільнюється, що приводить до збільшення терміну циклу вирощування гливи [169].

Середнє значення тривалості робочих циклів поршневого ущільнювача коливалось від 8,4 до 37 с, що в загальному циклі процесу ущільнення та пакування становить від 11 до 49 %. Найбільш тривалим робочим циклом є завантаження субстрату до камери ущільнювання, що становить 37 с (49 % загального часу циклу роботи). Розрахункова тривалість всього циклу ущільнення та пакування субстрату становить 75,9 с.

Тривалість робочих циклів поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи була визначена під час проведення випробувань, результати яких приведено в табл. IV.2.

На рис. IV.1 зображено структуру значень тривалості робочих циклів поршневого ущільнювача при ущільненні субстрату.

Таблиця IV.2 – Тривалість робочих циклів поршневого ущільнювача субстрату

№ циклу	Назва робочого циклу	Значення тривалості циклу, с	Структура тривалості циклів, %
1	Одягання мішка на краї камери ущільнювання	18,8	–
2	Завантаження субстрату до камери ущільнювання	37,0	49,0
3	Закриття верхнього клапану та ущільнення субстрату в вертикальній камері	8,4	11,0
4	Ущільнення субстрату в горизонтальній камері та пакування в мішок	12,0	16,0
5	Герметизація мішка	18,6	24,0
6	Повернення поршня горизонтальної камери в початкове положення	8,3	–
7	Повернення поршня вертикальної камери в початкове положення та відкриття верхнього клапана	4,8	–
8	Розрахункова тривалість всього циклу ущільнення та пакування субстрату (сума ст. 2+3+4+5)	75,9	100
9	Фактична тривалість всього циклу ущільнення та пакування субстрату	66,7	100

При розрахунку економічної ефективності роботи поршневого ущільнювача для ущільнення та пакування пастеризованого субстрату враховувалося скорочення технологічної операції (додаткове подрібнення соломи) та зменшення витрат робочої сили, а відповідно оплати праці, порівняно з варіантом без використання засобів механізації [336].

Техніко-технологічні та економічні показники роботи поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи приведені в табл. IV.3, при цьому за базовий варіант прийнято ущільнення та пакування субстрату вручну [337].

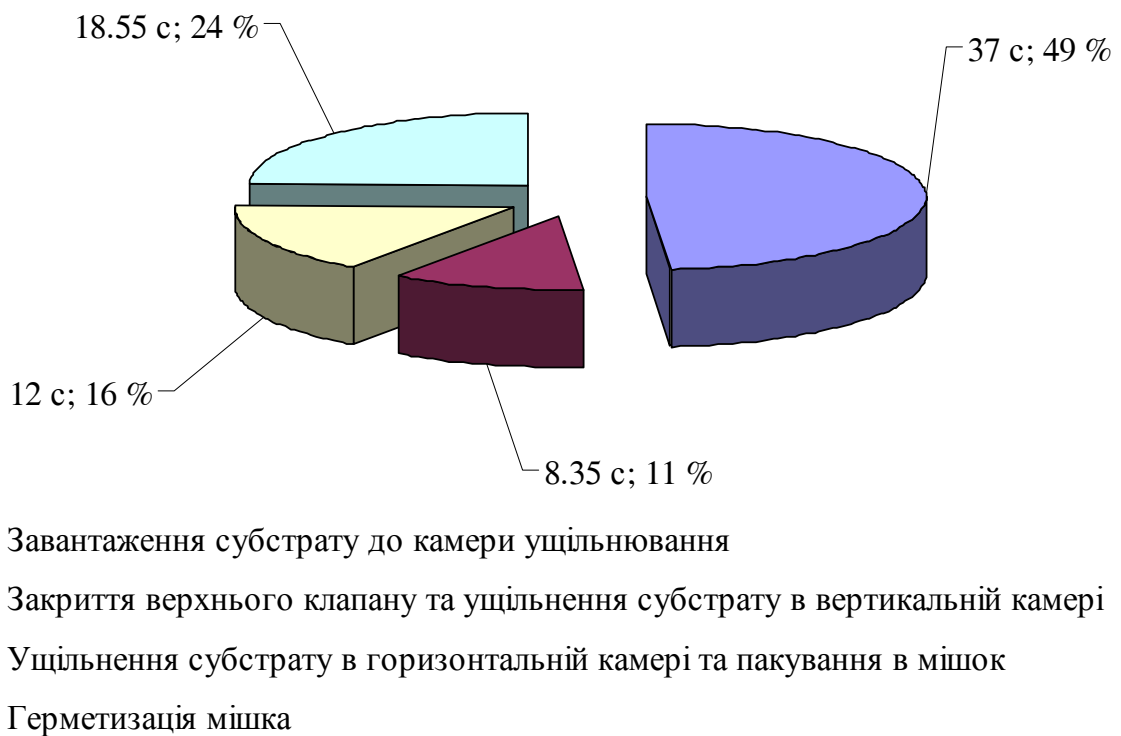


Рис. IV.1 – Складові тривалості робочих циклів процесу ущільнення субстрату

Таблиця IV.3 – Техніко-технологічні та економічні показники роботи поршневого ущільнювача субстрату

Показник	Одиниця виміру	Значення	
		Базовий	Новий
Продуктивність	кг/год.	714	896
Швидкість розвантаження мішків	міш./год.	43	54
Швидкість упаковки мішків	с/міш.	83,7	66,7
Діаметр мішка	м	0,3	0,31
Висота мішка	м	0,6	0,59
Маса мішка	кг	16	16,6
Щільність субстрату в мішку	кг/м <sup>3</sup>	350	364
Маса партії виготовленого субстрату	т	10	10
Кількість упакованих мішків	шт.	602	602
Чистий час розвантаження	год.	9	17
Технологічні перерви	год.	5	3
Загальний час розвантаження	год.	14	20
Кількість працюючих	чол.	5	5
Затрати праці	люд-год.	70	100
Оплата праці при вивантаженні субстрату	грн./міш.	0,7	0,7
Споживана потужність електродвигуна	кВт	–	1,5

Продуктивність поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи становить 896 кг/год., фактична тривалість одного циклу ущільнення та пакування субстрату в мішок – 66,7 с [338, 339, 340].

### 1.3. Виробничі випробування поршневого ущільнювача субстрату

Виробничі випробування обладнання для ущільнення та пакування субстрату в мішки проводилися на базі ТОВ “Славута” с. Шкарівка Білоцерківського району Київської області (рис. IV.2).



Рис. IV.2 – Виробничі випробування поршневого ущільнювача субстрату на базі ТОВ “Славута”

Виробничі випробування проводили під час вивантаження субстрату із пастеризаційної камери із дотриманням технологічного регламенту. Під час проведення випробувань за допомогою контрольно-вимірювальних приладів визначали фізико-геометричні та технологічні параметри заповнених мішків з субстратом.

Результати основних технологічних параметрів ущільнених та запакованих мішків з субстратом, отриманих в результаті роботи машини, приведені в табл. IV.4.

В результаті багаторазових замірів основних технологічних параметрів отриманих ущільнених мішків субстрату були отримані такі значення:

- маса ущільненого мішка субстрату мала значення від 15,6 до 17,6 кг, при середньому значенні маси ущільненого мішка субстрату – 16,6 кг;
- висота мішка мала значення від 0,58 до 0,6 м, при середньому значенні висоти мішка – 0,59 м;
- діаметр мішка мав значення від 0,31 до 0,32 м, при середньому значенні діаметра мішка – 0,314 м;
- кінцева щільність субстрату мала значення від 346 до 384 кг/м<sup>3</sup>, при середньому значенні кінцевої щільності субстрату – 365 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця IV.4 – Технологічні параметри субстрату запакованого в мішки

№ п/п	Назва параметра	Значення параметра		
		мін	макс	середнє значення
1	Маса мішка, кг	15,6	17,6	16,6
2	Висота мішка, м	0,58	0,6	0,59
3	Діаметр мішка, м	0,312	0,318	0,314
4	Щільність субстрату, кг/м <sup>3</sup>	346	384	365

Виробничі випробування довели працездатність поршневого ущільнювача субстрату та підтвердили результати теоретичних та експериментальних досліджень. Питома енергоємність процесу ущільнення, за експериментальними даними, при масі порції завантаженого субстрату 10, 15 та 20 кг відповідно становила 0,074, 0,137 та 0,155 кВт год./т. Інтегральна ймовірність того, що щільність запакованих мішків з субстратом знаходилась у технологічно заданому діапазоні від 360 до 400 кг/м<sup>3</sup> становила 85,5 %. Ущільнені та запаковані мішки з субстратом відповідали технологічним вимогам для вирощування гливи.

#### **1.4. Лінії виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів**

На основі результатів попередніх досліджень та з метою підвищення рівня механізації виробничих процесів в грибівництві розроблено лінію виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів, яка включає обладнання для підготовки, зволоження й термообробки соломи, пристрої для пакування субстрату в мішки, а також підйомно-транспортний механізм, причому підйомно-транспортний механізм встановлено таким чином, що його переміщення забезпечує почергове обслуговування обладнання для підготовки, зволоження й термообробки соломи та пристроїв для пакування субстрату в мішки. Підйомно-транспортний механізм лінії встановлено таким чином, що його переміщення забезпечує почергове обслуговування обладнання для підготовки, зволоження й термообробки соломи та пристроїв для пакування субстрату в мішки дозволяє організувати поточне виробництво субстрату з високим рівнем механізації виконання навантажувально-розвантажувальних робіт [341].

На рис. IV.3 приведено схематичне зображення лінії виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів.

Лінія виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів включає обладнання для підготовки, зволоження й термообробки соломи 1, куди входить подрібнювач соломи 2, стрічковий конвеєр 3, гвинтовий пакувальник контейнерів 4, контейнер для соломи 5 та термоконтанейнер 6, а також пристрої для пакування субстрату в мішки 7, які включають приймальний бункер 8, блок дозування і внесення міцелію 9, поперечний реверсивний стрічковий транспортер 10 та ущільнювачі субстрату 11. Крім того, лінія виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів містить підйомно-транспортний механізм 12, який встановлено таким чином, що його переміщення забезпечує почергове обслуговування обладнання для підготовки, зволоження й термообробки соломи 1 та пристроїв для пакування субстрату в мішки 7.

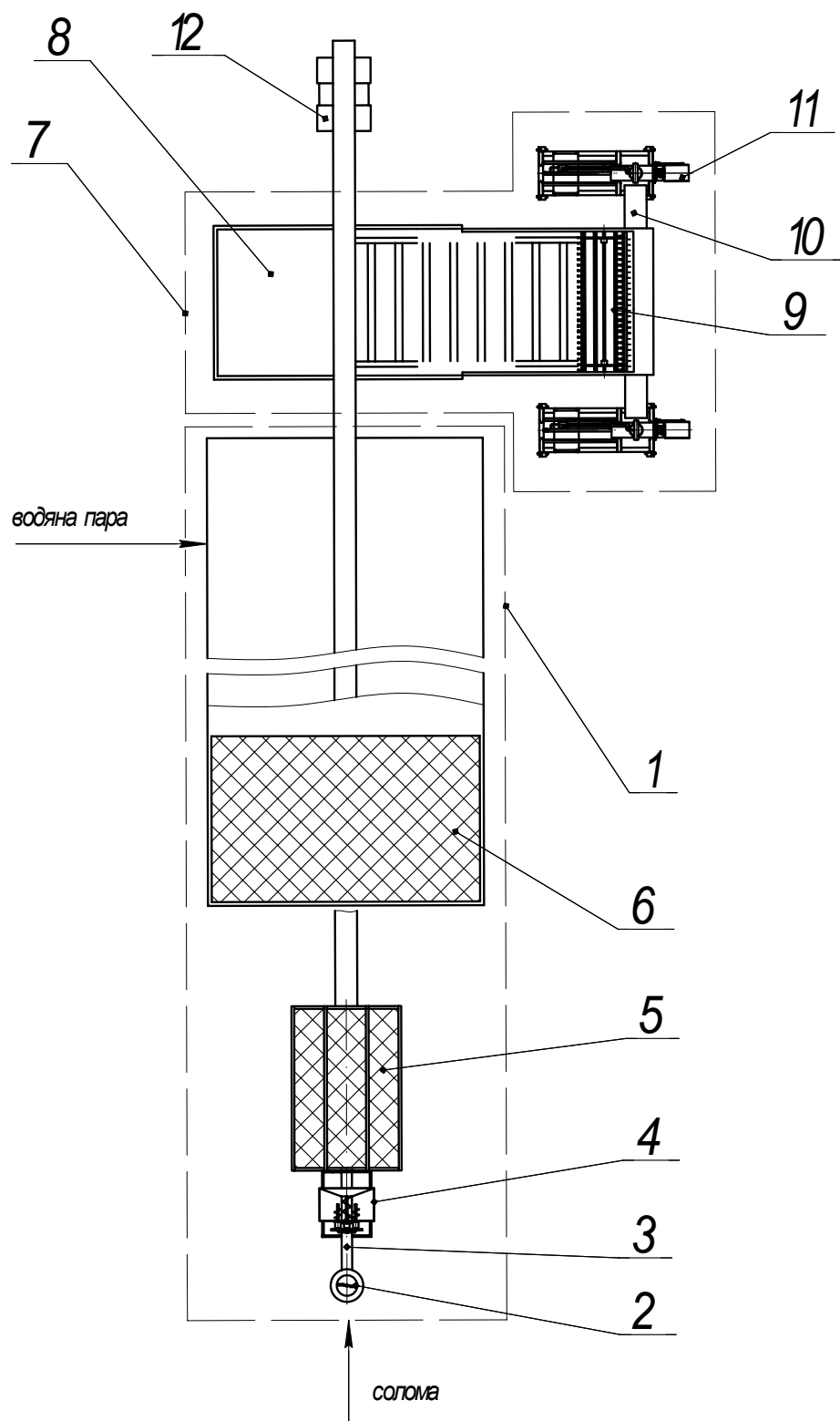


Рис. IV.3 – Схематичне зображення лінії виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів

Лінія виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів працює наступним чином. Підйомно-транспортний механізм 12 подає рулон або тюк соломи в подрібнювач соломи 2 після якого подрібнена солома стрічковим транспортером 3 подається у гвинтовий пакувальник контейнерів 4. Після заповнення контейнера для соломи 5, підйомно-транспортний механізм 12 переміщує його в термоконтейнер 6 де відбувається термообробка соломи згідно заданого технологічного регламенту. У подальшому, підйомно-транспортний механізм 12 забезпечує виймання із термоконтейнера 6 контейнера для соломи 5 та його переміщення до зони де розташовані пристрої для пакування субстрату в мішки 7. Контейнер для соломи 5 встановлюється в положення над приймальним бункером 8 і розвантажується.

Лінія виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів забезпечує високий рівень механізації виконання робіт під час виробництва субстрату та відповідно зменшує кількість обслуговуючого персоналу.

### **1.5. Впровадження результатів досліджень у виробництво**

На основі результатів виконаних досліджень розроблено комплект конструкторської документації на виготовлення машини для ущільнення та пакування субстрату для вирощування гливи, який передано в Дослідне конструкторсько-технологічне бюро “ІМЕСГ” УААН для використання при виготовленні даної машини за замовленнями, який є складовою розробленого в ННЦ “ІМЕСГ” УААН технологічного процесу виробництва субстрату для вирощування гливи методом ферментації в пастеризаційній камері.

Результати наукових досліджень, теоретичні і експериментальні залежності конструкційно-технологічних параметрів поршневого ущільнювача від показників якості виконання процесу ущільнення соломистого субстрату використовуються в навчальному процесі Кіровоградського національного технічного університету та Уманського державного аграрного університету.

## 1.6. Резюме по розділу 1

1. Використання результатів теоретичних та експериментальних досліджень поршневого ущільнювача субстрату, фізико-механічних властивостей субстрату, дозволило розробити методику його інженерного розрахунку, визначити їх параметри виходячи з умови забезпечення показників якості роботи машини.

2. Встановлено, що середнє значення тривалості робочих циклів поршневого ущільнювача коливалось в межах від 8,4 до 37 с, що в загальному циклі процесу ущільнення та пакування становить від 11 до 49 %. Найбільш тривалим робочим циклом є завантаження субстрату до камери ущільнювання, що становить 37 с (49 % загального циклу роботи). Продуктивність ущільнювача субстрату для вирощування гливи становить 896 кг/год. Імовірність того, що щільність запакованих мішків з субстратом знаходилась у технологічно заданому діапазоні від 360 до 400 кг/м<sup>3</sup> становила 85,5 %.

3. Лінія виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів забезпечує високий рівень механізації виконання робіт під час виробництва субстрату та відповідно зменшує кількість обслуговуючого персоналу.

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ В СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

### 2.1. Методика інженерного розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць

Для інженерного розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції СЗГ необхідно мати наступні вихідні дані:

- геометричні параметри приміщень та їх розташування;
- теплофізичні параметри огорожуючих конструкцій;
- технологічні параметри вирощування (температура, вологість, концентрація  $\text{CO}_2$  в технологічних приміщеннях);
- температура зовнішнього повітря та температура в суміжних приміщеннях;
- масу субстрату;
- інтенсивність сонячної радіації;
- швидкість вітру.

При обґрунтуванні співвідношення розмірів приміщень в ЗСВ враховуємо, що основним критерієм, за яким судять про концентрацію  $\text{CO}_2$  у грибниці є маса субстрату.

За даними літературних джерел величина повітрообміну в грибних приміщеннях при вирощуванні гливи коливається від 65 до 300  $\text{м}^3/\text{т год.}$  і навіть до 500  $\text{м}^3/\text{т год.}$  [112, 342, 343, 344], причому об'єм приміщення принципового значення не має, впливаючи лише на інерційність процесів. Концентрація  $\text{CO}_2$ , яку не рекомендується перевищувати при культивуванні гливи складає 0,06–0,1 % [112, 342, 343]. Прийнявши повітрообмін для гливи – 100  $\text{м}^3/\text{т год.}$  при концентрації  $\text{CO}_2$  0,08 %, будемо мати виділення двоокису вуглецю субстратом 0,08  $\text{м}^3\text{CO}_2/\text{т год.}$

В свою чергу, критерій по якому судять про інтенсивність споживання CO<sub>2</sub> рослинами і, відповідно, про підживлення рослин двооксидом вуглецю, є масова (г/м<sup>2</sup> год.) або об'ємна (м<sup>3</sup>CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> год.) подача CO<sub>2</sub> у теплицю. В літературі ця величина знаходиться в межах від 0,0005 до 0,003 м<sup>3</sup>CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> год. [236, 305, 345]. При цьому концентрацію CO<sub>2</sub>, як правило, підтримують від 0,08 до 0,1 %. Втрати CO<sub>2</sub> при концентрації 0,15 % збільшуються внаслідок повітрообміну, отже підживлення CO<sub>2</sub>, при застосуванні традиційних технологій, стає менш ефективним.

Необхідно відмітити, що газове підживлення тепличних культур пов'язане з величиною ФАР. Із збільшенням останньої прискорюються процеси фотосинтезу і відповідно здатність рослинами засвоювати CO<sub>2</sub>. Але при цьому, внаслідок парникового ефекту в приміщенні підвищується температура повітря внаслідок чого виникає необхідність збільшення об'ємів вентиляції, що, відповідно, зменшує ефект від газового підживлення рослин. На практиці підживлення припиняють за 1 годину до відкриття фрамуг. Замкнута система опалення та вентиляції у системі споруд “рослинна теплиця - грибниця” дозволяє зменшити втрати CO<sub>2</sub> при вентиляванні.

Знаючи величини виділення грибами та рекомендовані подачі двоокису вуглецю в рослинну теплицю, можна знайти відношення маси субстрату в грибниці до площі теплиці в ЗСВ.

Складемо рівняння балансу CO<sub>2</sub> між приміщеннями:

$$L_m A_m = L_C m_C, \quad (IV.10)$$

де  $L_m$  – необхідний потік вуглекислого газу для теплиці, м<sup>3</sup>CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> год.;

$L_C$  – потік вуглекислого газу від субстрату, м<sup>3</sup>CO<sub>2</sub>/кг год.;

$A_m$  – площа теплиці, м<sup>2</sup>,

звідки маса субстрату яка забезпечує вуглекислотне підживлення рослин в теплиці:

$$m_C = \frac{L_m A_m}{L_C} \cdot \quad (\text{IV.11})$$

Розрахунки показали, що на 1 га площі теплиці, для забезпечення газового підживлення рослин, необхідно 100–250 т субстрату гливи або, що 1 т субстрату гливи здатна забезпечити двоокисом вуглецю 25–160 м<sup>2</sup> площі теплиці.

Розрахунок замкнутої системи опалення та вентиляції починають з розрахунку теплових балансів кожного приміщення окремо, та визначення продуктивності системи вентиляції і потужності опалювальної системи, після чого визначають величини повітрообмінів між приміщеннями та повітрообміну із зовнішнім середовищем. Далі проводиться розрахунок потужності опалювально-вентиляційної системи приміщень з врахуванням значень температури припливного повітря та концентрації CO<sub>2</sub>.

Методика розрахунку теплових балансів та визначення продуктивності системи вентиляції і потужності опалювальної системи розроблена з врахуванням рекомендацій, викладених в [235, 346, 347] та нормативного і довідкового матеріалу [348, 349].

Розрахунок повітрообміну в культиваційних приміщеннях при вирощуванні грибів виконується в залежності від умов видалення вуглекислоти (в зимовий період) та зайвої теплоти (в перехідний та літній періоди).

Витрата вуглекислоти, яку виділяють гриби в приміщенні [243]:

$$V_{CO_2} = k_t'' n v_{CO_2} \quad (\text{IV.12})$$

де  $k_t''$  – температурний коефіцієнт, який враховує вплив температури внутрішнього повітря на виділення грибами CO<sub>2</sub>;

$n$  – кількість грибів (субстрату), кг, мішків;

$V_{CO_2}$  – виділення вуглекислоти одиницею субстрату, кг/год., мішок/год.

Витрата повітря, яке вентилюється, м<sup>3</sup>/год. [243]:

$$L = \frac{V_{CO_2}}{C_{\epsilon} - C_{нов}}, \quad (IV.13)$$

де  $C_{\epsilon}$  – максимально допустима концентрація  $CO_2$  всередині приміщення, л/м<sup>3</sup>;

$C_{нов}$  – концентрація  $CO_2$  в припливному повітрі (приймається рівною 0,33 – 0,5 л/м<sup>3</sup>) [350].

Повітрообмін по явній теплоті визначають з рівняння теплового балансу [243]:

$$Q_{надл}^{явн} + c_p G t_{\epsilon} = c_p G t_{зв}, \quad (IV.14)$$

де  $Q_{надл}^{явн}$  – надлишок потоку явної теплоти в приміщенні (різниця між надходженнями і втратами теплоти), Вт;

$G$  – повітрообмін (масовий) в приміщенні, кг/с.

Звідки необхідний повітрообмін по явній теплоті [243]:

$$G = \frac{Q_{надл}^{явн}}{c_p (t_{\epsilon} - t_{зв})}. \quad (IV.15)$$

Об'ємний повітрообмін, м<sup>3</sup>/с:

$$L = \frac{1}{\rho_{\bar{t}}} G, \quad (IV.16)$$

Витрату вентиляційного повітря в перехідний період приймають рівною розрахунковій, але не менше її значення для холодного періоду. Для теплого періоду року роблять перевірку по мінімальній нормі повітрообміну. Якщо ця

норма не забезпечується, то витрату вентиляційного повітря в теплий період рахують за формулою [351]:

$$L = l m_C, \quad (\text{IV.17})$$

де  $l$  – норма мінімального повітрообміну,  $\text{м}^3/(\text{Г кг})$ .

Теплова потужність надлишкової теплоти визначається з рівняння теплового балансу [243]:

$$Q_{\text{надл}}^{\text{явн}} = Q_{\text{с.р}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{суб}} - Q_{\text{т.п.}} - Q_{\text{вип}}, \quad (\text{IV.18})$$

де  $Q_{\text{т.п.}}$  – тепловтрати крізь огорожі, Вт;

$Q_{\text{суб}}$  – теплонадходження від субстрату, Вт.

Теплова потужність теплонадходжень від сонячної радіації [243]:

$$Q_{\text{с.р.}} = Q_{\text{д}}^p + Q_{\text{нок}}, \quad (\text{IV.19})$$

де  $Q_{\text{д}}^p$  – тепловий потік до приміщення крізь остеклення з врахуванням акумуляції теплоти внутрішніми огорожуючими конструкціями;

$Q_{\text{нок}}$  – середньодобовий тепловий потік від сонячної радіації через покриття [243].

Теплонадходження від системи освітлення [304]:

$$Q_{\text{осв}} = P_n N_{\text{л}} k_{\text{од}} = g_n \cdot A_m, \quad (\text{IV.20})$$

де  $P_n$  – потужність джерел світла, Вт;

$N_{\text{л}}$  – кількість ламп в приміщенні;

$k_{\text{од}}$  – коефіцієнт, який характеризує роботу джерела світла;

$g_n$  – питоме теплонадходження від системи штучного освітлення, Вт/м<sup>2</sup>.

Тепловтрати крізь зовнішні огороження визначаються для холодного періоду року, при цьому сумують основні і додаткові тепловтрати через всі огорожуючі конструкції (стіни, вікна, двері, брами, перекриття, підлогу).

Основні тепловтрати розраховують з рівняння теплопередачі [351]:

$$Q_{mn} = \frac{A_{oz}}{R_o} (t_v - t_n) n, \quad (IV.21)$$

де  $Q_{mn}$  – тепла потужність тепловтрат, Вт;

$A_{oz}$  – площа огорожуючої конструкції, м<sup>2</sup>;

$t_v$  – розрахункова температура повітря всередині приміщення, °С;

$t_n$  – розрахункова температура зовнішнього повітря (середня температура найбільш холодної п'ятиднівки), °С;

$n$  – коефіцієнт, який враховує розташування огорожуючої конструкції по відношенню до зовнішнього повітря;

$R_o$  – термічний опір теплопередачі, м<sup>2</sup> К/Вт.

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію зовнішнього повітря визначаються з врахуванням надходження повітря через нещільності в огороженнях [352] і можливого перевищення витрати припливного повітря над витратою повітря, яке видаляється. При відсутності даних для розрахунку, рекомендується приймати додаткові тепловтрати на інфільтрацію в розмірі 30 % від основних тепловтрат крізь зовнішні стіни, вікна і перекриття.

Тепловиділення субстрату, Вт:

$$Q_{cyb} = g_c \cdot m, \quad (IV.22)$$

де  $g_c$  – потік явної теплоти від 1т субстрату, Вт/т.

Теплова потужність, яка витрачається на випаровування вологи [243], Вт:

$$Q_{\text{вип}} = rW_{\text{д}}, \quad (\text{IV.23})$$

де  $r$  – теплота пароутворення, Дж/кг;

$W_{\text{д}}$  – витрата вологи, яка випаровується, кг/с.

Для зимового періоду проводиться розрахунок теплової потужності опалювально-вентиляційної системи з теплового балансу приміщення [243]:

$$Q_{\text{от}} = Q_{\text{м.п}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{вип}} - Q_{\text{суб}} - Q_{\text{осв}}, \quad (\text{IV.24})$$

де  $Q_{\text{в}}$  – теплова потужність на підігрів припливного повітря, Вт.

Теплова потужність на підігрів припливного повітря [304]:

$$Q_{\text{в}} = c_p \rho L (t_{\text{в}} - t_{\text{зв}}), \quad (\text{IV.25})$$

Знайшовши всі складові рівняння (IV.24) складаємо систему рівнянь (IV.27):

$$\begin{cases} -Q_{\text{Т.Н.1}} - Q_{\text{он.1}} + Q_{\text{м.в.1}} - c_p \cdot [G_{\text{М.1.1}}(t_{\text{в.2}} - t_{\text{в.1}}) + G_{\text{М.1.2}}(t_{\text{зв}} - t_{\text{в.1}})] = 0 \\ -Q_{\text{Т.Н.2}} - Q_{\text{он.2}} + Q_{\text{м.в.2}} - c_p \cdot G_{\text{М.1.1}} \cdot (t_{\text{в.1}} - t_{\text{в.2}}) = 0, \end{cases}$$

з якої знаходимо величини повітрообмінів  $G_{\text{М.1.1}}$  і  $G_{\text{М.1.2}}$ .

Під час роботи ЗСВ, як в розімкнутому так і замкнутому режимах, для зменшення виносу теплоти з вентиляційним повітрям з приміщення використовується тепловий насос, випарник якого нагрівається повітрям, що видаляється. Теплота, що виділяється конденсатором, використовується для нагріву повітря в приміщенні теплиці і для інших потреб.

Потужність тепловиділень конденсатором парокомпресорного теплового насоса визначається за загальновідомими формулами [303]:

$$Q_K = Q_B + N, \quad (\text{IV.26})$$

де  $Q_K$  – енергія, яка відводиться від конденсатора теплового насоса для потреб тепlopостачання, Вт;

$Q_B$  – енергія, яка підводиться до випарника теплового насоса, Вт;

$N$  – енергія, підведена до теплового насоса для приводу компресора, Вт;

Встановлена потужність теплового насоса, відповідно до принципу його дії, менша від потужності системи тепlopостачання на величину коефіцієнта перетворення, тому можна записати [303]:

$$P = 24 \cdot P_{OP} \cdot (\mu \cdot \tau)^{-1}, \quad (\text{IV.27})$$

де  $P_{OP}$  – потужність системи опалення, Вт;

$\mu$  – коефіцієнт перетворення теплового насоса, відн. од.;

$\tau$  – час роботи теплового насоса за добу, год.

Енергія, яку необхідно підвести до випарника визначається з рівнянь теплового балансу [303]:

$$Q_B = Q_K - N, \quad (\text{IV.28})$$

Підставивши потужність теплового насоса згідно з (IV.26), одержимо:

$$Q_B = P \cdot \tau \cdot (\mu_k - 1). \quad (\text{IV.29})$$

## **2.2. Виробнича перевірка теоретичних та експериментальних досліджень параметрів замкнутої системи опалення та вентиляції в спорудах закритого ґрунту**

Задачею виробничої перевірки було визначення енергетичних та економічних показників замкнутої системи опалення та вентиляції та порівняння їх із показниками які були отримані внаслідок аналітичних та експериментальних досліджень.

Виробнича перевірка ЗСВ була проведена в ТОВ “Славута” Білоцерківського району Київської області з метою перевірки роботоздатності ЗСВ, де в цеху по вирощуванню грибів культивувалась культура гриба гливи звичайної (штам НК 35) (рис. IV.4 – IV.7). Виробничу перевірку проводили протягом 30 днів.

Економічна ефективність ЗСВ по грибному приміщенню проводилась наступним чином: одну добу система опалення та вентиляція працювала в замкнутому режимі, а наступну – в розімкнутому режимі, на третю добу знову – в замкнутому режимі, тощо. При проведенні перевірки фіксувались наступні параметри: температура зовнішнього та внутрішнього повітря в культиваційному приміщенні та температури води в опалювальній системі на вході в приміщення та виході із нього, температура води на вході та виході із калорифера, температура повітря на вході та виході із калорифера та температура субстрату. Два масиви даних, тобто дані по замкнутій та розімкнутій системі, були статистично оброблені та згруповані за температурами зовнішнього повітря. Графіки, побудовані за цими даними, показані на рисунках IV.8 – IV.10. Економія теплової енергії за період перевірки (30 днів) по ТОВ “Славута” становила 1980 кВт год. теплової енергії, що дозволило зменшити витрати на опалення і вентиляцію на 10,7 %. При використанні ЗСВ протягом всього циклу плодоношення гриба економія теплової енергії складе 4032 кВт год. при річному економічному ефекті в 4680 грн. і терміну окупності 0,64 року.



Рис. IV.4 – Виробниче приміщення (загальний вигляд)



Рис. IV.5 – Вимірювання температури субстрату

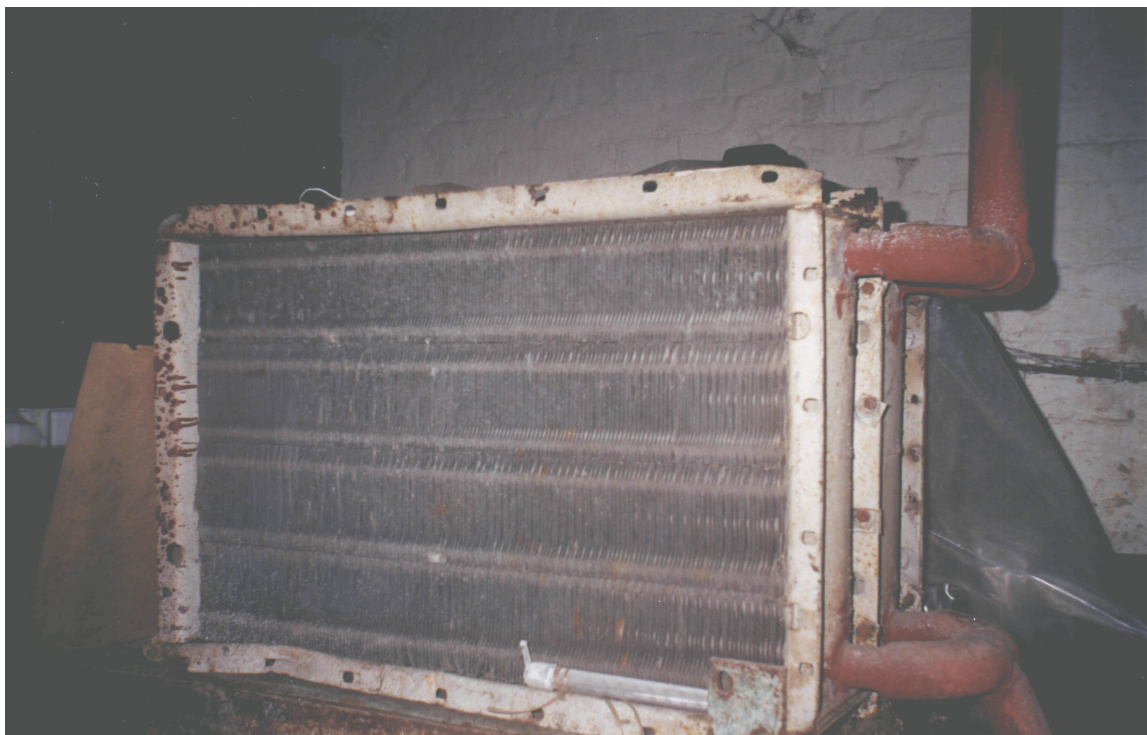


Рис. IV.6 – Вимірювання температури на виході з калорифера



Рис. IV.7 – Зволожувальна установка

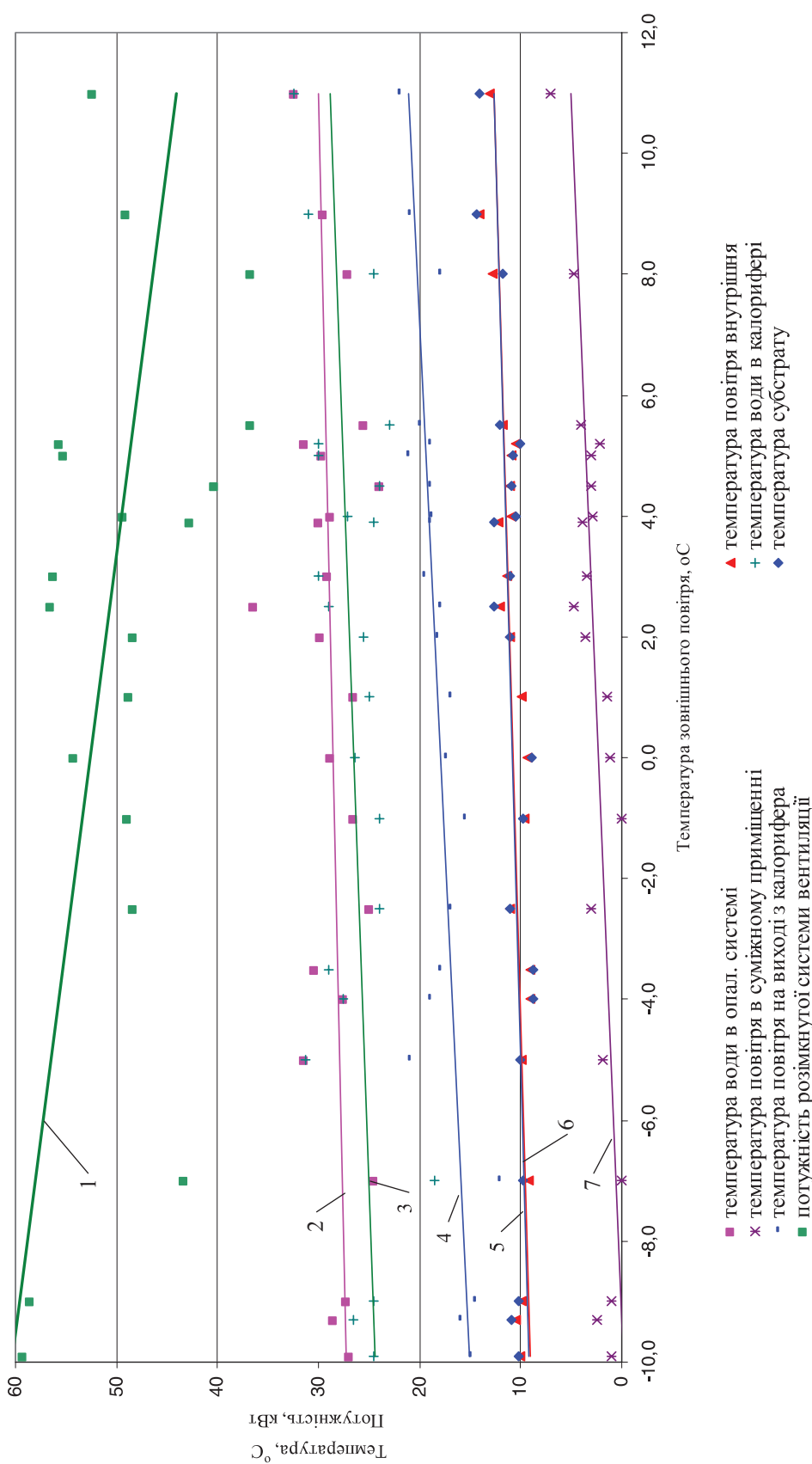


Рис. IV.8 – Параметри грибниці в замкнутій системі вентиляції: 1 – потужність розімкнутої системи вентиляції; 2 – температура води в опалювальній системі; 3 – температура води в калорифері; 4 – температура повітря на виході з калорифера; 5 – температура субстрату; 6 – температура повітря внутрішня; 7 – температура повітря в суміжному приміщенні

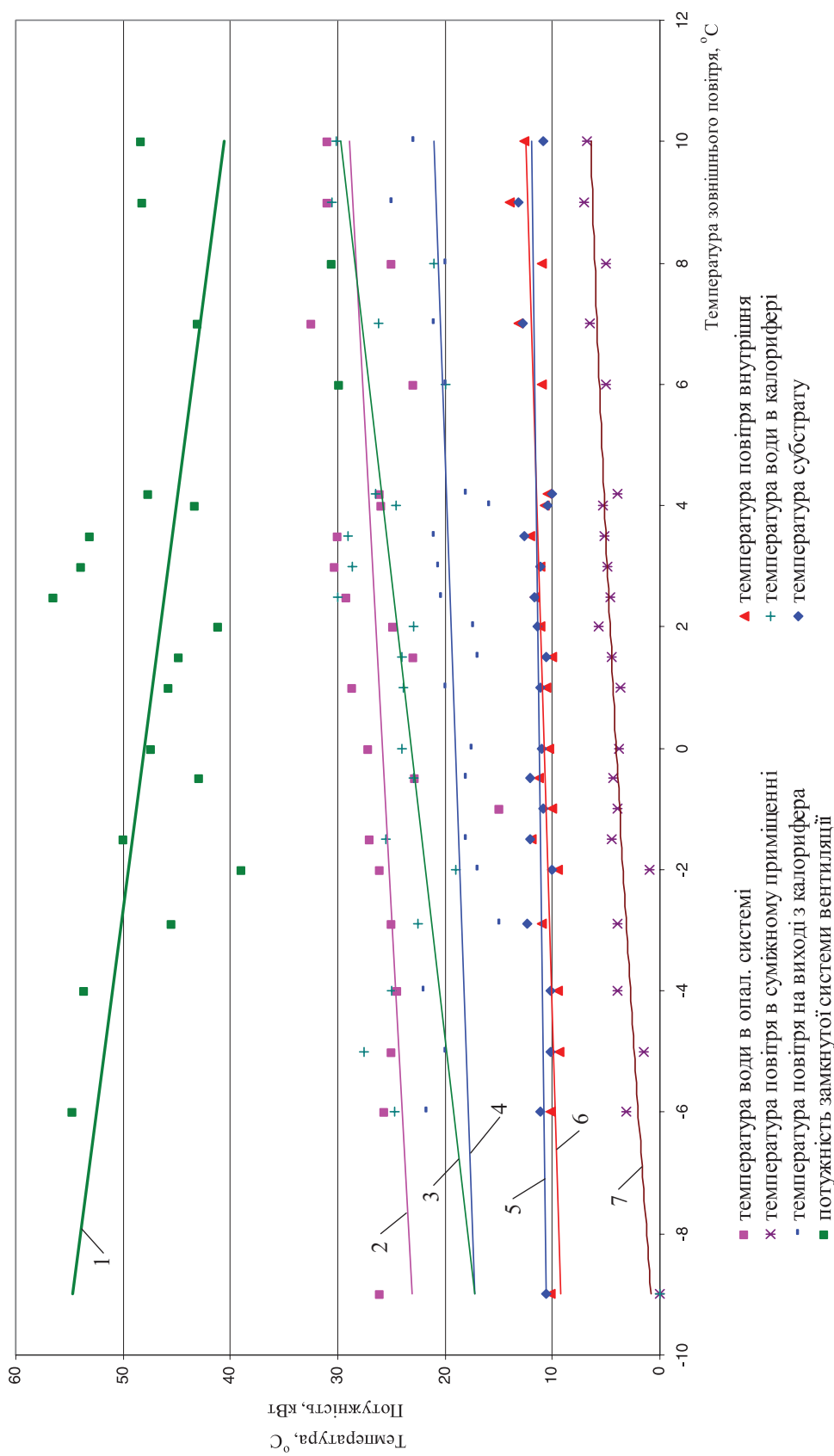


Рис. IV.9 – Параметри грибниці в розімкнутій системі вентиляції: 1 – потужність розімкнутої системи вентиляції; 2 – температура води в опалювальній системі; 3 – температура води в калорифері; 4 – температура повітря на виході з калорифера; 5 – температура субстрагу; 6 – температура повітря внутрішня; 7 – температура повітря в суміжному приміщенні

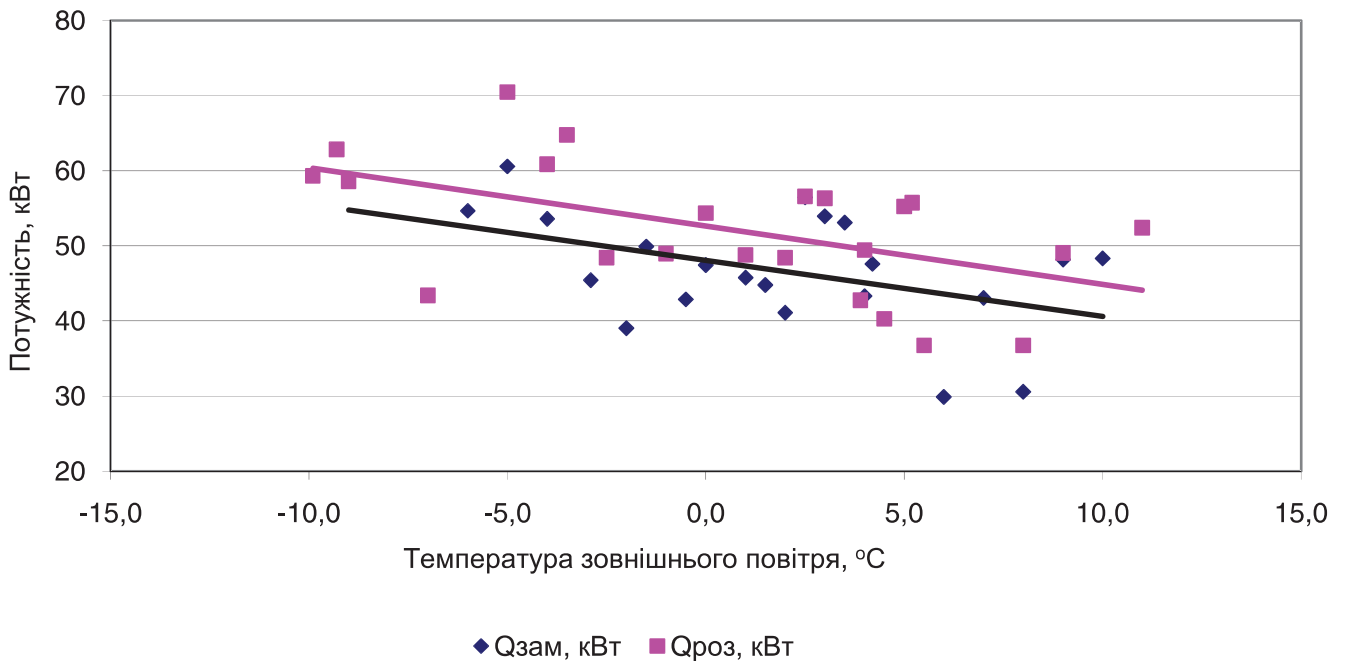


Рис. IV.10 – Потужність грибниці в замкнутій і розімкнутій системах вентиляції

### 2.3. Резюме по розділу 2

1. Розроблено методику інженерного розрахунку замкнутої системи вентиляції, яка включає в себе: розрахунок теплових балансів приміщень в замкнутій системі вентиляції; гідравлічний розрахунок повітроводів; розрахунок продуктивності теплового насоса в ЗСВ.

2. Обґрунтована ефективність використання ТН в системах вентиляції споруд закритого ґрунту. Так, при коефіцієнті утилізації тепла від 2 до 3,5 відн. од., ТН можуть бути використані лише для модернізації систем вентиляції та опалення з електрокотлами.

3. Модернізація опалювально-вентиляційних систем на природному газі може проводитися при використанні ТН вартістю не більше 1700 грн./кВт встановленої потужності. Подальші перспективи використання ТН будуть визначатися темпами подорожчання енергоносіїв, та необхідністю переходу на підтримання в СЗГ із високопродуктивним штамами нормативних параметрів повітрообміну.

4. Виробнича перевірка проводилась у виробничому приміщенні ТОВ “Славута” Білоцерківського району Київської області. Результати перевірки показали, що використання ЗСВ в СЗГ дозволило зменшити витрати теплової енергії на 4032 кВт год. (10,7 %), економічний ефект склав 4680 грн. при терміні окупності 0,64 року.

## РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНІ ПРОПОЗИЦІЇ ПО ВИРОБНИЦТВУ СУБСТРАТІВ І ГРИБІВ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРЕВІРКИ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ У ВИРОБНИЦТВІ

### 3.1. Етапи формування технічних пропозицій та проектних рішень

Матеріальною основою для виробництва їстівних грибів у сільськогосподарському підприємстві є наявність ресурсів соломи та пташиного посліду при виробництві печериць або соломи та лушпиння соняшника при виробництві гливи звичайної, а також таких споруд, як овочесховища, підвали, незадіяні приміщення для утримання худоби, свиней та птиці.

Приміщення зі значною площею мають бути розділені на декілька культиваційних приміщень із місткістю від 10 до 20 т при вирощуванні гливи звичайної. При цьому повинні бути передбачені зони завантаження й розвантаження субстрату та зона надходження виробленої продукції – грибів.

Річний запас соломи для виробництва гливи звичайної визначається:

$$C_G = \frac{n_{КП} Q_C n_{ДН} n_{МІС} (1 - W_{СВ}) (1 - k_{ЛС})}{k_{ВС}^Г n_{Ц}^Г (1 - W_C)}, \quad (IV.30)$$

де  $C_G$  – річний запас соломи для виробництва гливи звичайної, т;

$n_{КП}$  – кількість культиваційних приміщень, шт.;

$Q_C$  – кількість субстрату в культиваційному приміщенні, т;

$n_{ДН}$  – кількість днів в одному місяці, днів/міс.;

$n_{МІС}$  – кількість місяців в одному році, в яких вирощуються гриби, міс./рік;

$n_{Ц}^Г$  – величина циклу вирощування гливи, днів;

$k_{ВС}^Г$  – коефіцієнт виходу субстрату із соломи для виробництва гливи, відносних од.;

$k_{ЛС}$  – співвідношення маси лушпиння соняшника та соломи в субстраті, відносних од.;

$W_{СБ}$  – вологість субстрату, відносних од.;

$W_{С}$  – вологість соломи, відносних од.

Річна потреба в лушпинні соняшника для виробництва гливи:

$$C_{Л} = k_{ЛС} C_{Г}, \quad (IV.31)$$

де  $C_{Л}$  – річний запас лушпиння соняшника, т.

Річне виробництво грибів становитиме:

$$Q_{Г} = k_{ВГ} \frac{n_{КП} Q_{С} n_{ДН} n_{МІС}}{n_{Ц}}, \quad (IV.32)$$

де  $Q_{Г}$  – річне виробництво грибів, т;

$k_{ВГ}$  – коефіцієнт виходу грибів від маси субстрату, відносних од.

Основні етапи впровадження виробництва їстівних грибів:

– розробка проекту та реконструкція існуючих споруд під культиваційні приміщення;

– виготовлення стелажів у культиваційних приміщеннях;

– обладнання культиваційних приміщень системою вентиляції та опалення;

– виробництво грибів у холодний та перехідний період року з використанням покупного субстрату;

– розробка проекту й будівництво камери пастеризації для виробництва субстрату;

– розробка проекту й будівництво лабораторії для виробництва посівного міцелію при вирощуванні гливи звичайної;

– обладнання системи вентиляції культиваційних приміщень холодильною машиною для забезпечення виробництва грибів у літній період року;

– розробка проекту й будівництво цеху переробки виробленої продукції.

Додержання приведеної етапності забезпечує послідовність введення в дію підприємства по виробництву грибів, знижує початкові капіталовкладення та дозволяє нарощувати продуктивність з одночасним освоєнням ринків збуту грибної продукції.

Опалювально-вентиляційне обладнання доцільно розміщувати за межами культиваційного приміщення, що забезпечить можливість його технічного обслуговування й ремонту, не порушуючи температурно-вологісного режиму. Схема системи вентиляції культиваційного приміщення приведена на рис. IV.11. Основна функція системи вентиляції – підтримання заданих параметрів мікроклімату в культиваційних приміщеннях під час вирощування грибів.

Основні етапи розбудови системи вентиляції культиваційного приміщення:

– установка повітропроводів, вентилятора та заслінок припливного та викидного повітря, що забезпечить можливість виробництва грибів у перехідний період;

– монтаж системи опалення та автономних водяних теплообмінників, що забезпечить можливість виробництва грибів також у зимовий період;

– монтаж центрального водяного теплообмінника, що забезпечить зменшення теплового навантаження на автономні водяні теплообмінники;

– монтаж системи охолодження води, що забезпечить можливість виробництва грибів також у літній період;

– монтаж системи зволоження повітря;

– установка центрального теплоутилізатора, що забезпечить можливість економії енергії на нагрів або охолодження повітря.

Під час роботи системи вентиляції суміш припливного і рециркуляційного повітря нагрівається або охолоджується, проходячи через автономний водяний теплообмінник та подається в розподільчі повітропроводи. Припливне зовнішнє повітря забирається через шахту, проходить повітряний фільтр, по розподільчому повітропроводі, який розміщений у технологічному коридорі, а потім через

заслінки припливного повітря подається на змішування з рециркуляційним повітрям культивацийних приміщень.

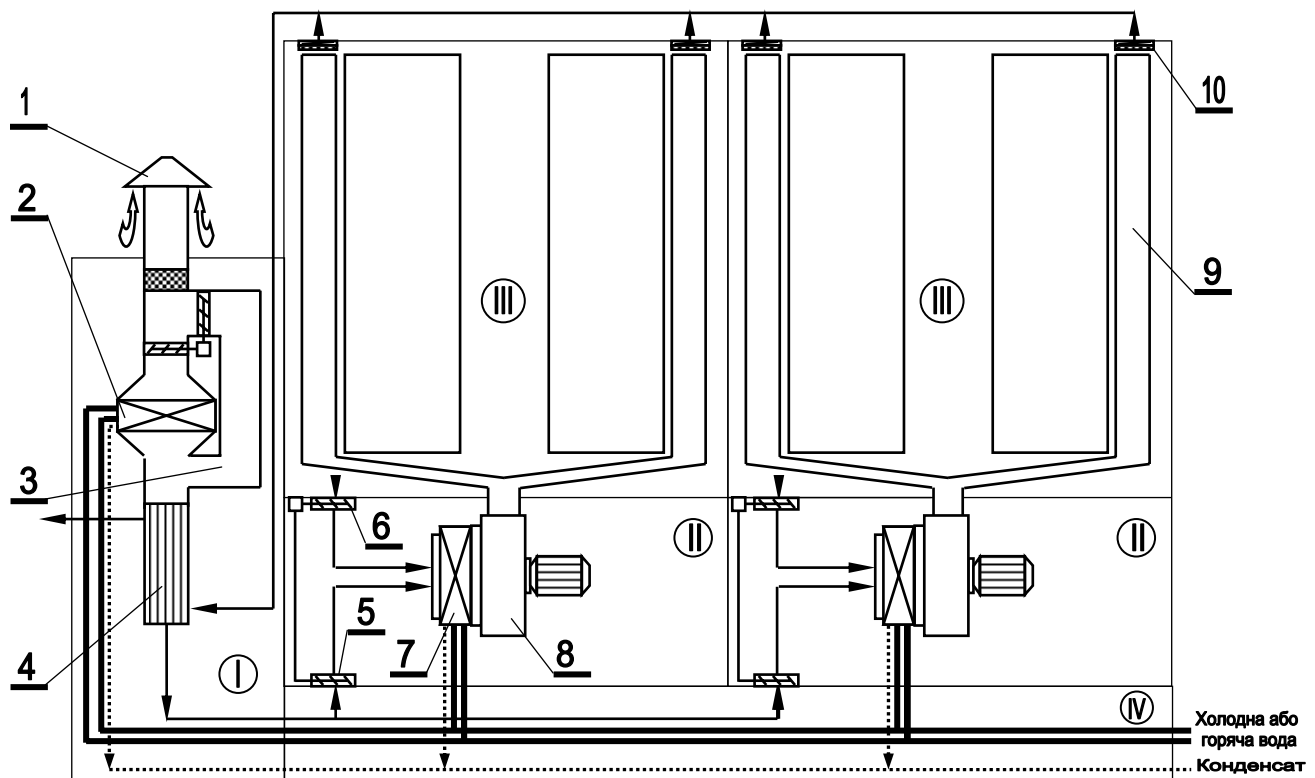


Рис. IV.11. – Схема вентиляції культивацийних приміщень для вирощування грибів: I – припливна камера; II – вентиляційна камера культивацийного приміщення; III – культивацийне приміщення; IV – технологічний коридор; 1 – припливна шахта з повітряним фільтром; 2 – центральний водяний теплообмінник; 3 – обвідний канал; 4 – центральний теплоутилізатор; 5, 6 – заслінка припливного та рециркуляційного повітря; 7 – автономний водяний теплообмінник; 8 – вентилятор; 9 – повітропровід; 10 – клапан викидного повітря з фільтром

Викидне вентиляційне повітря через повітряні фільтри та клапани викидного повітря надходить у центральний теплоутилізатор, а потім у навколишнє середовище.

Управління системою вентиляції культивацийного приміщення проводиться згідно функціональної схеми управління (рис. IV.12) відповідно до заданого алгоритму (рис. IV.13).

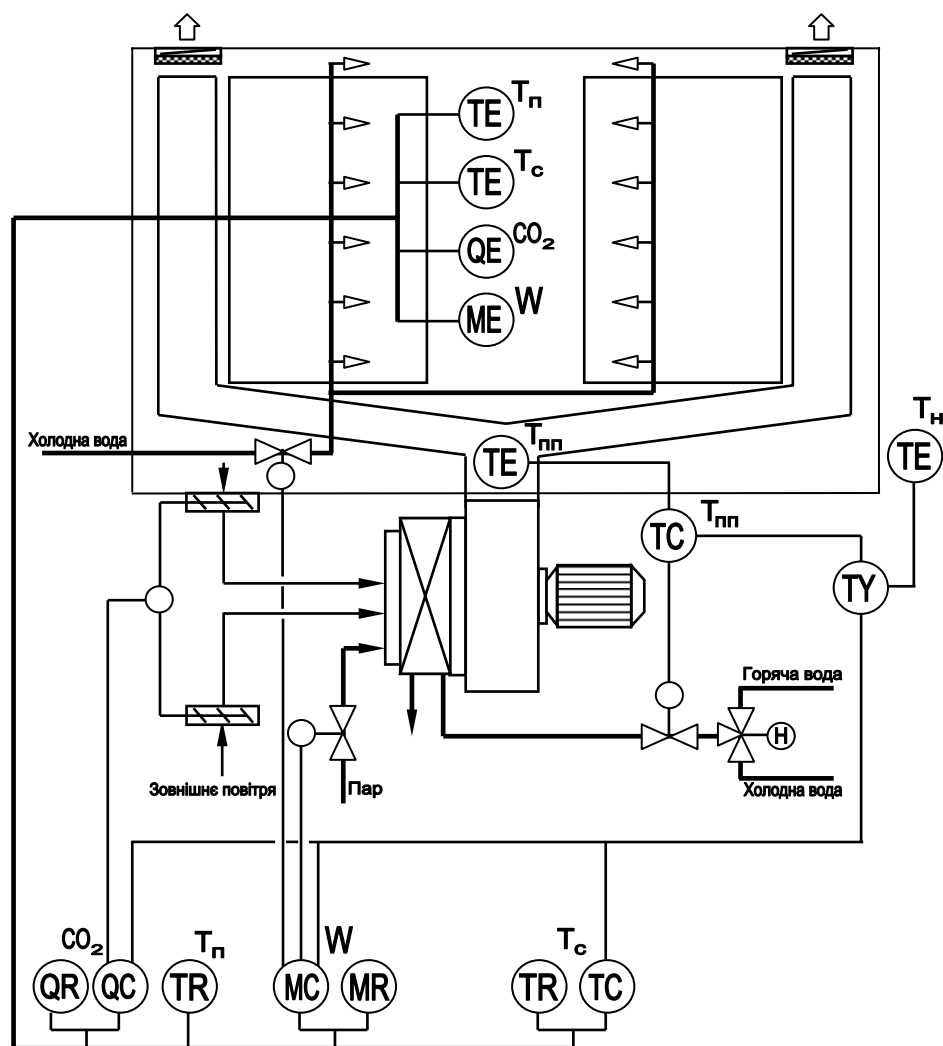


Рис. IV.12 – Функціональна схема управління системою вентиляції культивацийного приміщення для вирощування грибів: TE – датчик температури субстрату, внутрішнього, припливного та зовнішнього повітря; ME – датчик вологості повітря; QE – датчик концентрації вуглекислоти; TR, QR, MR – реєстратор температури субстрату, повітря, концентрації вуглекислоти та вологості повітря; TC, MC, QC – регулятор температури припливного повітря, субстрату, вологості повітря та концентрації вуглекислого газу; TY – пристрій для обчислення значення температури припливного повітря в залежності від температури субстрату та зовнішнього повітря

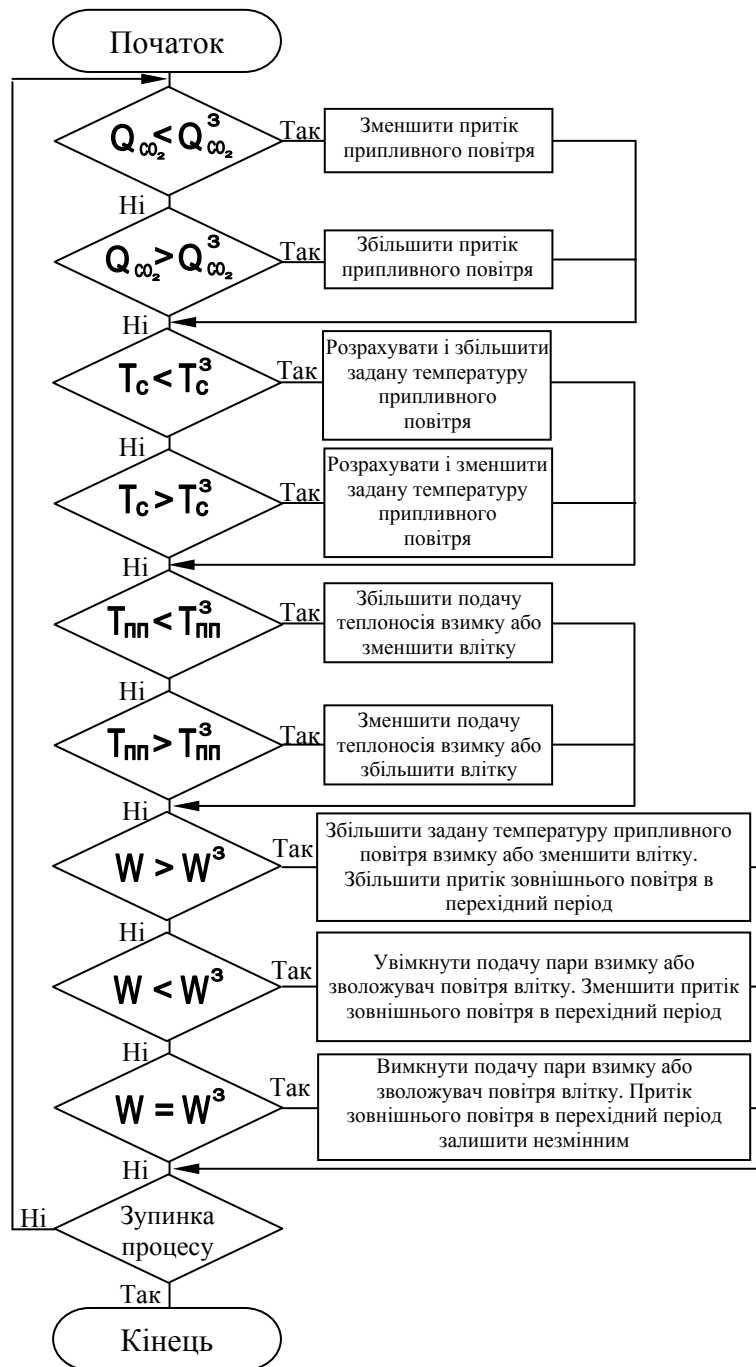


Рис. IV.13 – Алгоритм управління мікрокліматом культивацийного приміщення для вирощування грибів

Основні етапи впровадження технічних засобів для автоматизації системи вентиляції культивацийного приміщення:

- монтаж системи реєстрації значень температури субстрату й повітря та вологості повітря;

- монтаж системи автоматичного регулювання температури припливного повітря;
- монтаж системи автоматичного регулювання концентрації вуглекислого газу в повітрі культиваційного приміщення;
- монтаж системи автоматичного регулювання вологості повітря;
- розробка й монтаж системи автоматичного управління мікрокліматом культиваційного приміщення на основі засобів обчислювальної техніки.

### **3.2. Технологічний процес виробництва субстрату для вирощування гливи методом ферментації в пастеризаційній камері**

В залежності від обсягів субстрату та наявності відповідного технічного обладнання застосовують наступні способи виробництва субстрату: гідротермічний, ксеротермічний та пастеризацію із ферментацією. Термообробка соломистих субстратів проводиться з метою знищення нематод, кліщів, грибних мух та комарів, хвороботворних грибів та їх спор.

Гідротермічним способом виробляють субстрати обсягом партії не більше ніж 1 т. Обробку соломи проводять в герметичних ємностях, шляхом його заливання водою з температурою від 80 до 90 °С.

Ксеротермічним способом виробляють субстрати обсягом партії до 10 т. Процес здійснюють в герметичних ємностях, шляхом розігріву соломи водяною парою з послідуочим замочуванням водою.

Пастеризацію із ферментацією застосовують для виробництва субстрату обсягом партії від 10 т і більше, в спеціально обладнаних пастеризаційних камерах методом розігріву водяною парою, ферментацією та охолодженням повітрям. Вихід субстрату для вирощування гливи із 1 т соломи становить від 3,0 до 3,5 т. Пастеризація забезпечується підтриманням температури від 58 до 60 °С та 100 % вологості повітря протягом часу від 8 до 16 годин. В таких умовах залишаються існувати тільки деякі види термофільних мікроорганізмів, які в подальшому забезпечують розклад органічної речовини. Під час ферментації

створюються умови для відновлення та активної життєдіяльності термофільних мікроорганізмів, які асимілюють аміак та перетворюють його в білкові сполуки.

Під час виробництва субстрату в закритих пастеризаційних камерах, зволожену соломку вкладають не ущільненим рівномірним шаром висотою від 2,0 до 2,2 м та продувають повітрям, що забезпечує видалення продуктів життєдіяльності термофільних мікроорганізмів та збагачує їх киснем [83].

Виробництво субстрату в пастеризаційних камерах забезпечується із меншими витратами теплової енергії, оскільки зволожена соломка здатна до саморозігріву. Крім того, субстрат нагрівають до меншої температури порівняно з гідротермічним способом термічної обробки. Порівняно із ксеротермічним способом виробництва субстрату, який потребує використання герметичних ємностей для заливання соломи водою і який не може забезпечити виробництво субстрату в значних обсягах із-за низької щільності сухої соломи, використання пастеризаційних камер, незважаючи на необхідність попереднього зволоження соломи, забезпечує виробництво субстрату в обсягах достатніх для одночасного повного завантаження одного із декількох культиваційних приміщень, що послідовно завантажуються субстратом.

Отже, переваги використання закритих пастеризаційних камер для пастеризації із наступною ферментацією порівняно з термічною обробкою гідротермічним та ксеротермічним способами, обумовили більш широке використання пастеризаційних камер при виробництві субстрату для вирощування гливи у значних обсягах.

Для виробництва субстрату використовують рослинну сировину (соломку злакових культур, соняшникове та гречане лушпиння, стебла і стержні кукурудзи та інше), органічні (солодові ростки, висівки пшеничні, шрот соняшниковий, шрот соєвий та інше) та мінеральні добавки (карбамід, суперфосфат, вапняк, гіпс, крейду та інше). Перелік можливих варіантів складу субстрату приведений в табл. IV.5.

Таблиця IV.5 – Варіанти складу субстрату для вирощування гливи

№ п/п	Найменування компонентів	Співвідношення компонентів, %
1	Пшенична солома + вапняк + гіпс	80+10+10
2	Лушпиння соняшнику + шрот сої + крейда	80+5+5
3	Лушпиння соняшнику + висівки пшениці + гіпс + карбамід	85+10+4,5+0,5
4	Солома пшенична + соняшникове лушпиння + висівки пшеничні + вапняк	50+30+8+2
5	Солома пшенична + стержні кукурудзяних качанів + висівки пшеничні + карбамід + гіпс	60+20+9,5+0,5+10

Рослинна сировина і органічні добавки повинні бути чистими, без сторонніх домішок, не ушкоджені хворобами. Вміст вуглецю в рослинних компонентах повинен бути не нижчий ніж 40 % від вмісту сухої речовини. В органічних азотних добавках вміст загального азоту повинен бути не нижчий ніж 6 % від вмісту сухої речовини.

До складу субстрату повинні входити рослинні компоненти, вміст яких має становити від 70 до 90 %, органічні азотні добавки від 5 до 15 %, мінеральні добавки (гіпс, вапняк, крейда) від 1 до 5 %, суперфосфату до 0,5 %, карбаміду до 0,5 %.

Перед початком виробництва партії субстрату, проводять агрохімічний аналіз компонентів та органічних добавок стосовно визначення вмісту в них поживних елементів (вуглецю, азоту, фосфору, калію, кальцію). Для мінеральних добавок агрохімічний аналіз не проводять, вміст поживних елементів в них визначають за нормативними показниками. Розрахунок кількості компонентів та добавок для субстрату проводять з урахуванням вмісту в них поживних елементів, згідно з СОУ 01.1-37-258:2005.

Компоненти для субстрату, крім дрібно структурних (лушпиння соняшнику, гречки), у випадку ручного пакування у мішки чи блоки, подрібнюють до розміру від 1 до 3 см.

Підготовка субстрату включає зволоження рослинної сировини та термічну обробку субстрату. Рослинні компоненти субстрату зволожують до вологості від

70 до 75 % на майданчиках з водозбірником, для чого соломі рівномірно укладають на майданчик та заливають водою, яку подають насосом (рис. IV.14). Тривалість зволоження становить до 3 діб, після чого воду з басейну зливають у водозбірник, а до соломи додають органічні і мінеральні добавки, які рівномірно розподіляють по об'єму. Для зволоження 1 т рослинної сировини витрачають від 3 до 4 т води згідно з ГОСТ 2874-82. Температура води має становити в межах від 10 до 30 °С.

В подальшому зволожену соломі укладають у бурти висотою до 2 м та шириною до 3 м, де відбувається самозігрівання її до температури від 45 до 65 °С.

Термічна обробка соломи в буртах проходить від 3 до 5 діб з метою видалення воскового шару та забезпечення її попереднього мікробіологічного розкладу.

Для знезараження субстрату від мікроорганізмів та підвищення його якості проводять термічну обробку. Одним із способів термічної обробки субстрату є пастеризація, яку проводять у спеціальних пастеризаційних камерах. Пастеризаційна камера являє собою продовгувате, термічно ізольоване приміщення шириною від 2,5 до 5 м, де стіни, стеля та підлога паронепроникні. У камері, на висоті від 40 до 60 см від підлоги, розміщують дерев'яну або металеву решітку. Верхня та нижні частини камери з'єднані термічно ізольованим повітропроводом, розміщеним з зовнішньої сторони. В нижній частині повітропроводу знаходиться вентилятор, який забезпечує рециркуляцію внутрішнього повітря (перекачує не менше 200 м<sup>3</sup> повітря на 1 м<sup>3</sup> субстрату за годину). Цей же вентилятор забезпечує подачу свіжого фільтрованого повітря, яке поступає до субстрату через вхідний патрубок вентилятора. Зайве повітря з камери викидається в атмосферу через канал витяжної вентиляції. Завантаження та вивантаження субстрату здійснюють через двері, які герметично закриваються. Пара подається від парогенератора, подача якого регулюється клапаном. У камері встановлюють датчики для контролю за температурою субстрату. Уведення пари низького тиску здійснюється безпосередньо в потік повітря, яке подається вентилятором.

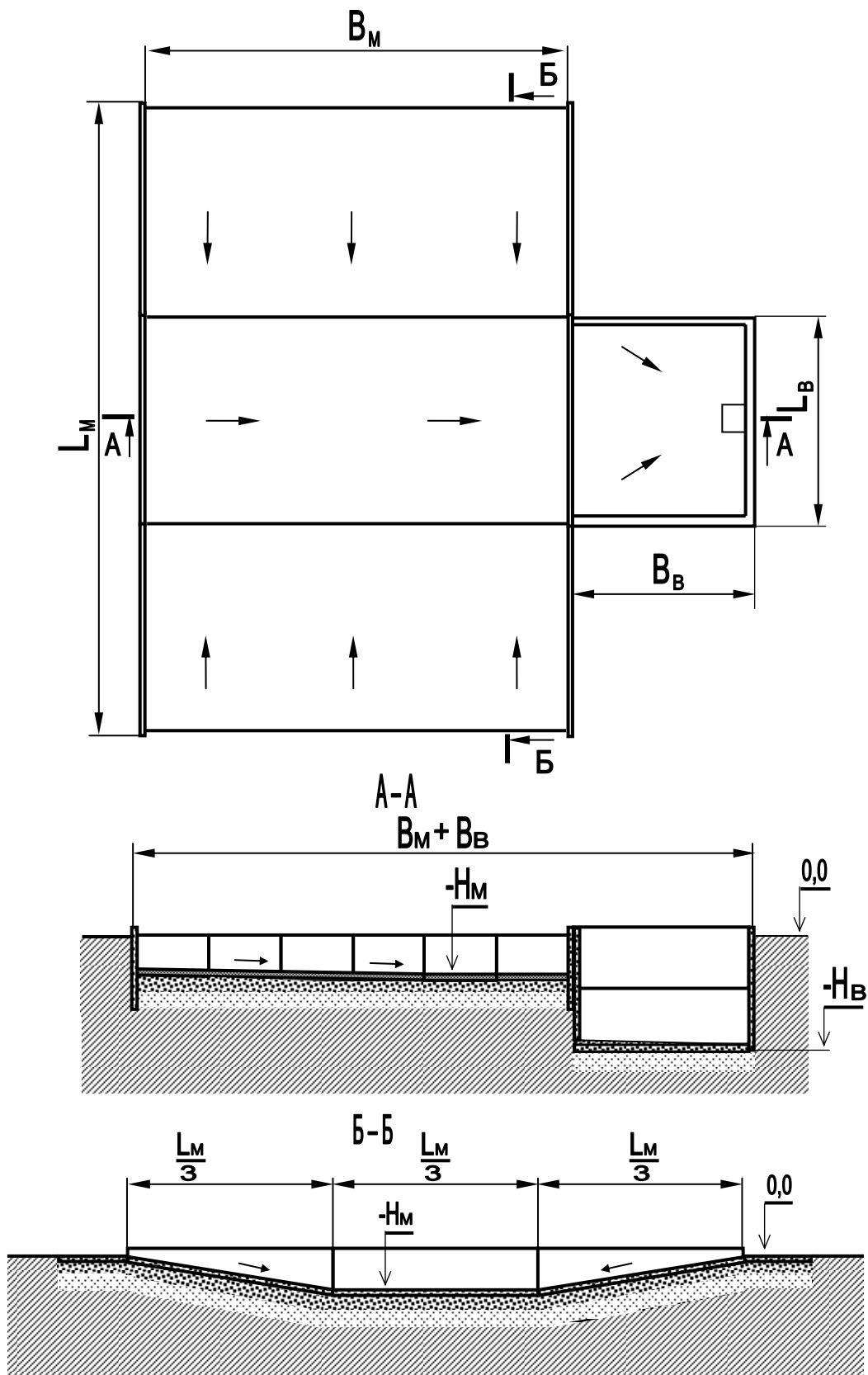


Рис. IV.14 – Схема майданчика з водозабірником для замочування соломи

Для виробництва субстрату використовують солому, яка пройшла попередню ферментацію в буртах та має темно-коричневий колір і крихку структуру. Субстрат, після завантаження до пастеризаційної камери, поступово, протягом 10–12 годин нагрівають паром, яка поступає від парогенератора, до температури від 60 до 62 °С, при цьому витрата пари на 1 т субстрату становить до 10 кг. Під час наповнення камери, в субстраті, під підлогою та над ним розміщують датчики дистанційного контролю температури. При наявності значних розбіжностей показників температури, які фіксують ці датчики, її вирівнюють шляхом рециркуляції повітря.

Після розігріву субстрату паром, протягом наступних 12 годин проводять його пастеризацію. Температура субстрату, при якій здійснюється пастеризація, становить від 58 до 60 °С. Завдяки посиленню мікробіологічних процесів, які проходять з виділенням тепла, досягають температури пастеризації при подачі повітря, що забезпечує концентрацію вуглекислого газу не більше 30000 ppm [16]. Важливо, щоб під час пастеризації різниця в значеннях температури субстрату в різних місцях не перевищувала величини від 1 до 2 °С [181]. За допомогою вентилятора забезпечують подачу свіжого повітря в об'ємі від 15 до 20 м<sup>3</sup>/год. на 1 т субстрату. В таких умовах виживають лише деякі види термофільних мікроорганізмів, які забезпечують подальший розклад органічної речовини під час ферментації в контрольованих умовах. У процесі пастеризації важливо не допустити перевищення термінів її проведення, оскільки в такому випадку можуть загинути не тільки спори цвілей, а й спори корисних захисних термофільних мікроорганізмів.

По закінченню пастеризації субстрату проводять його охолодження до температури від 50 до 53 °С шляхом збільшення подачі свіжого повітря до 100 м<sup>3</sup>/год. на 1 т субстрату, а потім переходять до ферментації. Можливе також закінчення процесу термообробки і повне охолодження субстрату без проведення ферментації. Однак, такий спосіб термообробки можливий при використанні для виробництва субстрату свіжої та якісної соломи.

Мета ферментації – частково розкласти органічні речовини з одночасним синтезом біомаси термофільних мікроорганізмів, що забезпечує накопичення білкового азоту, дозволяє одержати однорідний по структурі та якості субстрат. Загальновідомо, що на рослинній сировині в значній кількості знаходяться цвілі, які після зволоження рослинної сировини починають активно розмножатися та створювати конкуренцію розвитку міцелію гливи. У рослинній сировині містяться також мікроорганізми, які є антагоністами цвілей, а тому необхідно під час ферментації створити умови, сприятливі для розвитку цих захисних мікроорганізмів. Наявність захисних властивостей термофільних мікроорганізмів дозволяє проводити інокуляцію субстрату в нестерильних умовах. Після охолодження субстрату відмерлі тіла захисних термофільних мікроорганізмів стають основою для поширення міцелію гливи в субстраті [97]. Домінуюча група мікроорганізмів в субстраті під час кондиціювання – термофільні актиноміцети. Поступове і рівномірне зниження температури під час ферментації забезпечує їх високу активність. Тому в цей час важливо не допускати різких коливань температури субстрату. Частина аміаку під час ферментації викидається в атмосферу при вентиляванні камери, а інша – асимілюється мікроорганізмами з перетворенням у білкові сполуки. Субстрат втрачає також частину води за рахунок випаровування, а також частину органічної речовини, яка витрачається на енергетичні процеси з виділенням кінцевих продуктів життєдіяльності мікрофлори у вигляді вуглекислого газу, води і тепла [181].

Під час ферментації субстрату температура повітря в камері знижується до 48 °С та забезпечується за допомогою вентилятора стійка рециркуляція повітря. Окрім цього в камеру подають свіже відфільтроване повітря в кількості від 50 до 60 м<sup>3</sup>/год. на 1 т субстрату. В цих умовах різкі коливання температури субстрату не допускаються. Тривалість ферментації субстрату становить до 60 годин. При скороченні тривалості термінів ферментації субстрату не виключається можливість збереження спор цвілей, які в подальшому, конкуруючи за поживні речовини субстрату, блокують розвиток міцелію гливи.

Після ферментації збільшують подачу свіжого повітря для охолодження внутрішнього повітря та субстрату до температури від 26 до 30 °С, протягом часу від 10 до 12 годин, об'єм подачі свіжого повітря при цьому повинен становити від 100 до 150 м<sup>3</sup>/год. на 1 т субстрату. Для запобігання осушення субстрату під час охолодження у повітря подають водяну пару.

Після термічної обробки субстрат інокують посівним міцелієм та пакують у перфоровані поліетиленові мішки. Для соломистого субстрату рекомендується використовувати мішки, з такими параметрами: діаметр від 0,2 до 0,4 м, висота від 0,6 до 0,8 м, місткість від 10 до 20 кг субстрату [83, 116].

Послідовність виконання технологічних операцій при виробництві субстрату, тривалість та основні вимоги до їх виконання наведено в табл. IV.6.

Таблиця IV.6 – Технологічні операції виробництва субстрату та вимоги до їх виконання

Назва технологічної операції	Тривалість операції, год.	Основні вимоги (норми, параметри)
1	2	3
Зволоження соломи	до 72	Солому звожують до вологості від 75 до 80 %. Витрата води – від 3 до 4 т на 1 т соломи. Температура води – від 10 до 30 °С.
Укладання зволоженої соломи у бурти	72-120	Укладання соломи у бурти висотою до 2 м та шириною до 3 м, з послідуочим розігрівом у буртах до температури від 45 до 65 °С.
Наповнення камери субстратом	до 8	Укладання субстрату вирівняним шаром висотою від 2,0 до 2,5 м. Вологість субстрату від 70 до 75 %.
Розігрів субстрату водяною парою	10-12	Температура повітря від 60 до 62 °С. Концентрація вуглекислого газу не більше 2 %. Витрата пару до 10 кг на 1 т субстрату.
Пастеризація субстрату	до 12	Температура пастеризації від 58 до 60 °С, концентрація вуглекислого газу не більше 30000 ppm, різниця в значеннях температури над субстратом та під ним, а також по його висоті від 1 до 2 °С. Об'єм свіжого повітря від 15 до 20 м <sup>3</sup> /год. на 1 т субстрату.

1	2	3
Охолодження субстрату після пастеризації	15-20	Кінцева температура від 50 до 53 °С. Об'єм подачі свіжого повітря 100 м <sup>3</sup> /год. на 1 т субстрату.
Ферментація субстрату	до 60*	Зниження температури субстрату до 48 °С на величину від 1 до 2 °С за добу, різкі коливання температури субстрату не допускаються. Об'єм подачі свіжого повітря від 50 до 60 м <sup>3</sup> /год. на 1 т субстрату.
Охолодження субстрату після ферментації	12	Зниження температури від 48 до 26 °С. Об'єм подачі свіжого повітря від 100 до 150 м <sup>3</sup> /год. на 1 т субстрату.
Розвантаження камери, внесення міцелію та пакування субстрату в мішки	до 8	Вологість готового субстрату від 70 до 75 %, колір темно-коричневий із сірувато-білим відтінком, структура субстрату повинна бути однорідна.

\* – значення тривалості ферментації субстрату на практиці, як правило, вибирають для кожного конкретного випадку в залежності від якості соломи аж до її повного виключення із процесу термообробки

Вміст поживних елементів у рослинній сировині та органічних і мінеральних добавках повинен відповідати даним таблиці IV.7 [16].

Субстрат для вирощування гливи повинен бути однорідної рихлої структури вологістю від 70 до 75 %, вміст поживних речовин повинен становити (у % до кількості сухої речовини): вуглецю (С) не менше ніж 40, загального азоту (N) від 1,0 до 1,2, фосфору (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) від 0,8 до 1,5, калію (K<sub>2</sub>O) від 0,8 до 1,6, кальцію від 2,0 до 2,5, рН від 7,0 до 8,5. А також не повинен містити нематод кліщів, грибних мух та комарів, хвороботворних грибів та їх спор.

Інокуляцію субстрату зерновим міцелієм (міцелій гливи, що розрісся на підготовленому зерні пшениці) проводять із розрахунку 5 % від маси субстрату. Міцелій виготовляють в мікологічних лабораторіях і зберігають при температурі від 2 до 4 °С. Термін зберігання міцелію не повинен перевищувати 3 місяці.

Зміна значень температури повітря й субстрату та об'єму вентиляції під час пастеризації та повної ферментації субстрату зображена на рис. IV.15 [116, 51].

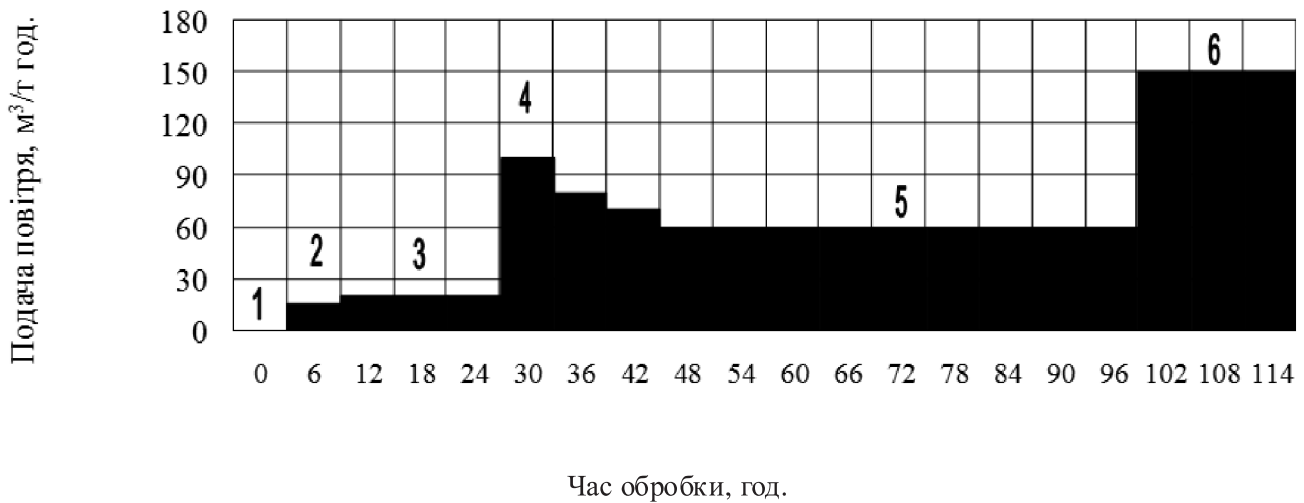
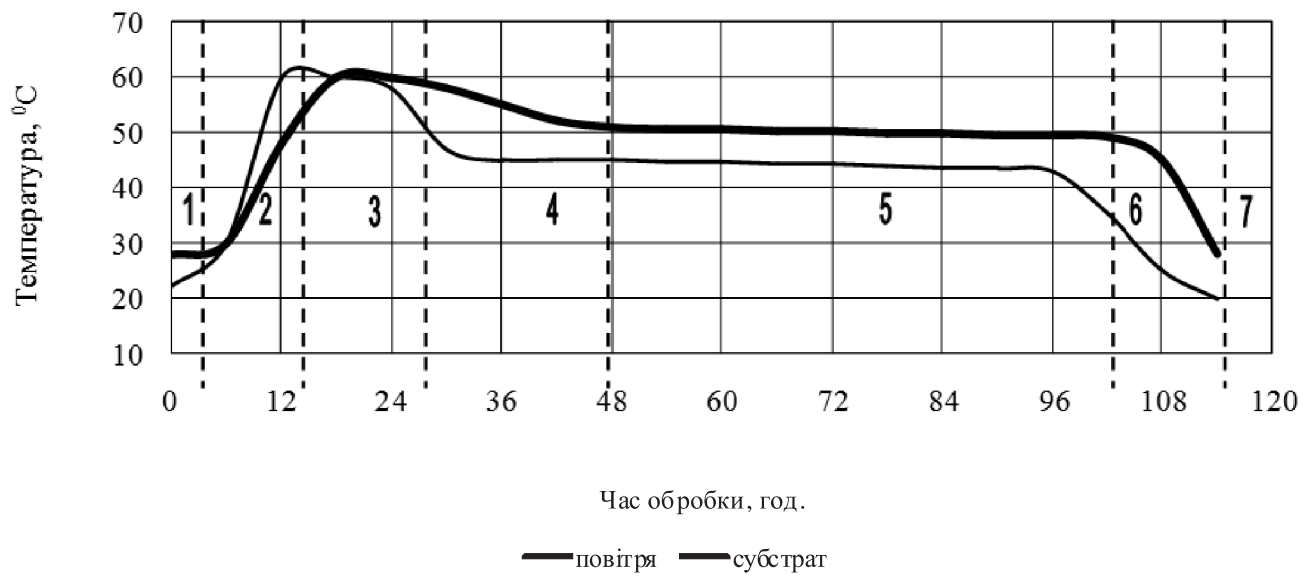


Рис. IV.15 – Орієнтовні значення температури повітря і субстрату та об'єму вентиляції камери під час пастеризації та ферментації субстрату для вирощування гливи: 1 – заповнення камери субстратом; 2 – розігрів субстрату до температури пастеризації; 3 – пастеризація субстрату; 4 – охолодження субстрату після пастеризації; 5 – ферментація субстрату; 6 – охолодження субстрату після ферментації; 7 – розвантаження камери, внесення міцелію та пакування субстрату в мішки

Готовий до використання міцелій повинен мати білий колір і приємний запах. До кожної партії міцелію повинен додаватися паспорт – сертифікат, який

включає назву штаму, дату посіву, коротку характеристику (вимоги до параметрів мікроклімату культиваційних приміщень при розростанні міцелію й плодоношенні грибів та інші параметри вирощування грибів), дату реалізації міцелію, реквізити підприємства виробника міцелію.

Таблиця IV.7 – Вміст поживних елементів у рослинній сировині та органічних і мінеральних добавках

Назва компонентів і добавок	Вміст поживних елементів, % на с. р.					
	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	вологість
Рослинна сировина						
Солома пшениці	45-52	0,5-0,8	0,2-0,3	0,8-1,0	0,3-0,5	10-12
Солома ячменю	42-48	0,4-0,6	0,2-0,3	0,8-1,2	0,3-0,6	10-12
Стебла і стержні качанів кукурудзи	61-68	0,4-0,6	0,4-0,6	1,0-1,4	0,5-0,9	10-12
Корзинки й лушпиння соняшника	51-58	0,4-0,7	0,8-1,0	2,1-3,0	1,6-1,9	10-12
Лушпиння гречки	46-50	0,3-0,5	0,8-1,2	2,0-2,9	0,9-1,4	10-12
Органічні добавки						
Солодові ростки	53-60	12-15	0,8-1,3	1,0-1,8	0,6-0,9	3-5
Висівки пшениці	48-50	6,6-8,0	0,6-1,0	1,2-1,5	1,4-1,8	8-10
Шрот соняшниковий	26-33	32-35	5,6-6,8	4,3-5,1	1,1-1,5	15-20
Шрот соєвий	22-26	36-42	4,8-5,9	3,5-5,0	0,9-1,2	15-20
Мінеральні добавки						
Вапняк (CaCO <sub>3</sub> )	-	-	-	-	42-44	7-10
Гіпс (CaSO <sub>4</sub> )	-	-	-	-	23-27	3-5
Крейда (CaO)	-	-	-	-	40-42	5-7
Карбамід	-	45,5	-	-	-	0,3
Суперфосфат	-	-	14-20	-	-	4-5

Існують зимові штами гливи, для плодоношення яких необхідний холодний шок (від 1 до 2 днів при температурі від 0 до 2 °C), а саме плодоношення проходить при температурі від 10 до 14 °C; проміжні – плодоносять при температурі від 5 до 20 °C без холодного шоку, літні – плодоносять при температурі від 16 до 25 °C без холодного шоку.

Для виробництва субстрату необхідна наявність закритої пастеризаційної камери. Це споруда, яка виконується з бетонних блоків та панелей перекриття, має достатнє утеплення огорожуючих конструкцій, спеціальну конструкцію

підлоги та вентиляційну камеру. Один із варіантів виконання закритої пастеризаційної камери, для виробництва субстрату в обсязі від 10 до 15 т, приведений на рис. IV.16 - IV.17. Обладнання закритої пастеризаційної камери складається із припливного розтрубу 1, повітряного фільтра 2, припливної 3 та рециркуляційної 4 заслінок, припливного повітропроводу 5, вентилятора 6, розтрубу 7, відкидного клапану 8, викидного повітропроводу 9, дощатої перегородки 10, герметичних утеплених воріт 11, дверей 12, підлоги 13, поліпропіленової сітки 14, стічної труби 15, шківів 16, пасів 17 та електродвигуна 18.

Основні вимоги до виконання пастеризаційної камери наступні [16, 97]:

– теплопровідність стін і стелі пастеризаційної камери повинна становити не більше  $0,4 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; підлога камери пастеризації виконується із дерев'яних дощок укладених на відстані від 2 до 4 см одна від другої, при цьому сумарний переріз щілин повинен становити 30 % від загальної площі підлоги; для забезпечення вивантаження субстрату та попередження забруднення повітропроводів і вентиляційного каналу підлогу покривають поліпропіленовою сіткою;

– під решітчастою підлогою обладнують вентиляційний канал, який повинен мати нахил 1:50 (після першого метра) в сторону, де встановлюють патрубків для подачі повітря, а також знаходиться каналізаційний отвір для зливу води. Вентиляційний канал повинен займати всю ширину камери;

– камера повинна мати герметичні ворота для завантаження соломи й вивантаження субстрату. Перед воротами встановлюють дерев'яний щит для недопущення контакту субстрату із воротами;

– в одному блоці з камерою будують приміщення вентиляційної камери, коридор для вивантаження субстрату, приміщення для установки електрообладнання та приладів контролю і управління;

– камеру пастеризації обладнують вентилятором, який подає повітря з розрахунку на тонну субстрату від 100 до  $150 \text{ м}^3/\text{год}$ . і статичний тиск від 1000 до 1300 Па (100–130 мм водяного стовпа). Повний аеродинамічний опір включає в себе опір шару субстрату, а також місцеві опори дифузора вентилятора, входу та

виходу повітропроводів в пастеризаційну камеру. Продуктивність вентилятора пастеризаційної камери визначається кількістю субстрату;

- при електрозварюванні повітропроводів, для уникнення втрат повітря, товщина стінок повітропроводів повинна становити не менше 2 мм. Вентилятор і вентиляційні канали утеплюють теплоізоляцією. Отвір для виходу повітря із камери пастеризації повинен бути оснащений клапаном-заслінкою, яка відкривається тоді, коли в камері над субстратом буде надлишковий тиск;

- розміри вхідного і вихідного отворів системи вентиляції повинні бути однаковими, а припливний і рециркуляційний клапани - щільно закриватися;

- припливне повітря перед подачею в систему вентиляції повинно проходити через фільтр (шар склотканини від 10 до 15 мм), який затримує частинки діаметром від 2 до 6 мікрон (грибні спори) із ефективністю 99,9 %;

- в камері пастеризації встановлюють два датчики температури повітря (у вентиляційному каналі та над субстратом), три датчики температури субстрату (через 50 см по висоті субстрату), а також датчики концентрації вуглекислого газу та кисню (у вентиляційному каналі).

Виробництво субстрату проводять згідно з технологічним регламентом (табл. IV.8) і починають його із зволоження соломи на спеціально змонтованих майданчиках з водозабірником. Після зволоження солону укладають на майданчику в бургт, де відбувається її самозігрівання. Після цього завантажують рослинну сировину на решітчасту підлогу закритої пастеризаційної камери. Перед наповненням камери на решітчасту підлогу вкладають поліпропіленову сітку, яку попередньо промивають та просушують.

Управління температурно-повітряним режимом закритої камери пастеризації проводять за допомогою вентиляційної установки на базі вентилятора із заслінками припливного та рециркуляційного повітря.

Основні недоліки в експлуатації пастеризаційної камери та методи їх усунення приведені в таблиці IV.9.

Готовий субстрат має однорідну структуру та темно-коричневий колір. Вологість готового субстрату від 70 до 75 %.

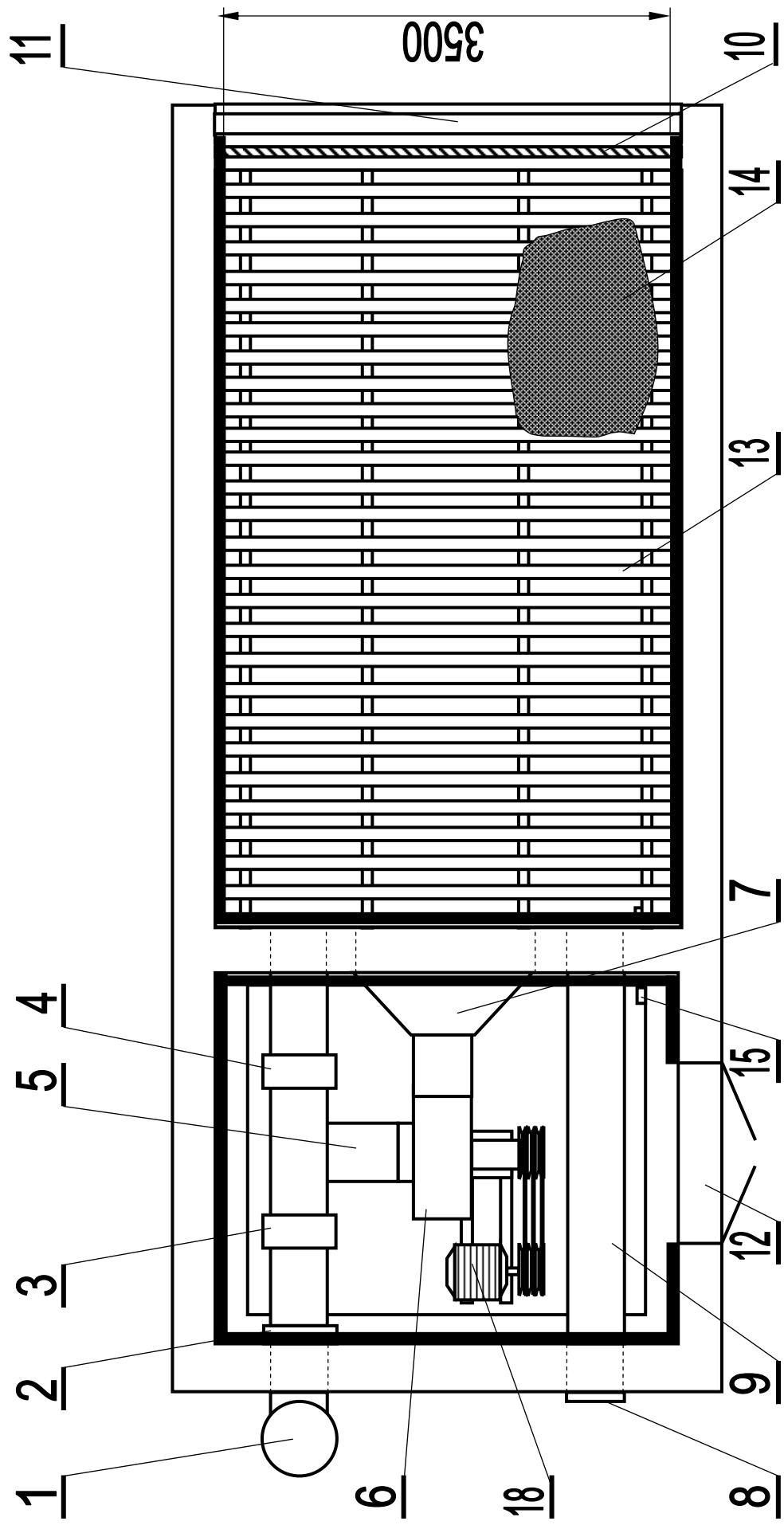


Рис. IV.16 – План розміщення обладнання в закритій камері пастеризації

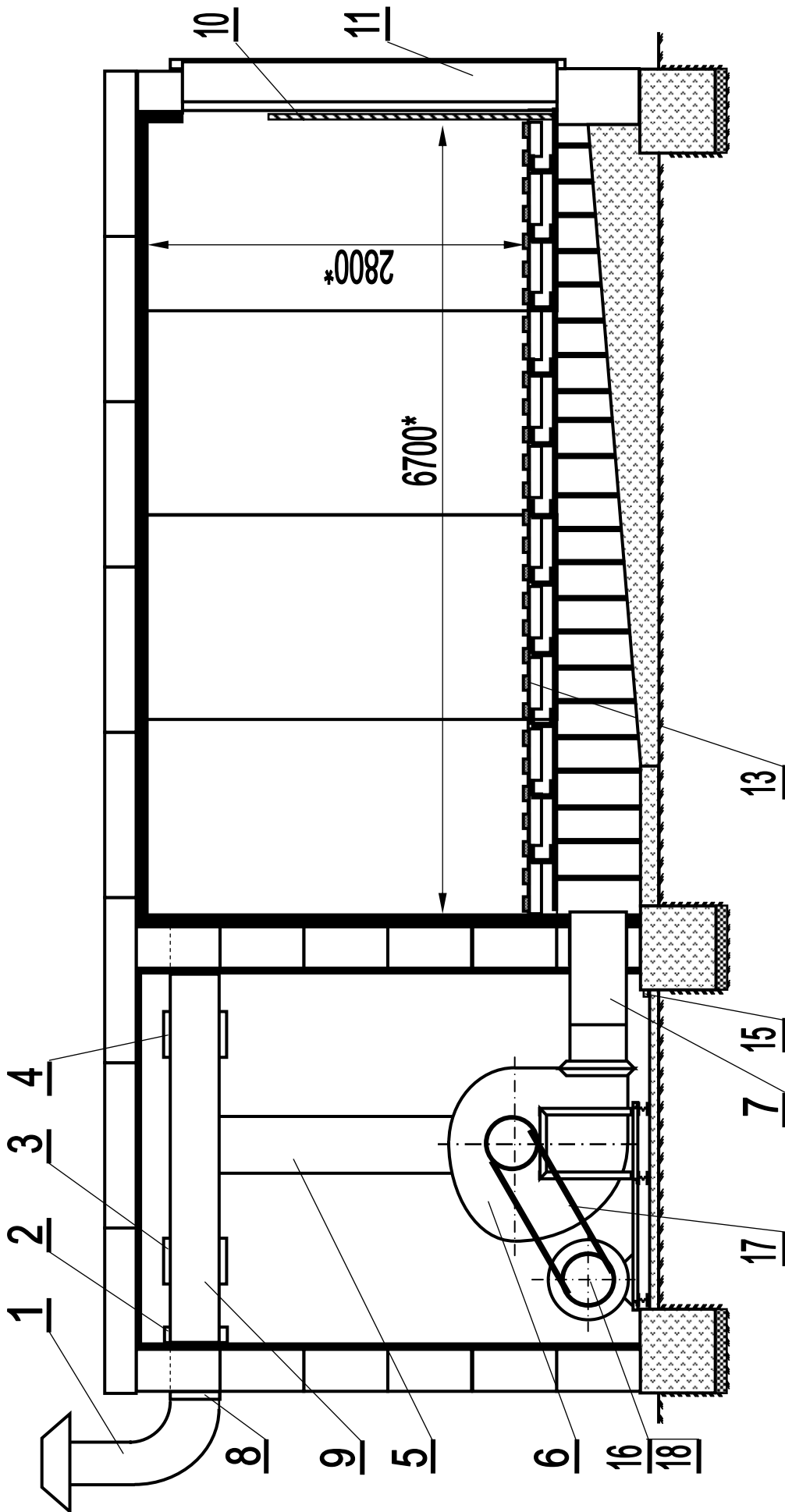


Рис. IV.17 – Переріз закритої камери пастеризації для виробництва субстрату

Розвантаження пастеризаційної камери поєднують із розпушуванням субстрату, оскільки він ущільнюється під дією власної ваги за час перебування в камері. Для пакування субстрату в поліетиленові мішки використовують поршневий ущільнювач субстрату ПМСГ-10 (рис. IV.18), за допомогою якого виконують ущільнення субстрату з одночасним пакуванням у мішки [194].

Обслуговує пастеризаційну камеру один оператор. Під час завантаження та розвантаження камери з одночасним пакуванням у мішки зайнято 4 працівники. Загальний цикл виготовлення субстрату не перевищує 7 днів.

Таблиця IV.8 – Технологічний регламент виробництва субстрату

№ п/п	Назва операції	Термін виконання, діб	Енергетичний засіб	Кількість, шт.	Технологічний засіб	Обслуговуючий персонал, чол.
1	Зволоження соломи	0,5	Насос для подачі води	1	Майданчик водозабірником	2
2	Укладання зволоженої соломи у бурти	0,5	Вручну	1		2
3	Завантаження пастеризаційної камери субстратом	0,5	Електро-двигун	1	Коливальний транспортер	4
4	Розігрів субстрату до температури пастеризації	0,5	Електро-двигун	1	Вентиляційна установка на базі вентилятора із заслінками рециркуляційного та припливного повітря	1
5	Пастеризація субстрату	1				
6	Охолодження субстрату після пастеризації	0,5				
7	Ферментація субстрату	1				
8	Охолодження субстрату після ферментації	0,5				
9	Розвантаження камери, пакування субстрату в мішки з одночасним внесенням міцелію	2	Стаціонарна гідростанція	1	Машина для пакування субстрату в мішки ПМСГ-10	4

Таблиця IV.9 – Основні недоліки в експлуатації пастеризаційної камери та методи їх усунення

Недоліки	Причини	Спосіб усунення
1	2	3
Температура повітря над субстратом менша ніж температура субстрату	Субстрат слабо продувається повітрям	Збільшити оберти вентилятора Зменшити висоту шару субстрату до 2,0–2,5 м
	Рециркуляційне повітря над субстратом змішується із свіжим повітрям, яке затягується через викидний клапан	Відрегулювати викидний клапан
	Рециркуляційне повітря над субстратом змішується із свіжим повітрям, яке затягується через негерметичність камери над субстратом	Усунути негерметичності стін та стелі камери
Субстрат після завантаження в камеру повільно розігрівається	Підлога навколо камери зволожена, нижче рівня підлоги через стіни камери просочується повітря	Усунути негерметичності стін камери
	Повітря з парою виходить через двері камери	Усунути негерметичність між повітряним простором під підлогою камери та дверима, ущільнити субстрат біля дверей
Нерівномірна температура по висоті шару субстрату	Недостатня рециркуляція повітря через субстрат	Збільшити подачу рециркуляційного повітря
Температура повітря під підлогою камери зменшується	Збільшений притік свіжого повітря	Зменшити подачу свіжого повітря
Через викидну заслінку не викидається повітря насичене вуглекислою	Субстрат слабо продувається повітрям	Збільшити оберти вентилятора
	Над субстратом утворюється високий рівень вакууму	Збільшити подачу рециркуляційного повітря

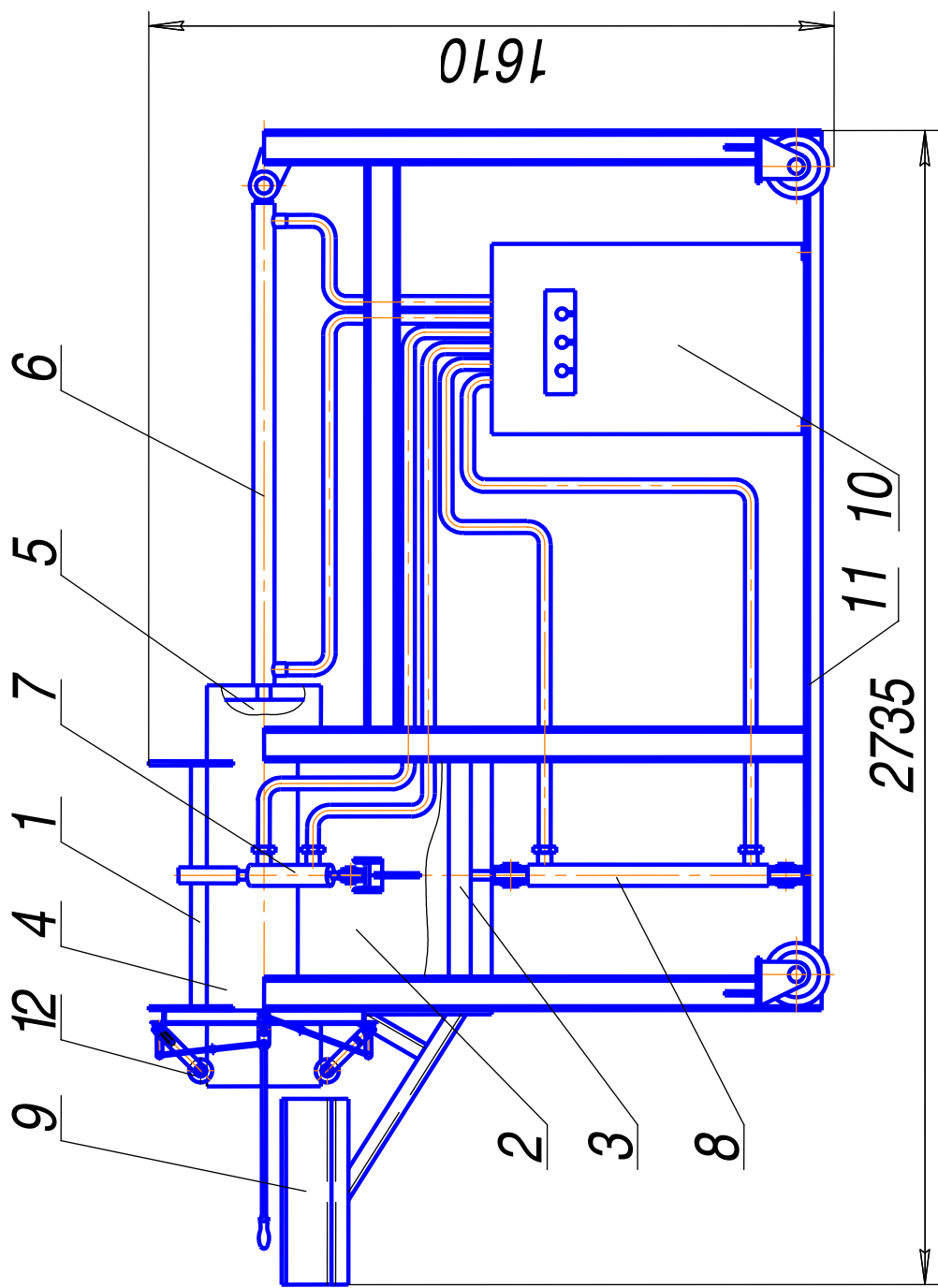


Рис. IV.18 – Загальний вигляд поршневого ущільнювача субстрату ПМСГ-10: 1 – клапан завантажувального вікна; 2 – приймальна камера; 3 – поршень вертикальної камери; 4 – горизонтальна ущільнювальна камера; 5 – поршень горизонтальної камери; 6 –гідроциліндр Ц 63.32.800.01; 7 – гідроциліндр Ц40×160-11; 8 – гідроциліндр Ц63.32.400.01; 9 – лоток для ущільнених блоків; 10 – гідравлічна станція; 11 – рама; 12 – прижимний механізм

Виділення вуглекислого газу під час пастеризації і кондиціонування в розрахунку на одну тону субстрату складає 300 г/год. Гази, які виділяються під час виробництва, розсіюються в атмосфері [16].

Перед будівництвом пастеризаційної камери визначають місце її розташування та розробляють проект будівництва. Враховуючи розосередженість та невеликі об'єми будівельно-монтажних робіт, доцільною формою організації робіт з будівництва пастеризаційної камери є використання комплексних бригад будівельних підрозділів сільськогосподарських підприємств. Термін будівництва не перевищує 3 місяці.

Оцінку якості робіт окремої технологічної операції визначають за середнім показником, який розраховують діленням суми одержаних коефіцієнтів на кількість показників, що контролюються. Якість виконуваних робіт оцінюють за показниками, поданими в таблиці IV.10.

Контроль показників якості робіт треба здійснювати у присутності виконавців. Розмір подрібнених рослинних решток міряють лінійкою згідно з ГОСТ 427-75.

Температуру води визначають у середині ємності водяним термометром з точністю до  $\pm 2$  °С. Параметри мікроклімату в камері пастеризації регулюють системами автоматичного регулювання:

- температуру повітря з точністю до  $\pm 0,5$  °С двома термодатчиками які встановлюють над субстратом і в вентиляційному каналі;
- температуру субстрату з точністю до  $\pm 2$  °С трьома термодатчиками встановленими в субстраті через 50 см по висоті штабеля;
- концентрацію вуглекислого газу з точністю до  $\pm 2$  %, датчиком встановленими у вентиляційному каналі.

Визначення фізико-механічних та агрохімічних властивостей субстрату необхідно проводити для кожної партії окремо. При завантаженні закритої пастеризаційної камери контролюють висоту шару субстрату. Температуру в шарі субстрату контролюють за допомогою електронних термометрів протягом всього процесу пастеризації та ферментації. Температуру в середині блоків субстрату під

час інокуляції вимірюють на глибині від 10 до 15 см, щоденно о 8<sup>00</sup> та 17<sup>00</sup> годині на кожному ярусі в центральній і трьох периферійних зонах термометром для вимірювання температури ґрунту. Допустимі відхилення від норми  $\pm 2$  °С.

Таблиця IV.10 – Показники та норми якості робіт

Назва показника, одиниця виміру	Норма та показники	Оцінка: 1,0–відмінно; 0,9–добре; 0,8–задовільно
<b>Підготовка субстрату</b>		
Подрібнення рослинних решток, см (при машинному пакуванні не проводиться)	від 1 до 3 включно	1,0
	$\pm 0,5$	0,9
	$\pm 1,0$	0,8
Температура в субстраті під час пастеризації, °С	від 58 до 60 включно	1,0
	$\pm 1,5$	0,9
	$\pm 2,0$	0,8
Температура повітря в камері пастеризації, °С	від 60 до 62 включно	1,0
	$\pm 0,4$	0,9
	$\pm 0,5$	0,8
Концентрація вуглекислого газу в камері пастеризації, ppm	не більше 30000	1,0
	від 30500 до 31000	0,9
	від 31500 до 32000	0,8
Вологість субстрату, %	від 70 до 75 включно	1,0
	$\pm 2,0$	0,9
	$\pm 3,0$	0,8
<b>Інокуляція</b>		
Рівномірність внесення (відхилення), %	не більше 3,0	1,0
	від 3,1 до 3,5	0,9
	понад 3,5	0,8

Вологість субстрату визначають шляхом висушування зразків до постійної вологості. Оперативний контроль вологості може бути проведений шляхом стискування порції субстрату в руці (якщо вологість субстрату знаходиться в межах від 60 до 65 %, волога виділяється тільки при сильному стискуванні). Кислотність, вміст азоту, фосфору, калію, кальцію та органічної речовини у субстраті визначають згідно з існуючими нормативними документами. Кислотність субстрату визначають згідно з ГОСТ 27753.3-88. Вміст загального азоту визначають згідно з ДСТУ ISO 11261:2001, вміст фосфору згідно з ГОСТ

27753.5-88, вміст калію згідно з ГОСТ 27753.6-88, вміст кальцію згідно з 27753.9-88, вміст вуглецю згідно з ГОСТ 27753.10-88.

Рівномірність внесення міцелію в субстрат визначають візуально. Масу мінеральних добавок для субстрату визначають згідно з СОУ 01.1-37-258:2005. Відбір проб субстрату для аналізу проводять згідно з ГОСТ 27753.1-88.

Якість субстрату визначають за результатами лабораторного аналізу 5-ти, а при посиленому контролі – 10-ти проб. В кожній пробі визначають колір, структуру та кислотність субстрату, вміст вологи. За результатами агрохімічних аналізів визначають середнє значення показників якості готового субстрату, яке заносять у паспорт, що видається на кожен партію субстрату.

### **3.3. Результати впровадження проектних рішень, технічних пропозицій, машин та механізмів у виробництво**

Проектні рішення підприємств по виробництву грибів можуть бути реалізовані як на основі реконструкції існуючих приміщень, так і на основі розробки проектів для будівництва нових приміщень. На основі проекту реконструкції приміщення телятника створено та експлуатується підприємство по виробництву грибів глива звичайна з виробничою потужністю 20 т грибів на рік та лабораторія по виробництву 10 т на рік міцелію в ТОВ “Вешенка”, що знаходиться в с. Дорогинка Фастівського району Київської області.

На основі проекту реконструкції приміщення котельні створено та експлуатується лабораторія по виробництву 10 т на рік міцелію в ПСГ “Круглик”, що знаходиться в с. Круглик Києво-Святошинського району Київської області.

Розроблена, пройшла виробничу перевірку та впроваджена машина для завантаження субстрату на стелажі з вальцевим ущільнювачем в агрокомбінаті “Пуца-Водиця”, що знаходиться в Києво-Святошинському районі Київської області. На цьому ж підприємстві впроваджено барабанно-пальцевий дозатор-розпушувач субстрату на базі кузовного розкидача органічних добрив.

Розроблена, пройшла виробничу перевірку та впроваджена машина для пакування субстрату в мішки з поршнеvim ущільнювачем та для подрібнення пастеризованого субстрату у фермерському господарстві “За валом”, що знаходиться в с. Мархалівка Васильківського району Київської області.

В ДКТБ ННЦ “ІМЕСГ” налагоджено серійне виробництво машини для пакування субстрату в мішки з поршнеvim ущільнювачем та машини для подрібнення пастеризованого субстрату.

Результати досліджень є складовою частиною Комплексної науково-виробничої програми по збільшенню виробництва їстівних грибів в Україні до 2005 року, затвердженої Міністром сільського господарства й продовольства та Президентом Української академії аграрних наук.

### **3.4. Резюме по розділу 3**

1. Сформульовані основні принципи розробки технічних пропозицій та проектних рішень забезпечують впровадження виробництва їстівних грибів у сільськогосподарських підприємствах із додержанням принципу поступового нарощування виробництва та самоінвестування подальшого розширення виробництва за рахунок отриманого прибутку.

2. Розроблено технологічний процес виробництва субстрату для вирощування гливи методом ферментації в пастеризаційній камері, що забезпечить можливість механізованого виробництва субстрату для виробництва грибів з урахуванням існуючих організаційних форм сільськогосподарських підприємств та наявності в них сільськогосподарської техніки.

3. Наявні в Україні ресурси дають змогу забезпечити на основі запропонованих технічних рішень отримання річного прибутку в розмірі біля 420 млн. гривень за рахунок виробництва грибної продукції.

## **РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАНИХ РОЗРОБОК**

### **4.1. Економічна ефективність біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах із виробництвом гливи**

Економічна ефективність використання біологічної конверсії органічної сировини агроценозів із виробництвом гливи визначалася шляхом розрахунку питомого прибутку – відношення річного прибутку до загальної площі сівозміни. Величина прибутку розраховувалася з урахуванням загальної кількості продукції агроценозу, вартісних показників та заданого рівня рентабельності виробництва. При заданій площі та структурі сівозміни визначалася залежність питомого прибутку від рівня виробництва їстівних грибів.

Встановлено, що виробництво їстівних грибів дозволяє збільшити питомий прибуток з одного гектара сівозміни від 1,6 до 2,5 разів. При цьому харчова спроможність сівозміни збільшується лише на 6 %, оскільки харчова цінність їстівних грибів порівняно з іншою продукцією агроценозу незначна. Питомий прибуток при 31 % інтенсивності виробництва гливи звичайної – 1240 гривень на гектар (таблиця IV.11). В той же час для досягнення бездефіцитного балансу гумусу в сівозміні без виробництва грибів достатньо використовувати до 93 % соломи. Із соломи, що залишається, є можливість виробити до 0,1 т/га умовного палива на один гектар сівозміни (таблиця IV.12). Таким чином, використання соломи для виробництва гливи звичайної значно перевищує економічну ефективність її спалювання.

Ефективність використання відпрацьованого субстрату після вирощування грибів як органічного добрива значно більша ніж попелу після спалювання соломи.

Таблиця IV.11 – Економічна ефективність біологічної конверсії органічної сировини з вирощуванням гливи звичайної

Вид продукції	Кількість	Од. виміру	Од. виміру	Ціна реалізації	Загальна вартість, грн.	Рівень прибутковості, %	Прибуток (+), збиток (-), грн.		
Зерно	219	т	грн./т	500	109316	20	+ 21863		
Олія	28	т	грн./т	2500	70744	20	+ 14149		
Яйця	5	млн. шт.	грн./шт.	0,25	1152323	20	+ 230465		
М'ясо куряче	23	т	грн./кг	5,0	117262	-20	- 23452		
Гриби	190	т	грн./кг	5,0	952380	20	+ 190476		
Валове виробництво продукції в цінах реалізації									
Прибуток (різниця між вартістю реалізованої продукції та її собівартістю)								2402	тис. грн.
Прибутковість агроценозу (складова прибутку в реалізованій продукції)								434	тис. грн.
								18	%

Таблиця IV.12– Розрахунок витрат соломи на підтримання балансу гумусу для зони Степу

Назва показника	Од. виміру	Значення
Вихід соломи в сівозміні	т	966
Максимальне виробництво компосту на основі соломи	т	3621
Співвідношення маси компосту та соломи	од.	3,75
Варіант з виробництвом гливи звичайної		
Кількість компосту, яка вноситься в сівозміні	т	2502
Потреба в солі для виробництва внесеного компосту	т	667
Кількість соломи, яка використовується для виробництва субстрату	т	298
Кількість відпрацьованого субстрату	т	595
Потреба в компості та субстраті для забезпечення балансу гумусу	т	3098
Надлишок соломи в сівозміні	т	0
Варіант без виробництва гливи звичайної		
Потреба в компості для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу	т	3353
Потреба в солі для виробництва внесеного компосту	т	894
Надлишок соломи в сівозміні	т	71
Теплотворна здатність соломи	МДж/кг	10,5
Виробництво тепла із надлишкової соломи	МДж	750111
Додаткова кількість палива	т.у.п.	22
Вартість умовного палива, одержаного із дров	грн./т.у.п.	94
Вартість надлишкової соломи, перетвореної в паливо	грн.	2084

Дослідження показали, що в кожному конкретному випадку необхідно прораховувати економічну ефективність та доцільність виробництва їстівних грибів [353]. Недодержання цієї вимоги призводить до низької ефективності та збитковості виробництва. Для практичного використання методики розрахунку економічної ефективності виробництва їстівних грибів розроблено відповідне програмне забезпечення.

#### 4.2. Економічна ефективність виробництва гливи

На економічну ефективність виробництва гливи істотний вплив мають крім цінових показників вартості грибів показники вартості виробництва субстрату, урожайність грибів та умовно-постійні витрати на виробництво [354].

Вихідні дані для розрахунку – цінові показники без урахування ПДВ. Перерахунок ціни з урахуванням ПДВ у ціну без урахування ПДВ проводився за загальновідомою формулою:

$$Ц = \frac{Ц_{ПДВ}}{1 + \frac{С_{ПДВ}}{100\%}}, \quad (IV.33)$$

де  $Ц$  – вартість без урахування ПДВ, грн.;

$Ц_{ПДВ}$  – вартість з урахуванням ПДВ грн.;

$С_{ПДВ}$  – ставка ПДВ, %.

Валовий збір грибів за рік:

$$З_{Г} = M_{С} n_{К} \frac{РЦ}{ЦВ} ВГ, \quad (IV.34)$$

де  $З_{Г}$  – валовий збір грибів за рік, кг;

$M_C$  – маса субстрату в одному культивацийному приміщенні, т;

$n_K$  – кількість культивацийних приміщень, шт.;

$PЦ$  – річний цикл виробництва грибів, міс.;

$ЦВ$  – тривалість одного циклу виробництва грибів, міс.;

$ВГ$  – вихід грибів з однієї тонни субстрату, кг/т.

Виручка від реалізації грибів:

$$Д = З_G Ц_G = M_C n_K \frac{PЦ}{ЦВ} ВГ \cdot Ц_G, \quad (IV.35)$$

де  $Д$  – виручка від реалізації грибів, грн./рік;

$Ц_G$  – середньорічна вартість грибів, грн./кг.

Річна вартість субстрату для вирощування грибів:

$$BC = M_C n_K \frac{PЦ}{ЦВ} \cdot Ц_C, \quad (IV.36)$$

де  $BC$  – річна вартість субстрату для вирощування грибів, грн./рік;

$Ц_C$  – вартість субстрату, грн./т.

$$Ц_C = B_{KC} + B_{PC}, \quad (IV.37)$$

де  $B_{KC}$  – вартість компонентів субстрату, грн./т;

$B_{PC}$  – вартість виробництва субстрату, грн./т.

Прибуток визначається:

$$\begin{aligned} \Pi &= Д - (BC + УП) = \\ &= M_C n_K \frac{PЦ}{ЦВ} ВГ \cdot Ц_G - \left( M_C n_K \frac{PЦ}{ЦВ} \cdot Ц_C + УП \right), \end{aligned} \quad (IV.38)$$

де  $\Pi$  – річний прибуток, грн./рік;

$УП$  – умовно-постійні витрати, грн./рік.

$$УП = n_K \frac{PЦ}{ЦВ} \cdot УП^П, \quad (IV.39)$$

де  $УП^П$  – питомі умовно-постійні витрати на одне культиваційне приміщення за один цикл, грн.

Рентабельність виробництва грибів:

$$\begin{aligned} P &= \frac{\Pi}{BC + УП} \cdot 100\% = \frac{Д - (BC + УП)}{BC + УП} \cdot 100\% = \\ &= \left( \frac{Д}{BC + УП} - 1 \right) \cdot 100\%, \end{aligned} \quad (IV.40)$$

де  $P$  – рентабельність виробництва грибів, %.

Умовно-постійні витрати враховують заробітну плату з нарахуваннями на соціальні виплати, вартість утримання основних засобів (амортизаційні відрахування, витрати на ремонт та технічне обслуговування), вартість послуг (тепло, електроенергія та вода, витрати на агрохімічне обслуговування, вартість послуг автомобільного та тракторного парку) та інші прямі витрати, а також накладні витрати на управління та обслуговування виробництва. Умовно-постійні витрати визначаються на основі фактичних даних аналізу виробничої діяльності підприємства.

Результати розрахунку економічних показників виробництва гливи звичайної приведені в таблиці IV.13 та на рис. IV.19 – IV.22.

Таблиця IV.13 – Економічна ефективність виробництва гливи звичайної

Технологічні показники	Од. виміру	Значення
Кількість культиваційних приміщень	шт.	6,0
Кількість субстрату в одному приміщенні	т	9
Тривалість циклу вирощування	міс.	1,6
Тривалість річного циклу виробництва	міс.	12
Вихід грибів	%	20
Валовий збір грибів за рік	т	81
Вартісні показники	Од. виміру	Значення
Вартість субстрату	грн./т	450
Ціна реалізації грибів	грн./кг	5,0
Умовно-постійні витрати на одне приміщення за цикл	грн.	2000
Економічні показники	Од. виміру	Значення
Виручка від реалізації грибів	грн./рік	405000
Вартість субстрату для вирощування грибів	грн./рік	182250
Умовно-постійні витрати	грн./рік	90000
Питома вага вартості субстрату у собівартості грибів	%	67
Питома вага умовно-постійних витрат у собівартості грибів	%	33
Річний прибуток	грн./рік	132750
Рівень рентабельності	%	49
Орієнтовне значення капіталовкладень	грн.	410000
Термін окупності капіталовкладень	міс.	37,1
	років	3,1

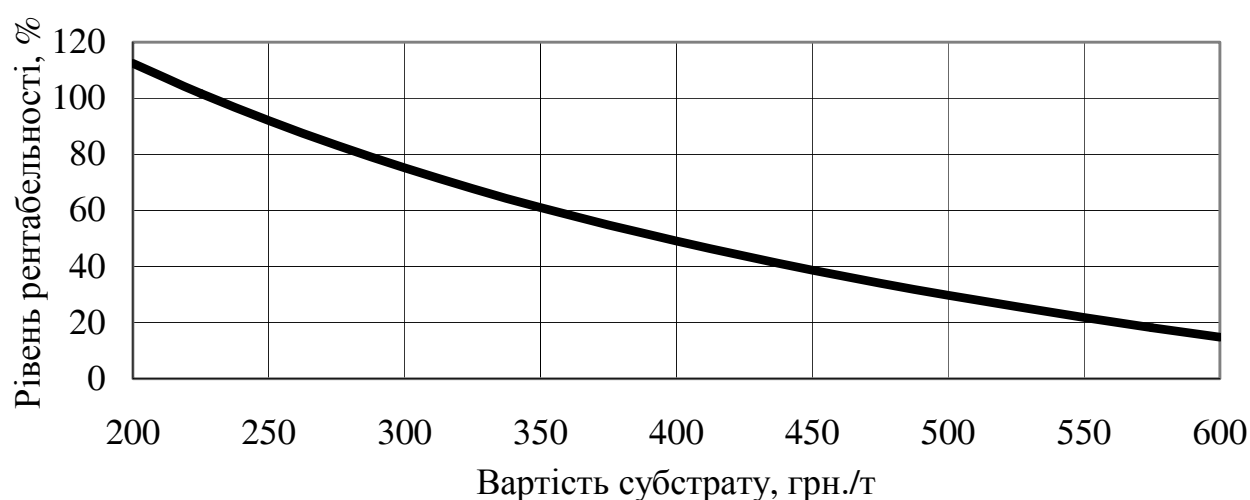


Рис. IV.19 – Залежність рівня рентабельності від вартості субстрату для вирощування гливи звичайної

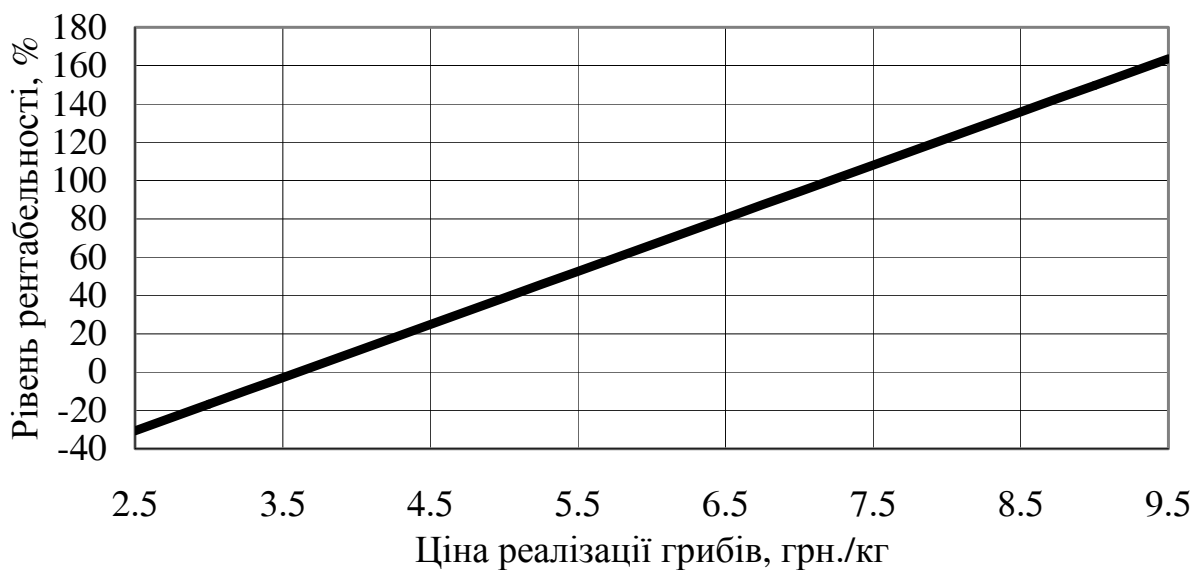


Рис. IV.20 – Залежність рівня рентабельності від ціни реалізації гливи звичайної

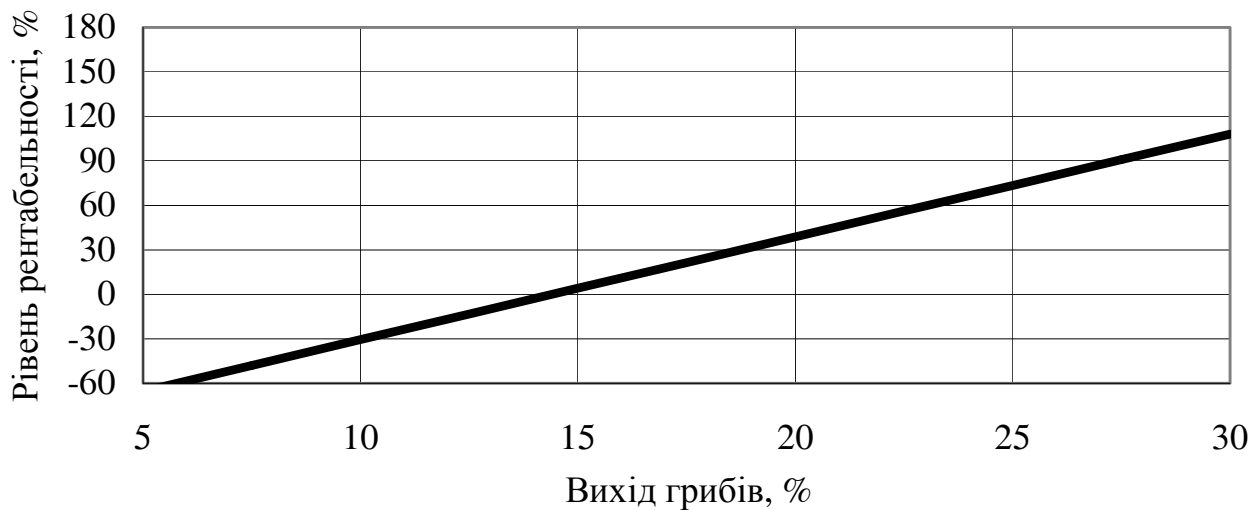


Рис. IV.21 – Залежність рівня рентабельності від виходу гливи звичайної

Питома вага вартості субстрату у собівартості грибів становить від 60 до 75 %. Рентабельність виробництва грибів становить від 40 до 50 %. Термін

окупності капіталовкладень, витрачених на організацію виробництва грибів знаходиться в межах від 3 до 4 років.

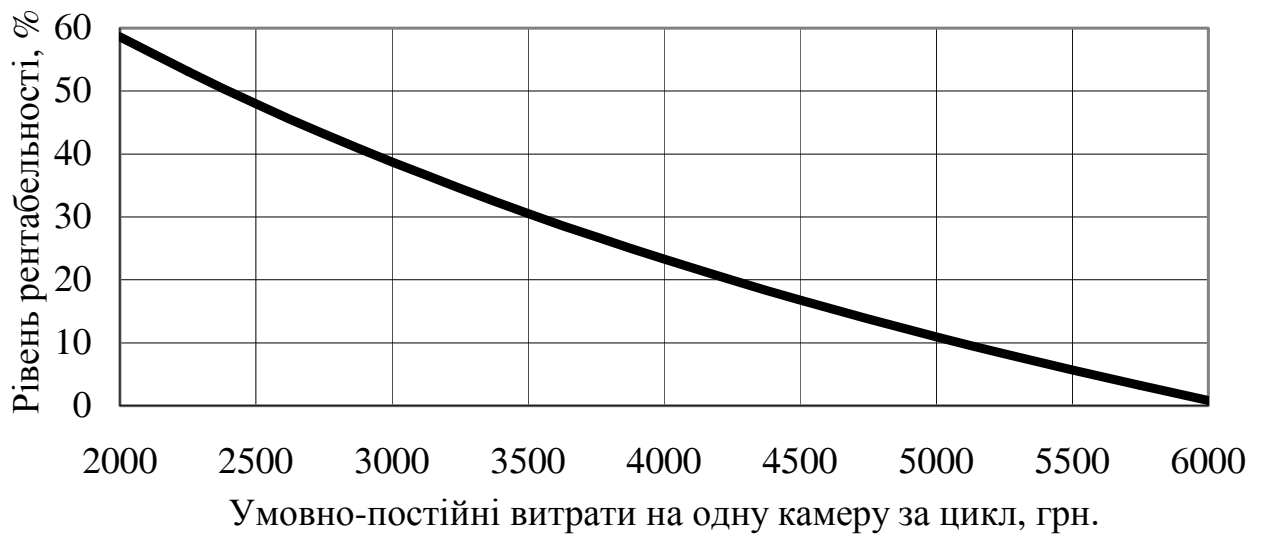


Рис. IV.22 – Залежність рівня рентабельності від умовно-постійних витрат

### 4.3. Економічна ефективність виробництва субстрату

За основу для розрахунку приймаємо вихід субстрату для завантаження одного культивацийного приміщення “стандартного плану” в кількості 20 т. Відповідно до цього рецептура субстрату приведена в таблиці IV.14.

Собівартість виробництва субстрату становить:

$$C_C = C_K + B_{CM}^C + B_{TO}^C + B_{П}^C + B_E^C + 3^C, \quad (IV.41)$$

де  $C_K, C_C$  – собівартість виробництва субстрату, грн.;

$B_{CM}^C$  – вартість сировини та матеріалів для виробництва субстрату, грн.;

$B_{TO}^C$  – амортизаційні відрахування, вартість технічного обслуговування та ремонту будівельних конструкцій, машин та механізмів, які використовуються при виробництві субстрату, грн.;

Таблиця IV.14 – Розрахунок рецептури та виходу субстрату

Компоненти	Маса		Вологість		Суха маса		Вуглець		Азот		Окис фосфору		Окис калію		Окис кальцію	
	т	%	т	%	т	%	т	%	т	%	т	%	т	%	т	%
Солома пшениці	6,7	15	6	45,05	0,03	0,53	0,01	0,23	0,06	1,05	0,02	0,33				
Послід	7,1	45	4	30,00	0,10	2,50	0,06	1,50	0,03	0,85	0,09	2,40				
Разом	13,8		10	38,91	0,13	1,33	0,07	0,75	0,09	0,97	0,11	1,17				
Карбамід	0,14	0,3	0,14	-	0,06	45,50	-	-	-	-	-	-				
Суперфосфат	0,12	4	0,12	-	-	-	0,024	20	-	-	-	-				
Сульфат калію	0,11	2	0,11	-	-	-	-	-	-	0,051	46	-				
Гіпс	0,54	5	0,51	-	-	-	-	-	-	-	-	0,127	23,69			
Вода	22,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Всього	37	72	10	38,91	0,19	2,0	0,10	1,0	0,14	1,50	0,24	2,50				
Показник																
Вологість компосту																
Співвідношення вуглець/азот																
Кратність виходу компосту до маси соломи																
Вихід компосту із однієї закладки																
Вихід субстрату із однієї закладки																
													Од. виміру		Значення	
													%		72	
													од.		19	
													од.		4	
													т		27	
													т		20	

$B_{\Pi}^C$  – вартість пального, яке використовується при виробництві субстрату, грн.;

$B_E^C$  – вартість електроенергії, яка витрачається при виробництві субстрату, грн.;

$Z^C$  – заробітна плата з нарахуваннями при виробництві субстрату, грн.

Вартість сировини та матеріалів становить:

$$B_{CM} = \sum_{i=1}^n B_i M_i, \quad (\text{IV.42})$$

де  $B_i$  – вартість  $i$ -го компоненту сировини та матеріалів, грн./т;

$M_i$  – витрата  $i$ -го компоненту сировини та матеріалів, т.

Амортизаційні відрахування, вартість технічного обслуговування та ремонту будівельних конструкцій, машин та механізмів:

$$B_{CM} = a \sum_{i=1}^n n_i K_i, \quad (\text{IV.43})$$

де  $a$  – норматив відрахувань на введення будівельних конструкцій, машин та механізмів в експлуатацію, відносних од.;

$n_i$  – норматив відрахувань по  $i$ -му компоненту капіталовкладень на будівельні конструкції та машини й механізми, відносних од.;

$K_i$  – вартість  $i$ -го компоненту капіталовкладень, грн.

Вартість пального для роботи тракторів, із якими агрегуються технічні засоби для виробництва субстрату:

$$B_{\Pi} = T_{\Pi} \sum_{i=1}^n P_{\Pi i}, \quad (\text{IV.44})$$

де  $T_{\Pi}$  – тариф на пальне, грн./л;

$P_{Pi}$  – витрата пального на виконання  $i$ -ї технологічної операції по виробництву субстрату, л.

Вартість електроенергії, яка витрачається для приводу машин та механізмів виробництва субстрату:

$$B_E = T_E \sum_{i=1}^n P_{Ei}, \quad (\text{IV.45})$$

де  $T_E$  – тариф на електроенергію, грн./кВт год.;

$P_{Pi}$  – витрата електроенергії на виконання  $i$ -ї технологічної операції по виробництву субстрату, кВт год.

Заробітна плата з нарахуваннями визначається:

$$З = (1 + k_3) Z_{II} \sum_{i=1}^n TP_i, \quad (\text{IV.46})$$

де  $k_3$  – нарахування на заробітну плату, відносних од.;

$Z_{II}$  – тарифна ставка, грн./люд.-год.;

$TP_i$  – трудомісткість виконання  $i$ -ї технологічної операції по виробництву субстрату, люд.-год.

У випадку реалізації виробленого субстрату річний прибуток становитиме:

$$П_C = (Ц_C - C_C) OB_C, \quad (\text{IV.47})$$

де  $П_C$  – річний прибуток реалізації виробленого субстрату без ПДВ, грн./т;

$Ц_C$  – ціна субстрату без ПДВ, грн./т;

$OB_C$  – річний об'єм виробництва субстрату, т.

Розрахунок собівартості виробництва субстрату з використанням подрібнювача пастеризованого субстрату та обладнання для пакування субстрату в мішки приведений у таблиці IV.15, а структура собівартості – на рисунку IV.23. Економічна ефективність виробництва субстрату у випадку його реалізації приведена в таблиці IV.16.

Таблиця IV.15 – Розрахунок собівартості виробництва субстрату

Показники	Тариф		Витрати на закладку		
	од. виміру	значення	од. виміру	значення	вартість, грн.
1	2	3	4	5	6
<b>Основна сировина і складові компоненти</b>					
Солома	грн./т	25,0	т	5	125,0
Міцелій зерновий	грн./порція	8,0	порція	602	4816,0
Вода	грн./м <sup>3</sup>	1,73	м <sup>3</sup>	5	8,65
Пакувальна тара	грн./шт.	0,85	шт.	602	511,7
Всього, грн.					5461,35
<b>Пальне *</b>					
Підвезення соломи	грн./л	6,50	л	56	364,00
Всього, грн.					364,00
<b>Електроенергія</b>					
Привід вентилятора	грн./кВт-год.	0,74	кВт-год.	140	103,60
Привід пакувальної машини	грн./кВт-год.	0,74	кВт-год.	4	2,96
Всього, грн.					106,56
<b>Амортизація, технічне обслуговування, ремонт та витрати на зберігання</b>					
Машини і механізми	%	28,2	грн.	250,00	70,50
Будівельні конструкції	%	4,0	грн.	833,33	33,33
Всього, грн.					103,83
<b>Заробітна плата</b>					
Зволоження соломи та укладання в бурти	грн./люд-год.	5,56	люд-год.	18	100,08
Завантаження соломи	грн./люд-год.	5,56	люд-год.	20	111,2
Контроль процесу ферментації	грн./люд-год.	5,56	люд-год.	10	55,6
Вивантаження та пакування субстрату	грн./міш.	0,70	міш.	602	421,40
Всього, грн.					688,28

## Продовження таблиці IV.15

1	2	3	4	5	6
Нарахування на зарплату	%	37	грн.	688,28	254,66
Всього витрат на оплату праці разом із нарахуваннями, грн.					942,94
Разом прямих витрат, грн.					6978,68
Накладні витрати до всіх витрат	%	5	грн.	6978,68	348,93
Всього на одну закладку, грн.					7327,61
Загальновиробничі витрати	%	5	грн.	7327,61	366,38
Всього витрат, грн.					7693,99
Собівартість субстрату, грн./т					769,4

\* Витрати палива для роботи одного трактора 7 л/год.

Таблиця IV.16 – Економічна ефективність виробництва субстрату

Технологічні показники	Од. виміру	Значення
Кількість субстрату, виробленого за один цикл	т	20
Тривалість циклу виробництва	діб	8
Тривалість річного циклу виробництва	міс.	12
Циклічність виробництва субстрату	діб	6
Кількість циклів виробництва субстрату за рік	од.	60
Річне виробництва субстрату	т	1200
Вартісні показники	Од. виміру	Значення
Балансова вартість будівельних конструкцій	грн.	50000
Балансова вартість машин і механізмів	грн.	15000
Вартість субстрату	грн./т	300
Економічні показники	Од. виміру	Значення
Виручка від реалізації субстрату	грн./рік	360000
Вартість сировини та матеріалів	грн./рік	187087
Амортизація, вартість ТО та ремонту	грн./рік	6320
Вартість пального та електроенергії	грн./рік	7392
Заробітна плата	грн./рік	21000
Нарахування на зарплату	грн./рік	7560
Накладні витрати	грн./рік	5250
Непередбачені витрати	грн./рік	23452
Собівартість виробництва	грн./рік	257971
Річний прибуток	грн./рік	102029
Рівень прибутковості	%	28
Рівень рентабельності	%	40

В результаті економічних розрахунків встановлено, що в структурі собівартості виробництва субстрату вартість соломи визначальна.

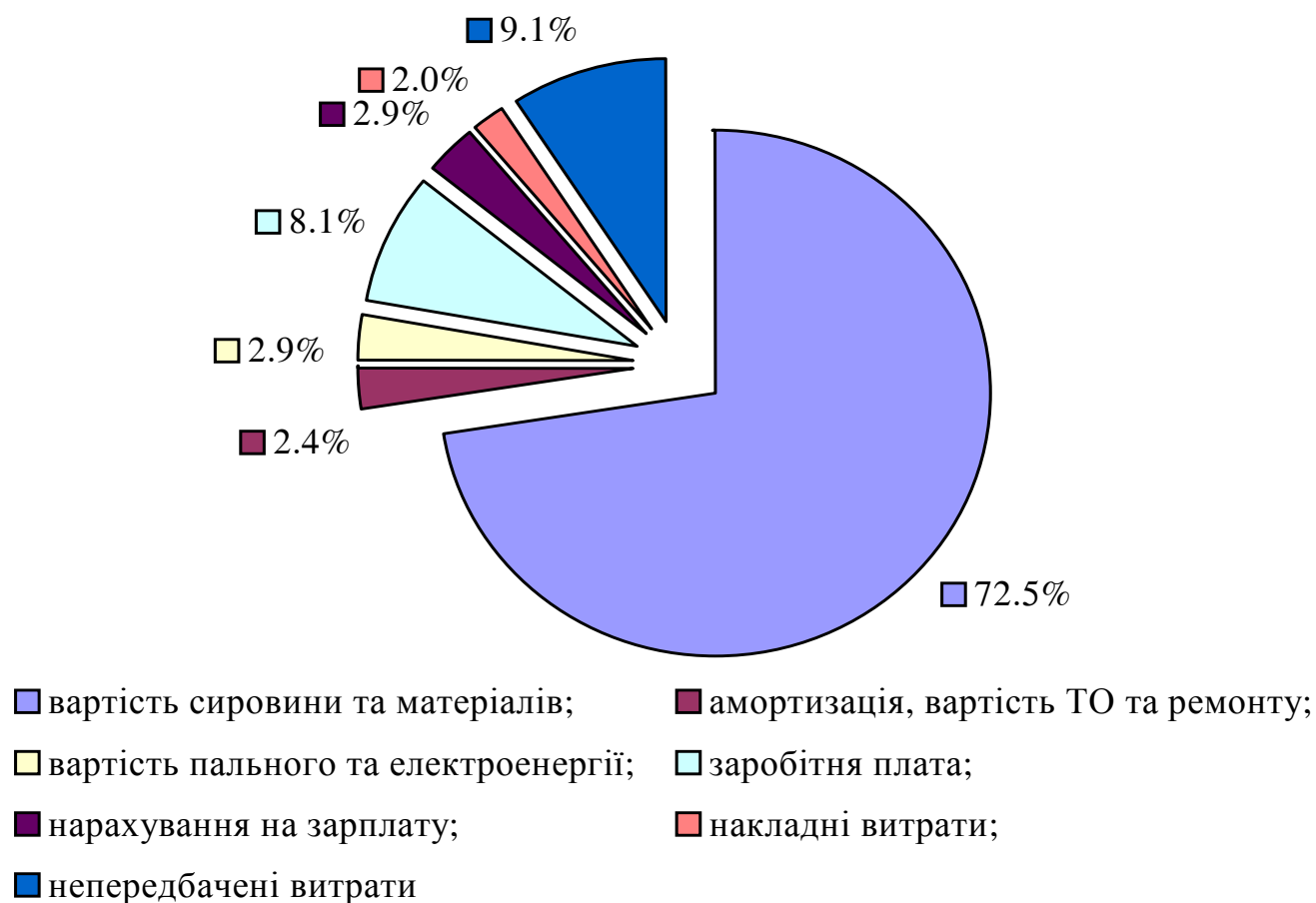


Рис. IV.23 – Структура собівартості виробництва субстрату

Таким чином, виробництво субстрату та грибів повинно проводитися на базі сільськогосподарських підприємств, які мають власну сировинну базу та трудові ресурси, на противагу виробництву в підприємствах, працюючих на покупній сировині.

#### 4.4. Економічна ефективність засобів механізації для подрібнення та пакування пастеризованого субстрату

Під час пастеризації щільність субстрату в нижніх шарах досягає 500 кг/м<sup>3</sup>. Для внесення посівного міцелію в субстрат його необхідно розпушити та в

послідує ущільненню. При пакуванні субстрату в мішки та обмежених розмірах пастеризаційної камери виникає проблема з розміщенням робочих місць для виконання відповідних робіт. Це призводить до того, що для камер пастеризації з кількістю субстрату більше 15 т неможливо провести вивантаження субстрату протягом однієї робочої зміни. Крім того, при розпушуванні субстрату вручну виникають проблеми, пов'язані з наявністю окремих нерозпушених шматків субстрату. При цьому проростання міцелію в субстрат уповільнюється, що збільшує загальні терміни обробки субстрату міцелієм.

В розрахунках ефективності роботи подрібнювача та машини для пакування пастеризованого субстрату враховувалося лише зменшення витрат робочої сили та відповідно оплати праці порівняно з варіантом без використання засобів механізації. Виробничий досвід показав, що використання подрібнювача та машини для пакування пастеризованого субстрату доцільне при розвантаженні пастеризаційних камер з кількістю субстрату до 20 т.

Розрахунки, представлені в таблиці IV.17, показали, що використання подрібнювача забезпечує економічний ефект від 450 до 500, а машини для пакування від 2250 до 2500 грн. за рік.

Таблиця IV.17 – Техніко-технологічні та економічні показники засобів механізації для подрібнення та пакування пастеризованого субстрату

Показник	Од. виміру	Значення	
		Базовий	Новий
1	2	3	4
Продуктивність	кг/год.	3000	
Густина субстрату до подрібнення	кг/м <sup>3</sup>	460	
Густина субстрату після подрібнення	кг/м <sup>3</sup>	225	
Співвідношення густини до – та після подрібнення	кг/м <sup>3</sup>	2,04	
Швидкість упаковки мішків	с/мішок	20	
Діаметр мішка	см	44	
Висота мішка	см	21	
Маса мішка	кг	17,6	
Щільність субстрату в мішку	кг/м <sup>3</sup>	550	
Кількість упакованих мішків	шт.	1140	
Маса готового субстрату	т	20	

Продовження таблиці IV.17

1	2	3	4
Чистий час розвантаження	год.	7	
Технологічні перерви	год.	2	
Загальний час розвантаження	год.	9	
Кількість працюючих на подрібненні	люд.	4	3
Кількість працюючих на пакуванні	люд.	11	7
Кількість працюючих	люд.	15	10
Затрати праці	люд./год.	130	87
Оплата праці при вивантаженні субстрату	грн./люд.	25	
Витрати на оплату праці при подрібненні	грн.	100,0	75,0
Витрати на оплату праці при пакуванні	грн.	275,0	175,0
Витрати на оплату праці	грн.	375,0	250,0
Споживана потужність електродвигуна подрібнювача	кВт	-	0,8
Споживана потужність електродвигуна гідростанції	кВт	-	1,5
Вартість електроенергії для подрібнення	грн.	-	1,1
Вартість електроенергії для пакування	грн.	-	2,0
Загальна вартість електроенергії	грн.	-	3,1
Вартість подрібнювача субстрату	грн.	-	2000
Вартість пакувальної машини	грн.	-	6000
Вартість засобів механізації	грн.	-	8000
Амортизація та витрати на ремонт і ТО подрібнювача	грн.	-	11,1
Амортизація та витрати на ремонт і ТО пакувальної машини	грн.	-	33,3
Амортизація та витрати на ремонт і ТО	грн.	-	44,4
Експлуатаційні витрати при подрібненні	грн.	100,0	87,2
Експлуатаційні витрати при пакуванні	грн.	275,0	210,3
Експлуатаційні витрати	грн.	375,0	297,5
Річний економічний ефект використання подрібнювача	грн.	462	
Річний економічний ефект використання пакування	грн.	2328	
Річний економічний ефект засобів механізації	грн.	2790	
Термін окупності подрібнювача субстрату	років	4,3	
Термін окупності пакувальної машини	років	2,6	
Термін окупності засобів механізації	років	2,9	

При цьому термін окупності подрібнювача не перевищує 5, а машини для пакування – 3 років.

#### 4.5. Економічна ефективність використання у виробництві поршневого ущільнювача субстрату

На економічну ефективність виробництва гливи істотний вплив мають крім цінових показників вартості грибів, показники собівартості субстрату, урожайність гливи та умовно-постійні витрати на виробництво [354].

Умовно-постійні витрати враховують заробітну плату з нарахуваннями на соціальні виплати, вартість утримання основних засобів (амортизаційні відрахування, витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання), вартість спожитих послуг (електроенергія, вода, витрати на агрохімічне обслуговування, вартість послуг автомобільного та тракторного парку) та інші прямі витрати, а також накладні витрати на управління та обслуговування виробництва. Умовно-постійні витрати визначали на основі фактичних даних аналізу виробничої діяльності підприємства [169].

Для визначення економічної ефективності виробництва субстрату для вирощування гливи за основу для розрахунку приймали об'єм субстрату, який виготовляється за один технологічний цикл роботи пастеризаційної камери, що становить 10 т. При цьому проводимо порівняння отриманих значень собівартості виготовленого субстрату при ущільненні і запакуванні його в поліетиленові мішки із застосуванням ручної праці та механізовано [353, 354]. Для оцінки економічної ефективності використовували загальновідомі формули та методичні рекомендації [86, 111, 355, 356]:

$$\Delta E = E_H - E_B, \quad (\text{IV.48})$$

де  $\Delta E$  – економія експлуатаційних витрат при роботі ущільнювача порівняно з базовим варіантом, грн.;

$E_H$  – витрати на ущільнення та пакування субстрату з застосуванням ущільнювача, грн.;

$E_B$  – витрати на ущільнення та пакування субстрату із застосуванням ручної праці, грн.

Калькуляцію витрат на ущільнення та пакування 10 т субстрату з застосуванням ущільнювача проводили за формулою:

$$E_H = B_E + B_{ART} + Z_{ОП}, \quad (IV.49)$$

де  $E_H$  – сукупні витрати на ущільнення та пакування субстрату, грн.;

$B_E$  – вартість електроенергії, використаної для забезпечення роботи електроспоживачів, грн.;

$B_{ART}$  – амортизаційні відрахування та ремонт і технічне обслуговування ущільнювача, грн.;

$Z_{ОП}$  – затрати на оплату праці з нарахуваннями працівників при пакуванні субстрату, грн.

Вартість електроенергії, яка витрачається на роботу машин та механізмів, задіяних при виробництві субстрату (електродвигуни подрібнювача соломи, гідравлічної станції ущільнювача та ін.) розраховували за формулою:

$$B_E = T_E \sum_{i=1}^n P_{Ei}, \quad (IV.50)$$

де  $T_E$  – середньорічна вартість електроенергії, грн./кВт год.;

$P_{Ei}$  – витрата електроенергії на виконання  $i$ -ї технологічної операції, яка має місце при виробництві субстрату, кВт год.

Вартість сукупних витрат на амортизаційні відрахування, ремонт приміщень та технічне обслуговування машин, механізмів, які використовуються при виробництві субстрату розраховували за формулою:

$$B_{APT} = a \sum_{i=1}^n n_i K_i, \quad (IV.51)$$

де  $a$  – норматив відрахувань на введення будівельних конструкцій, машин та механізмів в експлуатацію, відн. од.;

$n_i$  – норматив відрахувань по  $i$ -му компоненту капіталовкладень на будівельні конструкції та машини й механізми, відн. од.;

$K_i$  – вартість  $i$ -го компоненту капіталовкладень, грн.

Затрати на оплату праці з нарахуваннями при виробництві субстрату розраховували за формулою:

$$Z_{оп} = (1 + k_3) Z_{п} \sum_{i=1}^n TP_i, \quad (IV.52)$$

де  $k_3$  – нарахування на заробітну плату, %;

$Z_{п}$  – тарифна ставка, грн./люд-год.;

$TP_i$  – трудомісткість виконання  $i$ -ї технологічної операції по виробництву субстрату, люд-год.;

Звідки тарифну ставку визначали за формулою:

$$Z_{п} = \frac{Z_{п(ср)}}{\Phi_M}, \quad (IV.53)$$

де  $Z_{п(ср)}$  – мінімальна середньомісячна заробітна плата по Україні, грн.;

$\Phi_M$  – місячний фонд робочого часу, год.

Калькуляцію витрат на ущільнення та пакування 10 т субстрату з застосуванням ручної праці проводили за формулою:

$$E_B = 3_{OP}. \quad (IV.54)$$

Окупність витрат на придбання ущільнювача, для виробництва субстрату визначали за формулою, модифікованою для нашого дослідження [357]:

$$T_o = \frac{K}{\Delta E + B_C + П_G}, \quad (IV.55)$$

де  $T_o$  – термін окупності ущільнювача, місяців;

$K$  – капітальні вкладення на придбання ущільнювача, грн.;

$B_C$  – вартість субстрату, грн.;

$П_G$  – приріст урожайності грибів, грн.

Техніко-технологічні та економічні показники ефективності використання засобів механізації при виробництві субстрату для вирощування гливи приведені в табл. IV.18. Для оцінки рівня ефективності використання у виробничих умовах поршневого ущільнювача субстрату було проведено порівняння його основних показників роботи з базовим варіантом, при цьому за базовий варіант прийнято ущільнення та пакування субстрату вручну.

Використання поршневого ущільнювача субстрату забезпечує економічний ефект, в першу чергу за рахунок економії витрат на додаткове подрібнення соломи, 1619,3 грн. за рік, а його термін окупності не перевищує 4 роки [336].

Таблиця IV.18 – Техніко-економічна ефективність використання ущільнювача субстрату

Показник	Одиниця виміру	Значення	
		Базовий	Новий
1	2	3	4
Продуктивність	кг/год.	714	896
Тривалість пакування мішків	с/міш.	84	67
Діаметр/висота мішка	см	30/60	
Маса мішка	кг	16/17	

Продовження таблиці IV.18

1	2	3	4
Щільність субстрату в мішку	кг/м <sup>3</sup>	370–400	
Маса партії субстрату	т	10	
Кількість упакованих мішків	шт.	602	
Чистий час пакування мішків	год.	9	17
Технологічні перерви	год.	5	3
Загальний час пакування	год.	14	20
Кількість працюючих	чол.	5	4
Затрати праці	люд-год.	70	80
Оплата праці при вивантаженні субстрату	грн./міш.	0,7	
Споживана потужність електродвигуна	кВт	–	1,5
Додаткове подрібнення соломи			
Кількість працівників	чол.	2	–
Затрати праці	люд-год.	5	–
Оплата праці	грн.	11,5	–
Оплата праці разом з нарахуваннями	грн.	15,75	–
Затрати електроенергії	кВт год.	36,0	–
Вартість електроенергії	грн.	15,84	–
Всього витрат за один цикл	грн.	31,59	–
Разом за рік	грн.	2211,3	–
Вивантаження та пакування субстрату			
Оплата праці разом з нарахуваннями	грн.	577,32	577,32
Затрати електроенергії	кВт год.	–	24
Вартість електроенергії	грн./цикл	–	10,56
Всього витрат за цикл	грн.	577,32	587,88
Всього витрат	грн./цикл	608,91	587,88
Разом витрат по всьому технологічному циклу	грн./рік	42623,7	41152
Експлуатаційні витрати (10 %)	грн.	4262,37	4115,2
Всього із експлуатаційними витратами	грн.	46886,1	45267
Економія експлуатаційних витрат	грн.	–	1619,3
Додатковий вихід грибів	кг	–	420
Вартість додаткової продукції	грн.	–	5040
Річний економічний ефект	грн.	–	6659,3
Вартість ущільнювача	грн.	–	6500,0
Термін окупності ущільнювача	місяців	–	12

За рахунок механізованого ущільнення та пакування субстрату досягається підвищення його якості (збільшення ймовірності того, що щільність субстрату знаходиться в межах технологічно заданого діапазону та забезпечення більш рівномірного розподілу міцелію завдяки переходу від пошарового до об'ємного

розподілу міцелію в субстраті), що дозволяє отримати приріст урожайності гливи. При цьому економічний ефект становить 6659,3 грн. за рік, що скорочує термін окупності ущільнювача субстрату до 1 року [338, 339, 340].

#### 4.6. Економічна ефективність використання теплоутилізаторів у системах вентиляції культивацийних приміщень

Використання теплоутилізаторів потребує додаткових капіталовкладень на створення енергозберігаючої системи вентиляції культивацийних приміщень для вирощування грибів, яка забезпечує економію палива. У зв'язку з цим задача вибору конкретного теплоутилізатора для використання в системі вентиляції культивацийного приміщення для вирощування грибів є фактично техніко-економічною задачею [355]. При її рішенні необхідно встановлювати фактичну вартість зекономленого палива та електроенергії, яку забезпечує теплоутилізатор, порівняти її з витратами на його експлуатацію та встановити термін окупності теплоутилізатора.

На рисунках IV.24 – IV.27 показано залежність терміну окупності від вартості теплоутилізатора для різних варіантів його установки в системі вентиляції культивацийного приміщення для вирощування грибів та при опаленні газом й вугіллям.

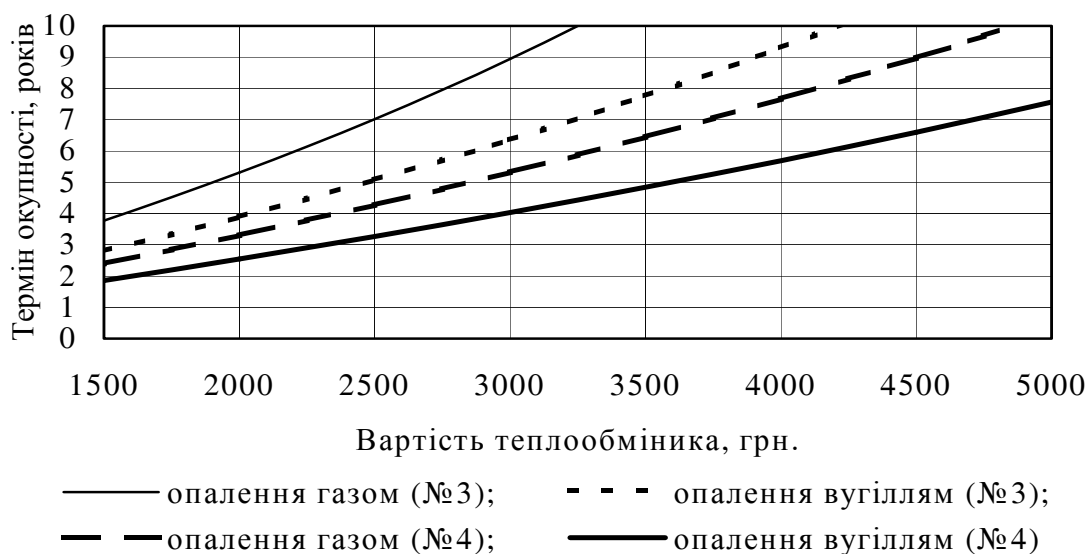


Рис. IV.24 – Економічні показники автономного теплоутилізатора без ЦТО

Виявлено, що використання автономного теплоутилізатора, встановленого по варіанту № 3, має більший термін окупності ніж встановленого по варіанту № 4 при однаковій вартості. Це пов'язано з більшою ефективністю роботи теплоутилізатора, встановленого по варіанту № 4. Крім того, використання центрального водяного теплообмінника, який підігріває припливне повітря перед теплоутилізатором, збільшує надійність роботи теплоутилізатора, але також підвищує його термін окупності, оскільки центральний водяний теплообмінник зменшує температурний перепад в теплоутилізаторі. На термін окупності теплоутилізатора впливає також вид енергоносія, який використовується для опалення культивацийного приміщення. Більший термін окупності буде мати тепло утилізатор, встановлений в системі вентиляції культивацийного приміщення, яке опалюється газом, порівняно з тим, яке опалюється вугіллям. Це пов'язано з більшою вартістю одиниці енергії, одержаної при спалюванні вугілля ніж газу.

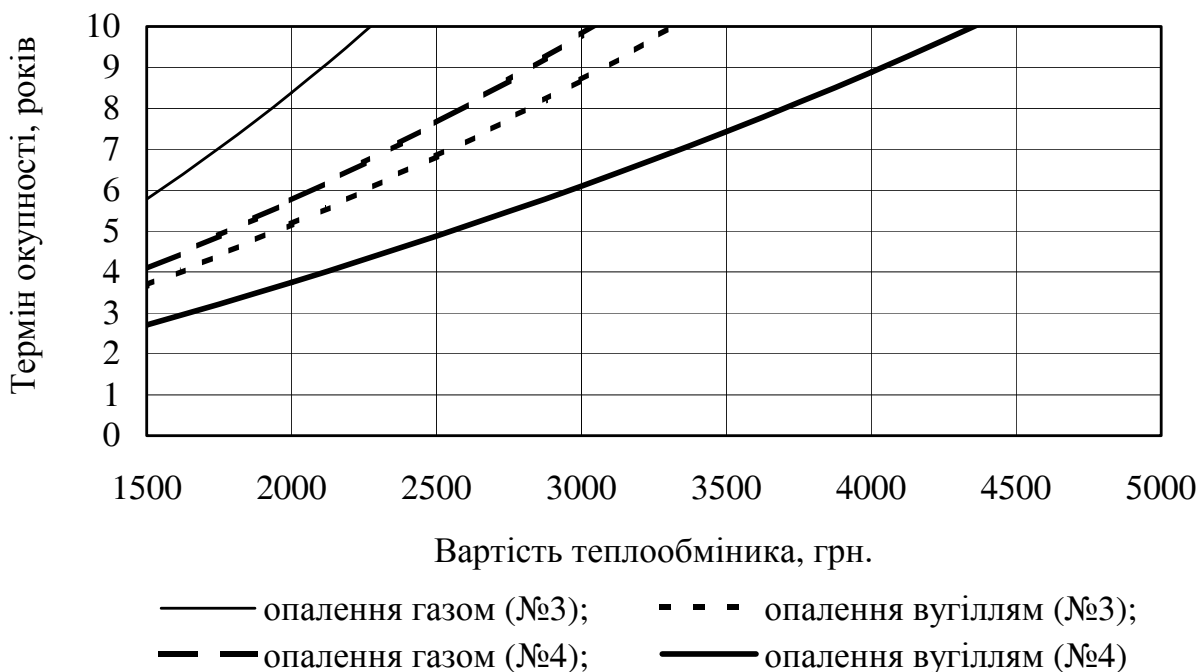


Рис. IV.25 – Економічні показники автономного теплоутилізатора з ЦТО

При використанні централізованого теплоутилізатора, який працює на декілька культиваційних приміщень, ефективність його використання різко збільшується.

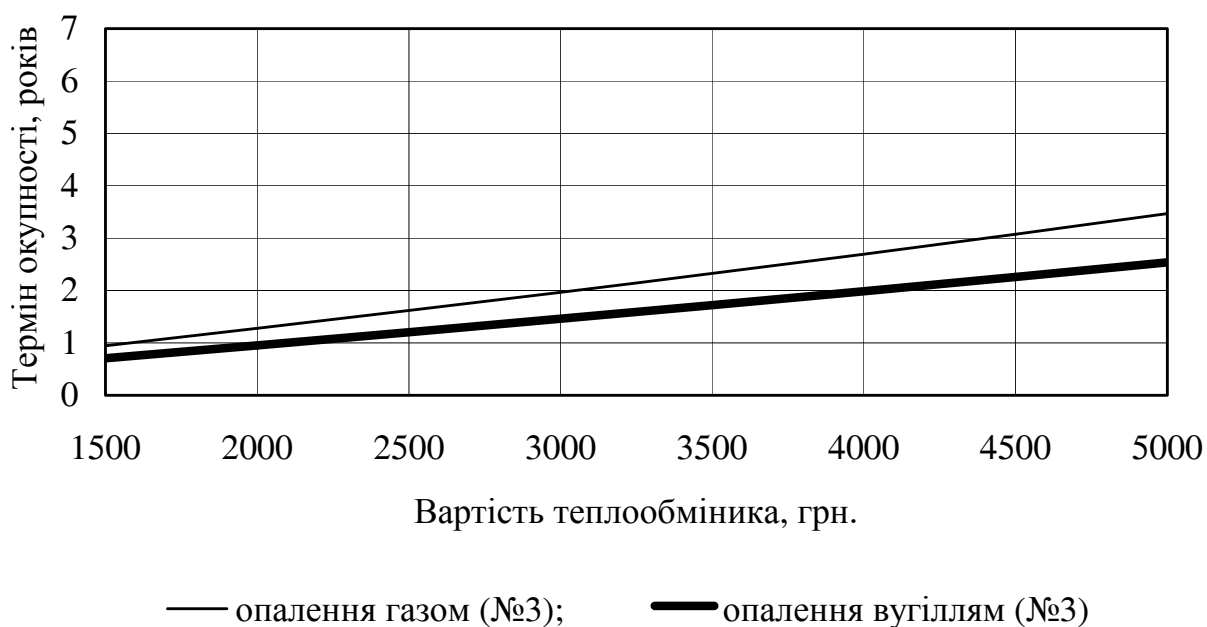


Рис. IV.26 – Економічні показники центральних теплоутилізаторів без ЦТО

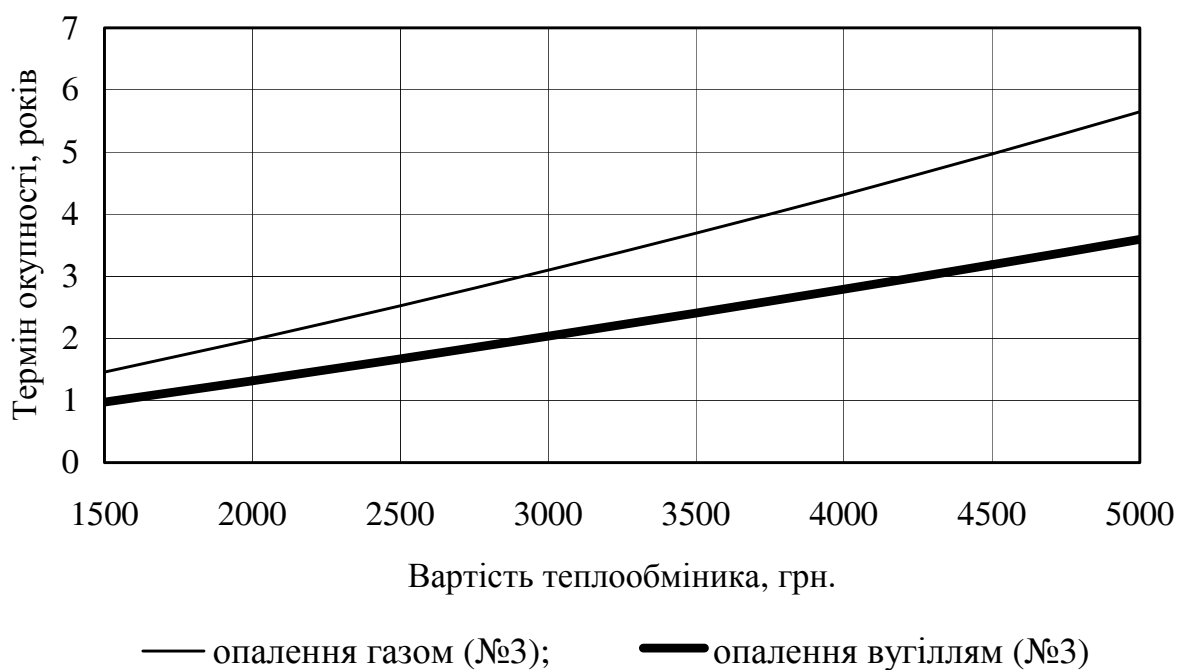


Рис. IV.27 – Економічні показники центральних теплоутилізаторів з ЦТО

Це пов'язано з тим, що при більших витратах повітря ефективність теплообміну в теплоутилізаторі збільшується, а, відповідно, зростає і економія енергії при його роботі. Підігрів повітря перед централізовано встановленим теплоутилізатором за допомогою центрального водяного теплообмінника, який підігріває припливне повітря перед теплоутилізатором, збільшує надійність роботи теплоутилізатора, але також підіймає його термін окупності, оскільки центральний водяний теплообмінник зменшує температурний перепад у теплоутилізаторі.

Таким чином, теплоутилізатор в системі вентиляції культиваційного приміщення для вирощування грибів повинен встановлюватися централізовано для роботи на декілька приміщень. Для забезпечення необмерзання теплообмінної поверхні теплоутилізатора підігрів припливного повітря повинен забезпечуватися центральним водяним теплообмінником.

#### **4.7. Економічна ефективність виробництва грибів улітку**

Виробництво їстівних грибів може проводитися в культиваційних приміщеннях на протязі всього року. Але, якщо в зимовий та перехідний періоди року підтримання параметрів мікроклімату може бути забезпечене за рахунок використання опалювальних приладів та роботи системи вентиляції, то влітку забезпечити нормативні параметри мікроклімату без використання холодильної техніки неможливо. Оскільки система вентиляції культиваційного приміщення обладнана водяними теплообмінниками, доцільно для охолодження припливного повітря використовувати холодильні установки для охолодження води (чіллери). Порівняно з холодильними установками для охолодження повітря вони забезпечують більший ресурс роботи, оскільки мають можливість вимикатися при досягненні водою заданої температури та при зниженні температури припливного повітря. Це досягається завдяки тому, що вода має більшу теплоємність порівняно з повітрям. В той же час зниження ефективності роботи холодильної установки при роботі на воді за рахунок наявності проміжного теплоносія забезпечується

зменшенням теплових втрат через меншу поверхню водяних трубопроводів порівняно з повітропроводами.

Ефективність роботи холодильної установки влітку досягається за рахунок збільшення урожайності грибів на 5 % порівняно з варіантом без використання охолодження повітря. Виробничий досвід показав, що фактичні умови вирощування грибів влітку практично дозволяють одержати не більше двох обертів культури в культиваційному приміщенні в умовах України. Без охолодження повітря влітку в культиваційних приміщеннях підвищується вологість повітря, що впливає на здатність грибів випаровувати вологу та забезпечувати своє живлення.

Розрахунки, представлені на рис. IV.29 показали, що використання холодильної машини для охолодження води (чіллера) забезпечує економічний ефект від 7,5 до 10 тис. грн. за два літніх обороти культури. При цьому термін окупності чіллера не перевищує 4 років.

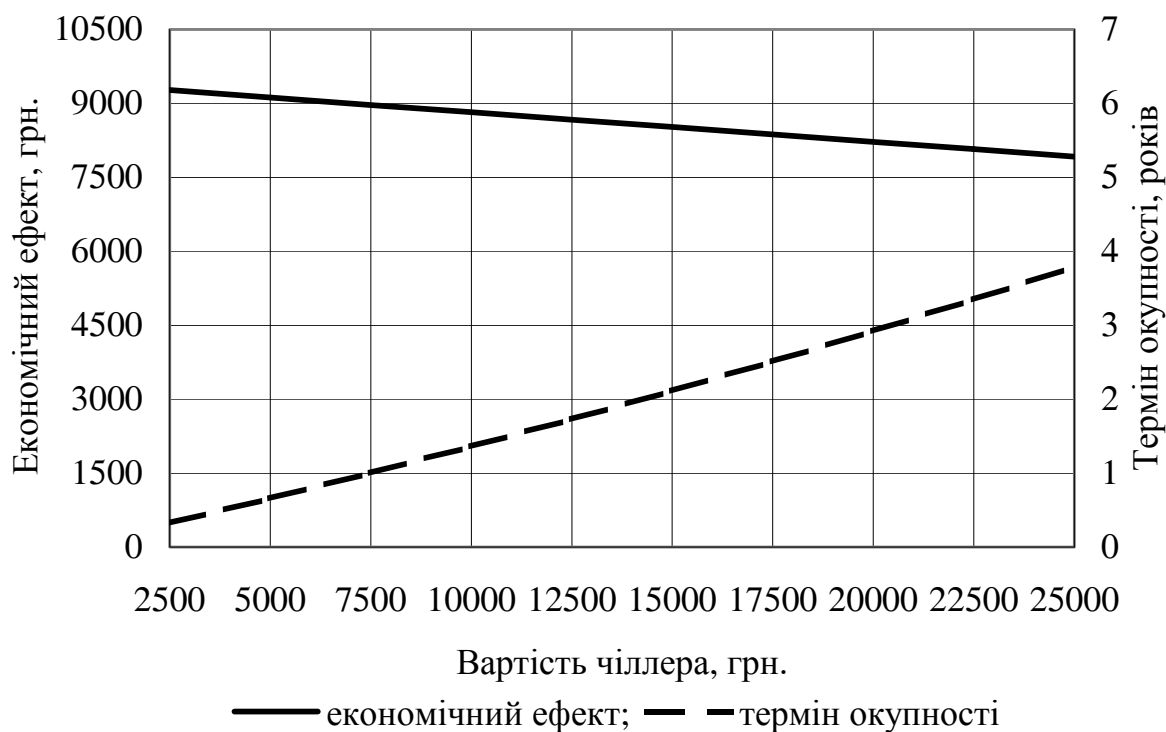


Рис. IV.28 – Економічні показники чіллера для охолодження води в АТО

Таким чином, існуюче холодильне обладнання для одержання холодної води для охолодження повітря в системі вентиляції культиваційного приміщення для вирощування грибів забезпечує отримання економічного ефекту при вирощуванні грибів влітку при прийнятному терміну окупності.

#### **4.8. Економічна ефективність впровадження замкнутої системи опалення та вентиляції у спорудах закритого ґрунту**

Економічна ефективність приводиться на прикладі зимової багатоланкової ґрунтової теплиці площею 0,5 га для підсобних господарств промислових підприємств, типовий проект № 810–1–7.83 [358].

Площу грибного приміщення, яка необхідна для рівноважного газообміну з теплицею, знайдемо із співвідношення кратностей повітрообміну [359].

Кратність повітрообміну в грибниці [91]  $k_G = 6 \text{ год}^{-1}$ .

Кратність повітрообміну в теплиці [137]  $k_T = 3 \text{ год}^{-1}$ .

Встановлено, що ЗСВ повинна мати два повітрообміни: один між приміщеннями, інший – між одним із приміщень і зовнішнім середовищем. Зважаючи на те, що, зазвичай, повітрообмін у грибному приміщенні більший ніж у теплиці, то припустимо, що повітрообмін із зовнішнім середовищем організовано з грибного приміщення.

Знаходимо площу грибного приміщення:

$$A_{gp} = A_m \frac{k_G - k_T}{k_G}, \quad (\text{IV.56})$$

В розрахунках не враховуємо експлуатаційні витрати, однакові для базового і нового варіантів.

Приймаємо, що вартість продукції в обох варіантах однакова.

Витрату тепла в теплиці на: обігрів шатра; вентиляцію; підґрунтовий обігрів; термічну обробку ґрунту; нагрів поливної води приймаємо згідно з [358].

Кількість палива та вартість для його різних видів знаходимо з виразів:

$$M_n = Q_c n, \quad (IV.57)$$

$$C_1 = M_n \cdot C_1,$$

де  $Q_c$  – сумарна витрата теплоти на теплові процеси, кВт;

$n$  – кількість палива на 1 МДж теплоти (табл. III.5), кг/кВт, м<sup>3</sup>/кВт;

$C_1$  – вартість енергоносія, грн./кг, грн./ м<sup>3</sup>.

Кількість [236] та вартість електроенергії, яка витрачається на освітлення затемненого приміщення, знаходимо:

$$M_e = \tau P A_m, \quad (IV.58)$$

$$C_2 = M_e C_2, \quad (IV.59)$$

де  $\tau_c$  – кількість годин роботи освітлення, год.;

$P$  – питома потужність, кВт/ м<sup>2</sup>;

$C_2$  – вартість електроенергії, грн./кВт год.;

Витрата [236] та вартість газу на підживлення CO<sub>2</sub> рослин:

$$M_2 = k_2 \cdot A_m m_n \cdot T, \quad (IV.60)$$

$$C_3 = M_2 C_3, \quad (IV.61)$$

де  $k_2$  – норма підживлення, м<sup>3</sup>/га год.;

$m_n$  – добова норма підживлення рослин, г/діб;

$T$  – тривалість періоду підживлення, діб.;

$C_3$  – вартість енергоносія, грн./м<sup>3</sup>.

Експлуатаційні витрати по варіантам наведено в таблиці IV.19.

Економія експлуатаційних витрат [288]:

$$\Delta E = Z_6 - Z_3, \quad (IV.62)$$

Таблиця IV.19 – Експлуатаційні витрати

Показники	Од. виміру	Розімкнута СВ (базовий варіант)	Замкнута СВ
<b>Витрата тепла в теплицях:</b>			
- на обігрів шатра	МВт·год	7700	7700
- на вентиляцію	МВт·год	7300	3650
- на підґрунтовий обігрів	МВт·год	1400	1400
- на термічну обробку ґрунту	МВт·год	430	430
- на нагрів поливної води	МВт·год	390	390
Всього тепла в теплицях:	МВт·год	17220	13570
- при роботі на мазуті:			
- кількість палива	кг	2108	1661
- вартість (при ціні 0,78 грн./кг):	грн.	1644	1296
- при роботі на вугіллі:			
- кількість палива	кг	5641	4446
- вартість (при ціні 0,27 грн./кг):	грн.	1523	1200
- при роботі на газі:			
- кількість палива	м <sup>3</sup>	2480	1954
- вартість (при ціні 0,36 грн./м <sup>3</sup> )	грн.	893	703
Кількість електроенергії на освітлення в нічній теплиці	МВт год	–	1080
Вартість електроенергії на освітлення в нічній теплиці	тис. грн.	–	344
Витрата газу на підживлення рослин	м <sup>3</sup>	7000	–
Вартість газу на підживлення рослин	тис. грн.	2,5	–
Разом при роботі на мазуті	тис. грн.	1647	1639
Разом при роботі на вугіллі	тис. грн.	1526	1544
Разом при роботі на газі	тис. грн.	895	1047
<b>Витрата тепла в грибниці:</b>			
- на опалення	МВт·год	3850	3850
- на вентиляцію	МВт·год	7300	695
- на термічну обробку соломи	МВт·год	215	215
- на нагрів поливної води	МВт·год	98	98
Всього тепла в грибниці:	МВт·год	11463	4858
- при роботі на мазуті:			
- кількість палива	кг	1403	595
Вартість (при ціні 0,78 грн./кг):	тис. грн.	1094	464
- при роботі на вугіллі:			
- кількість палива	кг	3755	1591
- вартість (при ціні 0,27 грн./кг):	тис. грн.	1014	430
- при роботі на газі:			
- кількість палива	м <sup>3</sup>	1651	699

1	2	3	4
- вартість (при ціні 0,36 грн./м <sup>3</sup> )	тис. грн.	594	252
Разом при роботі на мазуті	тис. грн.	1094	464
Разом при роботі на вугіллі	тис. грн.	1014	430
Разом при роботі на газі	тис. грн.	594	252
<b>Разом по потрійному блоку:</b>			
- при роботі на мазуті	тис. грн.	2741	2103
- при роботі на вугіллі	тис. грн.	2540	1974
- при роботі на газі	тис. грн.	1489	1299

де  $Z_6$  – загальні експлуатаційні витрати по базовому варіанту, грн.;

$Z_3$  – загальні експлуатаційні витрати по варіанту з замкнутою системою опалення та вентиляції, грн.

Загальні експлуатаційні витрати по системі визначаємо як:

$$Z = Ц + P_a + P_{np} + P_{зз}, \quad (IV.63)$$

де  $Ц$  – загальна вартість енергії, грн.;

$P_a$  – амортизаційні відрахування, грн.;

$P_{np}$  – відрахування на поточний ремонт, грн.;

$P_{зз}$  – загальновиробничі витрати, грн.

Термін окупності додаткових капіталовкладень:

$$T = K_{\Pi} / \Delta E, \quad (IV.64)$$

де  $K_{\Pi}$  – додаткові капіталовкладення, грн.

Розрахунок економічної ефективності приведено в таблиці IV.20.

Економія експлуатаційних витрат за розрахунковий період (90 днів) при використанні замкнутої системи опалення та вентиляції в спорудах закритого ґрунту склала: на мазуті – 516 тис. грн. (18,8 %); при роботі на вугіллі – 444 тис. грн. (17,5 %); при роботі на газі – 68 тис. грн. (4,6 %), при терміні окупності додаткових капіталовкладень, відповідно, 0,19; 0,22 та 1,5 роки.

Таблиця IV.20 – Економічна ефективність замкнутої системи опалення та вентиляції

Показники	Од. виміру	Розімкнута СВ (базовий варіант)	Замкнута СВ
Додаткові капіталовкладення, $K_{\Pi}$	тис. грн.	–	100
Вартість енергії, $\Pi$			
- при роботі на мазуті	тис. грн.	2741	2103
- при роботі на вугіллі	тис. грн.	2540	1974
- при роботі на газі	тис. грн.	1489	1299
- амортизація $P_a$ (14,2 % від $K$ )	тис. грн.	–	14,2
- поточний ремонт $P_{\text{пр}}$ (5 % від $K$ )	тис. грн.	–	5,0
- загальновиробничі витрати $P_{\text{зг}}$ (15 % від $P_a + P_{\text{пр}}$ )	тис. грн.	–	2,9
Загальні експлуатаційні витрати, $Z$			
- при роботі на мазуті	тис. грн.	2741	2225
- при роботі на вугіллі	тис. грн.	2540	2096
- при роботі на газі	тис. грн.	1489	1421
Економія експлуатаційних витрат, $\Delta E$			
- при роботі на мазуті	тис. грн.	–	516
- при роботі на вугіллі	тис. грн.	–	444
- при роботі на газі	тис. грн.	–	68
Термін окупності експлуатаційних витрат, $T$			
- при роботі на мазуті	рік	–	0,19
- при роботі на вугіллі	рік	–	0,23
- при роботі на газі	рік	–	1,46

#### 4.9. Економічна ефективність використання теплового насосу в закритому ґрунті

Пропозиція теплових насосів на ринку України останнім часом зросла. Але використання ТН в СЗГ стримується їх відносно високою вартістю та недостатнім науковим обґрунтуванням параметрів роботи останнього. При цьому, приклади ефективного використання ТН в системах вентиляції СЗГ в Україні відсутні. Така ситуація потребує в кожному конкретному випадку визначення техніко-економічних показників ТН в енергозберігаючих системах вентиляції та опалення. Необхідно враховувати також той факт, що теплові насоси не можуть забезпечити тепловий баланс у виробничих приміщеннях при температурі

зовнішнього повітря нижче ніж  $-5$  °С. Таким чином, найбільш доцільно використовувати ТН для реконструкції існуючих систем вентиляції та опалення, забезпечуючи зниження енерговитрат на підігрів припливного повітря або на нагрів води в опалювальній системі. Експлуатаційні витрати при використанні ТН не повинні перевищувати експлуатаційні витрати при використанні традиційного опалення.

Основним джерелом ефективності теплових насосів є економія енергетичних витрат на нагрів припливного повітря в системі вентиляції.

Ефективність ТН зростає із збільшенням: часу їх використання за опалювальний сезон; коефіцієнта утилізації тепла; теплового потенціалу викидного повітря; вартості енергоносіїв, та із зменшенням: коефіцієнта корисної дії традиційного обладнання; теплотворної здатності палива; вартості електроенергії.

Вартість опалення культивацийного приміщення визначається:

$$B = \tau \cdot Q_{\Pi} \cdot R, \quad (\text{IV.65})$$

де  $Q_{\Pi}$  – витрати енергії на нагрів повітря без ТН, кВт;

$R$  – вартість 1 кВт·год. тепла, грн./кВт год.;

$$R = \frac{T_{\Pi}}{Q_E \cdot k}, \quad (\text{IV.66})$$

де  $Q$  – енергомісткість палива, кВт год./кВт г, кВт год./м<sup>3</sup>, кВт год./кг;

$T_{\Pi}$  – вартість палива, грн./кВт год., грн./м<sup>3</sup>, грн./кг;

$k$  – коефіцієнт використання палива.

Для теплового насоса вартість 1 кВт год. тепла визначається:

$$R = \frac{T_{\Pi}}{Q_E \cdot \mu}, \quad (\text{IV.67})$$

де  $\mu$  – коефіцієнт утилізації ТН.

Результат моделювання витрат для дослідної системи показано на рисунку IV.29.

Визначення витрат за період проводимо з виразу:

$$B_{\Pi} = \sum_{i=1}^n (N_{\text{повт}} \cdot \tau \cdot Q_{\Pi} \cdot R), \quad (\text{IV.68})$$

де  $N_{\text{повт}}$  – повторність температур;

$n$  – кількість повторностей температур.

При наявності у споживача двотарифної оплати за електроенергію і, приймаючи, що нічний тариф діє протягом 6 годин (з 24.00 до 6.00 гг.) визначимо середній за добу тариф на електроенергію:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{д.т.}} \cdot 3 + T_{\text{н.т.}}}{4}, \quad (\text{IV.69})$$

де  $T_{\text{д.т.}}$  – денний тариф на електроенергію, грн./кВт год.;

$T_{\text{н.т.}}$  – нічний тариф на електроенергію, грн./кВт год.;

Залежність вартості опалення від температури зовнішнього повітря показана на рисунку IV.29.

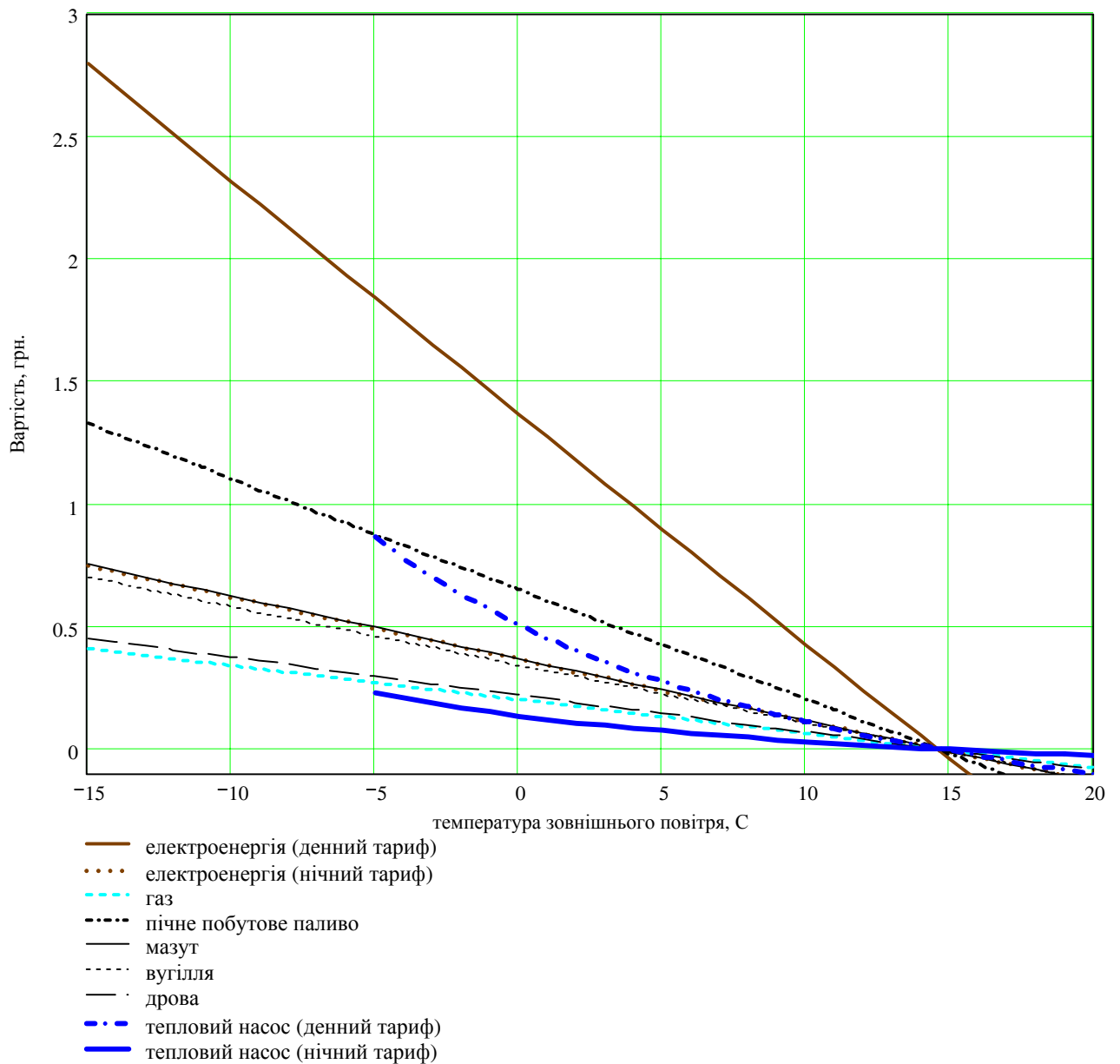


Рис. IV.29 – Вартість години опалення грибниці залежності від температури зовнішнього повітря

Порівняльний графік витрат на опалення в зимовий період (90 діб) за видами палива з використанням і без використання ТН показано на рисунку IV.30.

В результаті аналізу графіків IV.29, IV.30 та III.12 можна зробити попередні висновки:

1. Використання ТН типу “повітря–повітря” при температурі зовнішнього повітря нижче мінус 5 °С стає малоефективним.

2. Використання ТН для опалення при основних енергоносіях

електроенергії, пічному побутовому паливі і мазуті є доцільним протягом доби при денному і нічному тарифах на електроенергію.

3. Використання ТН для опалення при основних енергоносіях газі, вугіллі і дровах доцільне лише вночі при нічному тарифі на електроенергію.

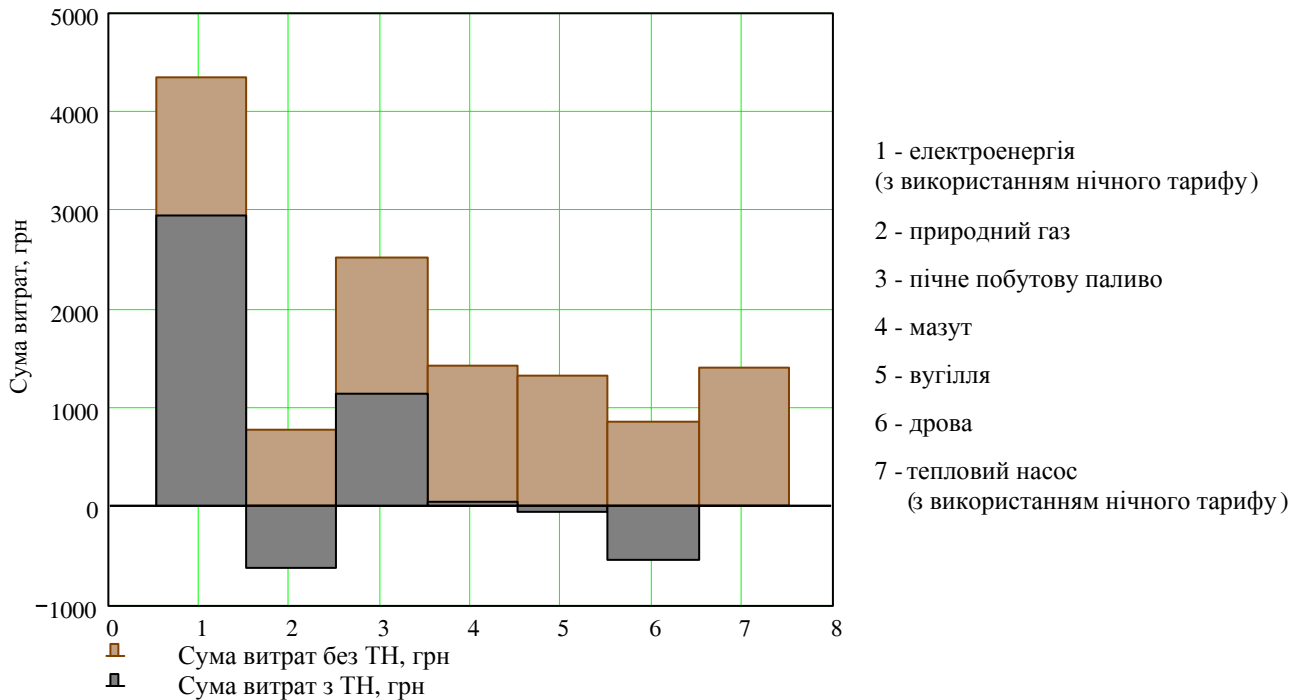


Рис. IV.30 – Витрати на опалення за зимовий період по видах палива з використанням ТН

Враховуючи вищенаведені висновки визначимо економію експлуатаційних витрат при використанні ТН протягом доби при основних енергоносіях – електроенергії, пічному побутовому паливі і мазуті та при використанні ТН вночі для енергоносіїв – газу, вугіллі і дров.

Економія експлуатаційних витрат визначається:

$$\Delta E_{EK} = E_{EK} - E_{EKTH}, \quad (IV.70)$$

де  $E_{EK}$  – експлуатаційні витрати на роботу системи без ТН, грн.;

$E_{EKTH}$  – експлуатаційні витрати на роботу системи з ТН, грн.,

$$E_{EK} = \sum \frac{Q_{II} \cdot T_{II} \cdot N_{новт}}{Q_E \cdot k}, \quad (IV.71)$$

$$E_{EKTH} = 1,2 \cdot (a + p) \cdot n \cdot K + \sum \left[ N_{новт} \cdot \left( \frac{Q_{II} \cdot T_{II}}{Q_E \cdot k} - \frac{Q_{TH} \cdot T_{EH}}{\mu} \right) \right], \quad (IV.72)$$

де  $1,2$  – коефіцієнт, що враховує витрати на монтаж та введення в експлуатацію ТН, відн. од.;

$a, p$  – нормативні коефіцієнти амортизаційних відрахувань та відрахувань на ремонт ТН;

$K$  – вартість ТН, грн.;

$n$  – кількість ТН для модернізації систем вентиляції, шт.;

$Q_{TH}$  – витрати енергії на роботу ТН, кВт;

$T_{EH}$  – вартість електроенергії, грн./кВт год.

Для дослідної теплиці, при внутрішній температурі  $16^\circ\text{C}$  та зміні зовнішньої температури від мінус  $15^\circ\text{C}$  до плюс  $20^\circ\text{C}$ , економія експлуатаційних витрат, при використанні різних видів палива, показана на рисунку IV.31.

Як видно, з рисунку IV.32, використання теплового насоса разом з опалювальною системою, яка працює на традиційному паливі, вигідна лише при використанні електроопалення. У всіх інших випадках тепловий насос використовувати не вигідно. А в разі його встановлення, мають місце збитки у вигляді відрахувань на амортизацію та поточний ремонт.

Розрахунки показали, що із збільшенням вартості ТН зростають амортизаційні відрахування, відрахування на технічне обслуговування та ремонт. Це призводить до зменшення економічної ефективності використання ТН та збільшення терміну їх окупності.

На основі рівняння (IV.72) отримаємо формулу для визначення граничної вартості теплового насоса:

$$K = \frac{\sum \left[ N_{\text{новт}} \cdot \left( \frac{Q_{\text{II}} \cdot T_{\text{II}}}{Q_E \cdot k} - \frac{Q_{\text{TH}} \cdot T_{\text{EH}}}{\mu} \right) \right]}{1,2 \cdot (a + p) \cdot n} \quad (\text{IV.73})$$

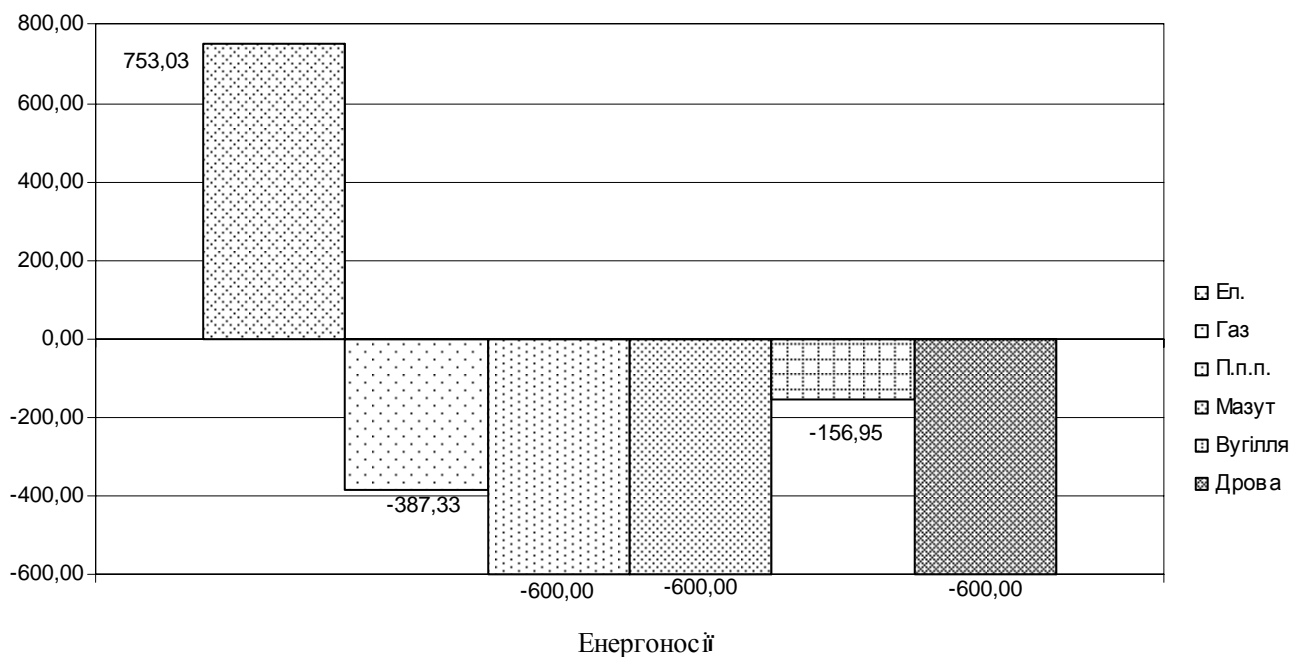


Рис. IV.31 – Економія енерговитрат, грн.

Встановлено, що гранична вартість ТН при середньому значенні коефіцієнта утилізації тепла 2,7 відн. од. та використанні газового палива не повинна перевищувати 9300 грн., або 1700 грн./кВт встановленої потужності, дров – 2600 грн./кВт, вугілля – 2700 грн./кВт, мазуту – 4300 грн./кВт, пічного побутового палива – 7700 грн./кВт, електроенергії – 9000 грн./кВт, (рис. IV.32).

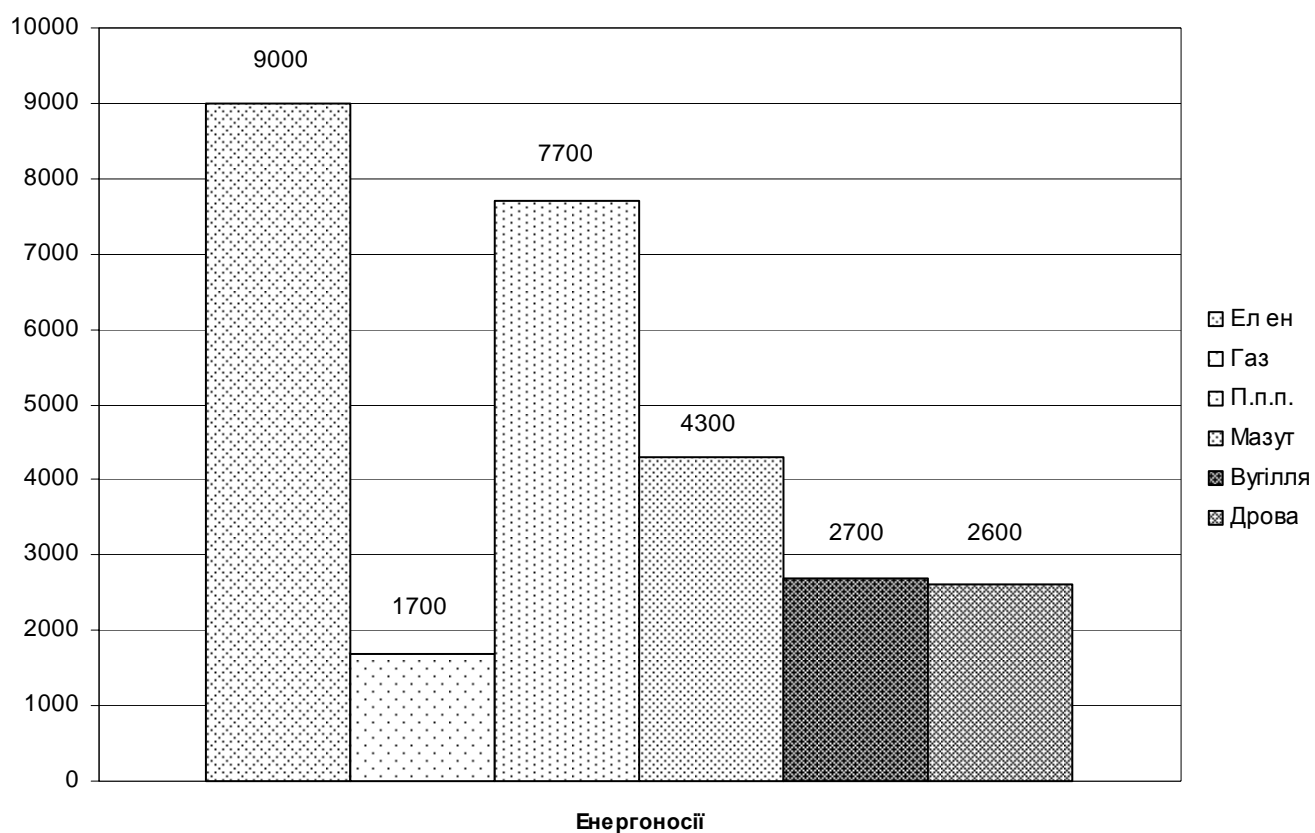


Рис. IV.32 – Гранична вартість теплового насоса, грн./кВт

#### 4.10. Резюме по розділу 4

1. Виробництво їстівних грибів на основі органічної сировини агроценозу є економічно доцільним, сприяє підтриманню родючості ґрунту, дозволяє отримувати продукцію, вирощену на основі органічних добрив, сприяє зайнятості працівників в зимовий період року, підвищує експортні можливості сільськогосподарського виробництва в плані реалізації перероблених грибів, а також дозволяє збільшити питомий прибуток з одного гектара сівозміни від 1,6 до 2,5 разів. В той же час для досягнення бездефіцитного балансу гумусу в сівозміні без виробництва грибів достатньо використовувати 73 % соломи в зоні Лісостепу та 93 % – у Степу.

2. Використання подрібнювача та пакувальної машини при розвантаженні пастеризаційної камери з кількістю субстрату 20 т забезпечує

отримання економічного ефекту при терміні окупності засобів механізації, який не перевищує 3 років.

3. Встановлено, що середнє значення тривалості робочих циклів поршневого ущільнювача коливалось в межах від 8,4 до 37 с, що в загальному циклі процесу ущільнення та пакування становить від 11 до 49 %. Найбільш тривалим робочим циклом є завантаження субстрату до камери ущільнювання, що становить 37 с (49 % загального циклу роботи). Продуктивність ущільнювача субстрату для вирощування гливи становить 896 кг/год. Імовірність того, що щільність запакованих мішків з субстратом знаходилась у технологічно заданому діапазоні від 360 до 400 кг/м<sup>3</sup> становила 85,5 %.

4. Завдяки використанню поршневого ущільнювача забезпечується підвищення якості субстрату (збільшення ймовірності того, що щільність субстрату знаходиться в межах технологічно заданого діапазону та забезпечення більш рівномірного розподілу міцелію завдяки переходу від пошарового до об'ємного розподілу міцелію в субстраті), що дозволяє отримати приріст урожайності гливи. При цьому забезпечується економічний ефект в розмірі 6659,3 грн. за рік, а термін окупності ущільнювача субстрату не перевищує 1 року.

5. Теплоутилізатор в системі вентиляції культиваційного приміщення для вирощування грибів повинен встановлюватися централізовано для роботи на декілька приміщень, при цьому термін окупності теплоутилізатора з центральним водяним теплообмінником не перевищує 6 років, а без нього – 4 років.

6. Використання холодильної машини для охолодження води (чіллера) забезпечує економічний ефект від 7,5 до 10 тис. грн. за два літніх обороти культури. При цьому термін окупності чіллера не перевищує 4 років.

7. Техніко-економічні розрахунки показали, що економія експлуатаційних витрат за розрахунковий період (90 днів) при використанні замкнутої системи вентиляції в спорудах закритого ґрунту склали: при роботі на мазуті – 516 тис. грн. (18,8 %); при роботі на вугіллі – 444 тис. грн. (17,5 %); при роботі на газі – 68 тис. грн. (4,6 %), термін окупності додаткових капіталовкладень, відповідно, 0,19; 0,22 та 1,5 роки.

8. Обґрунтована ефективність використання ТН в системах вентиляції споруд закритого ґрунту. Так, при коефіцієнті утилізації тепла від 2 до 3,5 відн. од., ТН можуть бути використані лише для модернізації систем вентиляції та опалення з електрокотлами.

9. Модернізація опалювально-вентиляційних систем на природному газі може проводитися при використанні ТН вартістю не більше 1700 грн./кВт встановленої потужності. Подальші перспективи використання ТН будуть визначатися темпами подорожчання енергоносіїв, та необхідністю переходу на підтримання в СЗГ із високопродуктивним штамами нормативних параметрів повітрообміну.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Використання екстенсивних методів біологічної конверсії наявних органічних ресурсів в агроценозах є однією з причин низької ефективності сільськогосподарського виробництва. Існуюча тенденція зниження вмісту гумусних речовин у ґрунтах поєднується з неефективним використанням органічної сировини агроценозів, відсутністю концептуального взаємозв'язку окремих елементів біологічної конверсії з наявними ресурсами органічної сировини, а також відсутністю проектних, технологічних та технічних рішень для впровадження біологічної конверсії органічної сировини при існуючих формах організації сільськогосподарського виробництва. Сукупність наукових положень та закономірностей, механіко-технологічні основи створення технічних засобів для біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах із вирощуванням їстівних грибів, а також результати експериментальних досліджень, виробничої перевірки та впровадження дозволили обґрунтувати та розробити ефективні технологічні процеси та технічні засоби для механізації виробництва субстрату та їстівних грибів, що забезпечують підтримання балансу гумусу в ґрунтах та покращують фінансові показники сільськогосподарських підприємств. Виконані дослідження становлять основу для перспективного наукового напрямку створення сучасних технічних засобів для механізації виробництва субстратів та їстівних грибів і дозволяють зробити наступні висновки та рекомендації:

1. Інтенсифікація природного кругообігу органічної сировини може бути досягнута за рахунок здійснення її початкових стадій у штучних умовах. Біологічна конверсія органічної сировини агроценозів із вирощуванням їстівних грибів дозволяє інтенсифікувати процес утворення первинного гумусу, а також отримати додаткову білкову продукцію у вигляді шапкових грибів. Для виробництва гливи звичайної найбільш сприятливою є зона Степу, при цьому нульовий баланс гумусу може бути досягнутий при використанні на виробництво грибів 31 % незернової частини урожаю.

2. Аналіз вітчизняного виробничого досвіду виробництва субстрату для вирощування гливи показав, що ущільнення та пакування субстрату являючись заключною операцією у виробництві субстрату, в значній мірі впливає на його показники якості, а перспективним напрямком підвищення ефективності виробництва субстрату є застосування механізованого процесу ущільнення ущільнювачами поршневого типу, оскільки вони на даний час, в найбільшій мірі задовольняють технологічним вимогам до ущільнення субстрату з одночасним його пакуванням у мішки.

3. Для процесу ущільнення пастеризованого субстрату у вертикальній камері з урахуванням ваги субстрату, яка діє протилежно тиску та при умові, що значення внутрішніх напружень у субстраті над поршнем визначаються за законом Гука, отримано рівняння розподілу тиску в об'ємі субстрату в залежності від відстані до поршня, що дає змогу розрахувати максимальний тиск поршня на субстрат у камері попереднього ущільнення в залежності від фізико-механічних властивостей субстрату та конструкційних особливостей камер попереднього та основного ущільнення, а також визначити модуль пружності субстрату.

4. Встановлено взаємозалежність витрат енергії на ущільнення субстрату у вертикальній камері попереднього ущільнення та на стиснення, переміщення й вивантаження субстрату у горизонтальній камері від пружних властивостей субстрату та конструкції ущільнювача, що дозволило аналітично визначити питому енергомісткість процесу ущільнення й пакування субстрату.

5. Визначено на основі відомих методик фізико-механічні властивості субстрату для вирощування гливи: взаємозалежність бокового та нормального тиску, коефіцієнт тертя по сталі та коефіцієнт поперечного розширення. Встановлено, що при зростанні нормального тиску до 6 кПа значення коефіцієнта бокового тиску субстрату зростає, а в подальшому встановлюється на рівні  $0,9 \pm 0,03$  відн. од. Середня величина коефіцієнта тертя пастеризованого субстрату по сталі становила 0,28 відн. од., а коефіцієнта поперечного розширення ущільнених та запакованих мішків – 1,22 відн. од.

6. Основні конструкційно-технологічні параметри поршневого ущільнювача субстрату визначалися шляхом оптимізації питомої енергомісткості, в тому числі із урахуванням відхилень щільності субстрату від середнього технологічно заданого значення та технологічно заданого діапазону щільності. На основі експериментальних даних отримано рівняння регресії, які дозволяють оптимізувати конструкційно-технологічні показники роботи ущільнювача. Встановлено, що питома енергомісткість без урахування показників якості роботи ущільнювача приймає мінімальне значення при зусиллі протидії руху мішка з субстратом  $F_{\text{ПР}}=92,2$  Н, часі витримки в камері основного ущільнення  $t=15,5$  с та масі порції  $M_{\text{П}}=19,2$  кг. Питома енергомісткість із урахуванням відхилення щільності субстрату від середньої технологічно заданої величини та технологічно заданого діапазону щільності приймає мінімальне значення при зусиллі протидії руху мішка з субстратом від 53 до 58 Н, часі витримки в камері основного ущільнення від 18 до 20 с та масі порції від 16 до 17 кг.

7. На основі експериментальних даних отримано рівняння регресії для визначення взаємозалежності сили протидії руху мішка з субстратом від конструкційних параметрів важільно-амортизаційного прижимного пристрою. Встановлено, що сила протидії руху мішка з субстратом приймає оптимальне значення при ширині прижимного ролика  $L=120$  мм, а величина прикладеного зусилля на важелі може змінюватися від 10 до 15 Н, при мінімальному діаметрі ролика від 35 до 55 мм.

8. В роботі вперше запропоновані і обґрунтовані режими роботи та параметри замкнутої системи опалення та вентиляції (ЗСВ) теплиць. Проведений аналіз теплоутилізаційних та вентиляційних систем показав, що досі не були розроблені системи які дозволяли б одночасно вирішувати питання утилізації теплоти та газового підживлення рослин.

9. Запропонована математична модель тепломасообміну в ЗСВ, яка дозволяє в залежності від поточних значень зовнішніх температур визначати величину повітрообмінів або значення температур в приміщеннях і, відповідно до них, потужність опалювальної системи. Встановлено, що найбільша ефективність

роботи системи спостерігається при: більш низьких температурах зовнішнього повітря; максимально більшій різниці температур в приміщеннях; роботі з нічним приміщенням в якому відсутні теплонадходження від сонячної радіації. В залежності від наведених умов, використання ЗСВ дає можливість зменшити витрати теплової енергії від 12 до 20 %.

10. Для системи споруд “теплиця – грибниця”, для оцінки характеру перехідного процесу розроблено динамічну модель зміни температури субстрату та повітря в залежності від температур повітря в грибниці, теплиці та субстрату. Перехідний процес має експоненціальну залежність.

11. Розроблено динамічну модель зміни концентрації  $\text{CO}_2$ , для оцінки характеру перехідного процесу, яка дозволяє визначати концентрацію  $\text{CO}_2$  в одному із приміщень по завершенню перехідного процесу в залежності від концентрації  $\text{CO}_2$  в припливному повітрі і із іншого приміщення та нормативних значень повітрообмінів. Перехідний процес має експоненціальну залежність. Моделі адаптовані для варіантів роботи системи в замкнутому та розімкнутому режимах, а також при наявності та відсутності повітрообміну із зовнішнім середовищем. Результати експериментальних досліджень показали відповідність отриманих математичних моделей дослідним даним.

12. За результатами експериментальних досліджень отримані рівняння регресії, які встановлюють залежність зміни температури субстрату та повітря в теплицях, а також залежність концентрації  $\text{CO}_2$  при різних режимах роботи в часі.

13. Розроблено структурно-функціональну схему ЗСВ. Запропоновано три варіанти побудови ЗСВ теплиць. Улаштування системи опалення та вентиляції в теплицях залежить від виду та типу споруд і дозволяє використовувати вентиляційні викиди теплиць і забезпечувати природній цикл теплоутилізації та газорегенерації. Основними елементами ЗСВ є грибне та рослинні приміщення, з'єднані між собою системою повітроводів таким чином, щоб забезпечити утилізацію теплоти та регенерацію повітря.

14. Обґрунтовано та розроблено структурно-логічну схему управління ЗСВ, яка передбачає управління технологічними параметрами (температурою,

вологістю, концентрацією CO<sub>2</sub>, освітленістю) в системі. Встановлено, що з точки зору автоматичного управління температурою субстрату та повітря, система являє собою двохемнісний об'єкт. На основі моделі та експериментальних досліджень отримано передаточну функцію об'єкту.

15. Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень дали можливість розробити методику інженерного розрахунку конструкційно-технологічних параметрів та конструкцію поршневого ущільнювача з двома взаємоперпендикулярними камерами ущільнення, який впроваджений у виробництво. Під час виробничих випробувань було встановлено, що ймовірність отримання запакованих мішків із щільністю субстрату, яка знаходиться у технологічно заданому діапазоні щільності від 360 до 400 кг/м<sup>3</sup>, становить 85,5 %.

16. Завдяки використанню ущільнювача субстрату поршневого типу забезпечується підвищення якості субстрату (збільшення ймовірності того, що щільність субстрату знаходиться в межах технологічно заданого діапазону та забезпечення більш рівномірного розподілу міцелію завдяки переходу від пошарового до об'ємного розподілу міцелію в субстраті), що дозволяє отримати приріст урожайності гливи. При цьому забезпечується економічний ефект в розмірі 6659,3 грн. за рік, а термін окупності ущільнювача субстрату не перевищує 1 року.

17. Розроблений на основі рівнянь теплового балансу та теплопередачі алгоритм розрахунку параметрів теплового насосу, дозволяє при заданій температурі зовнішнього повітря і нормативних параметрах мікроклімату у виробничому приміщенні визначити його основні енергетичні параметри. Одержано рівняння регресії для визначення коефіцієнта утилізації тепла в залежності від температури зовнішнього повітря. Розроблена і реалізована за допомогою засобів обчислювальної техніки методика розрахунку граничної температури зовнішнього повітря, при якій можлива робота теплового насосу.

18. Обґрунтована ефективність використання ТН в ЗСВ. Так, при коефіцієнті утилізації тепла від 2 до 3,5 відн. од., ТН можуть бути використані

лише для модернізації систем опалення та вентиляції. Обґрунтована гранична вартість ТН при використанні його замість обладнання, яке працює на традиційних видах палива. Так, наприклад, модернізація опалювально-вентиляційної системи на природному газі може проводитися при вартості ТН не більше 1700 грн./кВт встановленої потужності ТН.

19. Розроблено методику інженерного розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць, основою якої є система рівнянь теплових балансів приміщень, та розроблено програмне забезпечення для інженерного розрахунку ЗСВ. Обґрунтовано співвідношення розмірів теплиць в ЗСВ. Так, на 1 га площі теплиці, для забезпечення газового підживлення рослин, необхідно від 100 до 250 т субстрату гливи або, що 1 т субстрату гливи здатна забезпечити двоокисом вуглецю від 25 до 160 м<sup>2</sup> площі теплиці.

20. Техніко-економічні розрахунки показали, що економія експлуатаційних витрат при використанні ЗСВ в теплицях площею 0,5 га складає, при роботі на: мазуті – 516 тис. грн. (18,8 %); вугіллі – 444 тис. грн. (17,5 %); газі – 68 тис. грн. (4,6 %), при терміні окупності додаткових капіталовкладень, відповідно, 0,19, 0,22, 1,5 роки. Виробнича перевірка проводилась у виробничому приміщенні ТОВ “Славута” Білоцерківського району Київської області. При використанні ЗСВ економія теплової енергії склала 4032 кВт год. (10,7 %), при річному економічному ефекті 4680 грн. і терміні окупності 0,64 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Казокин Ю.И. Грибоводство Голландии // Картофель и овощи. – 1983. – № 3. – С. 33.
2. Ковалев А.Т., Щеглов И.А. Универсальный тепличный комплекс // Картофель и овощи. – 1983. – № 11. – С. 33–35.
3. Барабаш О.Ю., Цизь О.М., Бісько Н.А. Продуктивність 12 штамів печериці двоспорової і габітус їх плодових тіл при культивуванні на синтетичному компості // Вісник аграрної науки. – 1997. – № 8. – с. 13–16.
4. Sakson N. Kostka i co dalej // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2002. – № 1. – S. 12–16.
5. Sakson N. O aktywnosci podloza // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2002. – № 2. – S. 10–14.
6. Sakson N. O uprawie pieczarek na podlozu z fazy III // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2000. – № 1. – S. 6–9.
7. Szudyga K. Glosa dla kostki / Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2002. – № 3. – S. 8–11.
8. Szudyga K. Obchod / Biuletyn Producenta Pieczarek. – 1998. – № 2. – S. 3–8.
9. Szudyga K. Podloze fundamentem pieczarkarstwa // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 1998. – № 3. – S. 4-10.
10. Szudyga K. Struktura / Biuletyn Producenta Pieczarek – 1997. – № 2. – S.2-4.
11. Vedder P.J. La fungicoltura moderna. – Antiga-Grocetta del Montello, 1980. – 405 p.
12. Ziombra M. Zbior owocnikow boczniaka // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2002. – № 1. – S. 56–60.
13. Дараков О.Б. Грибной огород – и здоровье, и доход. – М.: Топикал, 1995. – 192 с.
14. Szudyga K., Maszkiewicz J. Uprawa pieczarek. – Warszawa: Hortpress sp. zo. o., 1991. – 123 s.

15. “Тихе полювання” в Мирному / П. Коротич // Пропозиція. – № 2. – 2000. – С. 35–38.
16. Девочкин Л.А. Шампиньоны. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Агропромиздат, 1989. – 175 с.
17. Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження / К.І. Андресюк, Г.О. Ігутинська, А.Ф. Антипчук, О.В. Валагурова, В.Є. Козирицька, С.П. Пономаренко. – К.: Обереги, 2001. – 240 с.
18. Лыков А.М. и др. Земледелие с почвоведением. – М.: Агропромиздат, 1985. – 431 с.
19. Почвоведение. Учебник для университетов. В 2-х частях / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – М.: Высшая школа, 1988. – Ч. 1: Почва и почвообразование. – 400 с.
20. Рюбензам Э., Рауэ К. Земледелие: Пер. с нем. А.М. Лыкова. – М.: Колос, 1969. – 520 с.
21. Органические удобрения: Справочник / П.Д. Попов, В.И. Хохлов, А.А. Егоров и др. – М.: Агропромиздат, 1988. – 207 с.
22. Мазур Г.А. Роль гумусу в родючості ґрунтів та відтворення його вмісту // Вісник аграрної науки. – 2000. – Спецвипуск, травень. – С. 12–15.
23. Сайко В.Ф., Малієнко А.М., Мазур Г.А. Сталість землеробства: проблеми і шляхи вирішення. – 2-е видання, перероблене і доповнене. – К.: Урожай, 1993. – 320 с.
24. Сафрай А.И. Как приготовить хороший компост ? Схема компостирования и комментарии к ней / Школа грибоводства. – 2000. – № 2 – С. 8–15.
25. Jensen E.S. Nutrient cycling in sustainable farming systems // Journal of the Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry. – 2004. – № 1. – P. 29–33.
26. Mader P. Soil fertility in sustainable farming systems // Journal of the Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry. – 2004. – № 1. – P. 37–40.
27. Bjorklund J. Ecosystem services in an agricultural context // Journal of the Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry. – 2004. – № 1. – P. 21–24.

28. Шикуча М.К., Демиденко О.В. Післязжнивні рештки в ґрунтозахисному землеробстві // Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН – К., 2003. – Спеціальний випуск. – С. 122–131.
29. Балаєв А.Д., Наумовська О.І., Целютін В.П. Солома як органічне добриво на чорноземних ґрунтах // Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН – К., 2003. – Спеціальний випуск. – С. 38–42.
30. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні: Монографія / За редакцією Шикучи М.К. – К.: Оранта. – 2000. – 389 с.
31. Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы: Пер. с польского Г.Н. Мирошниченко. – М.: “Колос”, 1977. – 224 с.
32. Природа моделей и модели природы / Под. ред. Д.М. Гвишиани, И.Б. Новика, С.А. Пегова. – М.: Мысль, 1986. – 270 с.
33. Экологическая биотехнология: Пер. с англ. / Под. ред. К.Ф. Форстера, Д.А. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
34. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы – М.: Издательство Московского университета, 1987. – 256 с.
35. Земледелие с почвоведением / А.М. Лыков, А.А. Коротков, Г.И. Баздырев, А.Ф. Сафронов. – М.: Колос, 1999. – 448 с.
36. Справочник по удобрениям. – М.: “Колос”, 1964. – 719 с.
37. Курганский В.П. Приемы приготовления торфо-навозных компостов в летнее время и их эффективность: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук: 06.01.04 / Белорусский НИИ земледелия. – Жодино, 1972. – 30 с.
38. Паатеро Я., Лехтокари М., Кемпайнен Е. Приготовление компоста. – Хельсенки, 1984. – С. 60–176.
39. Gapinski M., Wozniak W. Pieczarka. Technologia uprawy i przetwarzania. – Poznan: Panstwowe Wydawnictwo Rolnicze i Lesne, 1999. – 415 s.

40. Васильева А.Н., Терещенко Н.Н. Нестандартные технологии приготовления компоста для шампиньонов // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 12. – С. 82–83.

41. Девочкина Н.Л. Термическая обработка субстрата для выращивания шампиньонов: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук: 06.01.06 / НИИ овощного хозяйства МСХ РСФСР. – М., 1987. – 23 с.

42. Gnus R. Niektore roznice w technologii i uprawy pieczarek w zaleznosci od zastosowanego podloza // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 1997. – № 3. – S. 10–15.

43. Sakson N. Kontrola przerostu podloza // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2000. – № 3. – S. 31–35.

44. Голуб Г.А. Біоконверсія органічної сировини в агроценозах з виробництвом печериць // Міжвідомчий тематичний науковий збірник “Механізація та електрифікація сільського господарства”. – Глеваха. – 2000. – Вип. 83. – С. 257–259.

45. Голуб Г.А. Біоконверсія органічної сировини агроценозів в штучних умовах з вирощуванням гливи звичайної // Науковий вісник Національного аграрного університету. – Київ: НАУ. – 2004. – Вип. 73 (ч. 1). – С. 38–44.

46. Голуб Г.А. Біоконверсія органічної сировини агроценозів в штучних умовах з вирощуванням печериць // Зб. наук. праць “Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України”. – Дослідницьке. – 2004. – Вип. 7 (21). – С. 236–240.

47. Голуб Г.А. Біоконверсія органічної сировини при вирощуванні грибів // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 11. – С. 13–16.

48. Голуб Г.А., Горобець Р.В., Дубровіна О.В. Біоконверсія органічної сировини агроценозів у штучних умовах із виробництвом біогазу та печериць // Науковий вісник Національного аграрного університету. – Київ: НАУ. – 2005. – Вип. 80 (ч. 1). – С. 218–222.

49. Плешков К.К., Ткаченко Н.М., Шульгина Л.М. Овощеводство открытого и закрытого грунта. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – К.: Выща школа, 1991. – 351 с.

50. Громов Н.Г. Шампиньоны. – 2-е изд. – М.: Госсельхозизд, 1960. – 176 с.
51. Gapinski M. Wocznik. – Poznan: Panstwowe Wydawnictwo Rolnicze i Lesne, 2001. – 264 s.
52. Жизнь растений. В 6 т. / Главный редактор А.А. Федоров. Под ред. М.В. Горленко. – М.: Просвещение, 1976. – Т. 2: Грибы. – 479 с.
53. Халинский Ю.М. Организационно-экономические основы производства грибов (шампиньонов): Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук: 08.00.05 / Одесский с.-х. институт. – Одесса, 1976. – 24 с.
54. Перепилиця Л.О., Пазюк О.М., Ярош О.П. Вплив фізіологічно активних речовин компостів після культивування гливи *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: FR) Kumm на ріст і розвиток *Allium сера* L. та *Allium satium* L. – 1991. – С. 85–87.
55. Визла Р.Р. Использование излишков соломы в качестве удобрения // Зерновое хозяйство. – 1987. – № 8. – С. 7–8.
56. Анепок П.И. Солома – ценное органическое удобрение // Земледелие. – 1988. – № 1. – С. 48–49.
57. Богуславский В.П. Возможности применения органических удобрений // Земледелие. – 1989. – № 9. – С. 52–53.
58. Зезюков Н.И., Дедов А.В. Роль растительных остатков, соломы и сидератов в воспроизводстве плодородия черноземов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 12. – С. 44–46.
59. Буденный Ю.В., Леонов О.Ю. Особенности агротехники ячменя при использовании соломы в качестве органического удобрения // Зерновые культуры. – 1992. – №1. – С. 23–24.
60. Szudyga K., Maszkiewicz J. Uprawa pieczarek. – Warszawa: Hortpress sp. zo. o., 1995. – 147 s.
61. Ранчева Ц. Интенсивное производство шампиньонов: Пер. с болгарского Г.Ф. Карасева / Под ред. и с пред. Л.А. Девочкина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 190 с.

62. Gapinski M, Sobieralski K. Zastosowanie torfu jako skladnika okrywy w uprawie pieczarek // Ogorodnictwo. – 1983. – № 5. – S. 13–13.
63. Szudyga K. Rola i znaczenie ziemi okrywowej w uprawie pieczarek // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2001. – № 2. – S. 4–7.
64. Лебедь Є.М., Андрусенко І.І., Пабат І.А. Сівозміни при інтенсивному землеробстві. – К.: Урожай, 1992. – 224 с.
65. Бойко. П.І, Бородань В.О., Шиліна Л.І., Коваленко Н.П. Принципи побудови сівозмін в умовах земельної реформи // Вісник аграрної науки. – 2000. – Спеціальний випуск: травень. – С. 31–33.
66. Статистичний щорічник України за 1998 рік / Держкомстат України: За ред. О.Г. Осауленка. – К.: Техніка, 1999. – 576 с.
67. Богданов Г.А. Кормление сельскохозяйственных животных. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Агропромиздат, 1990. – 624 с.
68. Алейников В.И. Послеуборочная обработка семян подсолнечника. – М. Колос, 1979. – 143 с.
69. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / Под редакцией А.В. Красниченко. – М.: Государственное НТИ машиностроительной литературы, 1960. – Т. 1. – 655 с.
70. Баканов В.Н., Менькин В.К. Кормление сельскохозяйственных животных. – М.: Агропромиздат, 1989. – 511 с.
71. Ма С.А. Обоснование технологии первичной переработки сахарной свеклы в хозяйствах. / Сборник научных трудов “Комплексная технология первичной переработки сахарной свеклы”. – М.: ВИМ, 1983. – Т. 98. – С. 3–8.
72. Кормление сельскохозяйственных животных / А.М. Венедиктов, П.И. Викторов, Н.В. Груздев и др. / Под ред. А.П. Калашникова и Н.И. Клейменова - 2-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 366 с.
73. Корма: Справочная книга / В.А. Бондарев, Е.С. Воробьев, В.С. Гуляев и др. / Под ред. М.А. Смурыгина. - М.: “Колос”, 1977. – 368 с.

74. Васильев В.А., Филиппова Н.В. Справочник по органическим удобрениям. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 255 с.

75. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения: Предисловие и перевод с немецкого П.Я. Семенова. – М.: “Колос”, 1978. – 271 с.

76. Справочник зоотехника / А.П. Калашников, О.К. Смирнов, Н.И. Стрекозов и др. / Под ред. А.П. Калашникова и О.К. Смирнова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 479 с.

77. Справочник зоотехника / О.Є. Коноваленко, Ю.Д. Рубан, Ф.К. Терещенко и др. / Под ред. В.М. Землянского. – К.: Урожай, 1977. – 528 с.

78. Богданов М.Н. Учебная книга оператора-птицевода (производство яиц). – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Колос, 1976. – 336 с.

79. Справочная книга по химизации сельского хозяйства / Под ред. В.М. Борисова. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Колос, 1980. – 360 с.

80. Шкарада М. Производство и применение органических удобрений: Пер. с чешского З.К. Благовещенской. – М.: Агропромиздат, 1985. – 364 с.

81. Казокин Ю.И. Влияние состава исходных материалов и технологии приготовления компостов на урожай и качество шампиньонов: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук: 06.01.06 / НИИ овощного хозяйства МСХ РСФСР – М., 1977. – 18 с.

82. Халмирзаев Б.Х. Сорты и субстраты для промышленной тепличной культуры шампиньона: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук: 06.01.06 / Ленинградский с.-х. институт. – Л.-П., 1976. – 19 с.

83. Промышленное культивирование съедобных грибов / Дудка И.А., Вассер С.П., Бухало А.С., Солдатова И.М., Гарибова Л.В., Федоров Н.И., Исаченко А.А., Скибицкая Т.М. / Под общей редакцией И.А. Дудки. – К.: Наукова думка, 1975. – 264 с.

84. Казокин Ю.И. Перспективные направления в грибоводстве // Плодоовощное хозяйство. – 1986. – № 6. – С. 6–9.

85. Цаудер А.П. Расчет масс компонентов субстратов // Плодоовощное хозяйство. – 1987. – № 6. – С. 31.

86. Методические рекомендации по промышленному культивированию съедобных грибов / Дудка И.А., Вассер С.П., Бисько Н.А., Билай В.Т. – К.: Институт математики АН УССР, 1987. – 71 с.

87. Колесникова В.В. Разработка эффективных приемов агротехники шампиньонов: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук: 06.01.06 / НИИ С.-Х. Центральных районов Нечерноземной зоны. – М., 1979. – 23 с.

88. Семенова Г.Л. Влияние компонентов субстратов и органических добавок на урожай и качество шампиньонов: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук 06.01.06 / Ленинградский с.-х. институт. – Л.-П., 1983. – 19 с.

89. Кулеш М.Д. Влияние компонентов и штаммов на рост и плодоношение шампиньона в условиях промышленной культуры: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук: 06.01.06 / Ленинградский с.-х. институт. – Л.-П., 1984. – 17 с.

90. Андриеш В.Н. Безотходное промышленное культивирование вешенки обыкновенной на основе использования нетрадиционных субстратов и нового способа их подготовки: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук: 06.01.06 / Ленинградский с.-х. институт. – Л.-П., 1990. – 19 с.

91. Бухало А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. – К.: Наукова думка, 1988. – 144 с.

92. Дмитренко П. О. Довідник по удобренню сільськогосподарських культур / За ред. Дмитренка П. О., Крупського М. К., Дмитренка І. Г. – 3-е видання, перероблене і доповнене. – К. : Урожай, 1975. – 344 с.

93. Кореньков Д.А., Гаврилов К.А., Шильников И.А., Васильев В.А. Справочник агрохимика. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 350 с.

94. Руководство по выращиванию “Кросс W-77”. – ООО “Славяне”. –1999. – 37 с.

95. Стрельникова Л.В., Казокина Т.А., Казокин Ю.И. Нормы высева мицелия // Плодоовощное хозяйство. – 1987. – № 6. – С. 32.
96. Временные нормы технологического проектирования комплексов для выращивания шампиньонов: ВНТП 28-87. – М., 1987. – 50 с.
97. Дудка И.А., Бисько Н.А., Билай В.Т. Культивирование съедобных грибов – К.: Урожай, 1992. – 160 с.
98. Абросимова Г. Особливості вирощування грибів роду глива // Пропозиція. – № 12. – 2000. – С. 46–47.
99. Пивень И.О., Ермолаева В.Н. Выращивание шампиньонов и вешенки. – Львов: Каменяр, 1988. – 89 с.
100. Буковский Т. Разведение шампиньонов: Пер. с польского. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 71 с.
101. Сафрай А.И. Как приготовить хороший компост ? Фаза 1. Исходные компоненты для приготовления компоста // Школа грибоводства. – 2000. – № 1. – С. 23–27.
102. Ziombra M. Uprawa boczniaka (cz. II) // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2001. – № 3. – S. 55–60.
103. Ziombra M. Warunki wzrostu grzybni i plonowania boczniaka // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2001. – № 4. – S. 56–60.
104. Ziombra M. Wpływ temperatury na plonowanie boczniaka // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2003. – № 2. – S. 62–66.
105. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Попов П.Д.. Теория и практика использования органических удобрений . – М.: Агропромиздат, 1988. – 96 с.
106. Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве / Н.М. Городний, И.А. Мельник, М.Ф. Повхан и др. – К.: Урожай, 1990. – 256 с.
107. Лыков А.М. Гумус и плодородие почвы. – М.: Московский рабочий, 1985. – 192 с.
108. Сайко В.Ф., Лобас М.Г., Яшовський І.В. та ін. Наукові основи ведення зернового господарства / За ред. В.Ф. Сайко. – К.: “Урожай”, 1994. – 334 с.

109. Афендулов К. П. Основы системы удобрения сельскохозяйственных культур в севообороте / К. П. Афендулов. – К. : Урожай, 1971. – 252 с.
110. Голуб Г. А. Технологія виробництва компостів для ефективного відтворення родючості ґрунтів / Г. А. Голуб // Хімія, агрономія, сервіс. – 2006. – № 8. – С. 14–15.
111. Голуб Г. А. Проблеми біоконверсії органічної сировини в агроценозах / Г. А. Голуб // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 1. – С. 43–48.
112. Сычев П. А. Грибы и грибоводство / Авт. – сост. П. А. Сычев, Н. П. Ткаченко. – М. : ООО “Издательство АСТ”, Донецк : Сталкер, 2003. – 511 с.
113. Gerrits J. P. The influence of water in mushroom compost / J. P. Gerrits // Mushroom Science. – 1972. – № 8. – P. 43–57.
114. Гайденко О. М. Біоконверсія соломи із виробництвом гливи звичайної / О. М. Гайденко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград : КНТУ, 2006. – Вип. 17. – С. 95–99.
115. Русанов А. И. Механизация уборки соломы / А. И. Русанов, Н. Г. Спивак. – М. : Колос, 1973. – 176 с.
116. Раптунович Е. С. Искусственное выращивание съедобных грибов / Е. С. Раптунович, Н. И Федоров. – Мн. : Выш. шк., 1994. – 206 с.
117. Особов В. И. Исследование процесса брикетирования сена : автореф. дис. на соискание научн. степени к. т. н. / В. И. Особов. – М., 1963, С. 8–12.
118. Рожнева Н. Галузь, що немає аналогів / Н. Рожнева // Хімія, агрономія, сервіс. – 2007. – № 15–16. – С. 5–8.
119. Бакарджиев Р. О. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы пресс-брикетировщика для утилизации растительных материалов : дис. ...канд. техн. наук : Р. О. Бакарджиев. – Мелитополь, 1997. – 153 с.
120. Бакарджиев Р. О. Кращі режими виготовлення паливних брикетів / Р. О. Бакарджиев // Техніка АПК. – 1997. – № 1. – С. 18–19.

121. Бакарджиев Р. О. Визначення властивостей брикетованих матеріалів / Р. О. Бакарджиев // Техніка АПК. – 1997. – № 1. – С. 20–21.
122. Алешкин В. Р. Механизация животноводства / В. Р. Алешкин, П. М. Рощин / под ред. С. В. Мельникова. – М. : Агропромиздат, – 1985. – 336 с.
123. Особов В. И. Сеноуборочные машины и комплексы / В. И. Особов, Г. К. Васильев. – М. : Машиностроение, 1983. – 304 с.
124. Голуб Г. А. Параметри стрічково-вальцевого ущільнювача субстрату при вирощуванні їстівних грибів / Г. А. Голуб // Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвідомчий тематичний наук. зб. – Глеваха. – 2004. – Вип. 88. – С. 193–199.
125. Голуб Г. А. Оптимізація параметрів барабанно-пальцевого розпушувача компосту / Г. А. Голуб // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 11. – С. 59–61.
126. Голуб Г. А. Технологічний процес виробництва субстрату для вирощування печериць / Г. А. Голуб // Наук.–вироб. видання. – К. : Науковий світ, 2005. – 22 с.
127. Голуб Г. А. Механізація виробництва компостів, субстратів та їстівних грибів – суттєвий фактор зміцнення аграрного сектору економіки / Г. А. Голуб // Хімія, агрономія, сервіс. – 2006. – № 9–10. – С. 26–27.
128. Дудка И. А. Промышленное культивирование съедобных грибов / Дудка И. А., Вассер С. П., Бухало А. С. – К. : Наук. думка, 1978. – 264 с.
129. Impianti per fungicoltura : officine meccaniche Vierrebi s.n.c. – Via Certosa, 1 – 35010 Vigodarzere ( PD ) Italy, 2002. – 25 S.
130. Особов В. И. Классификация рабочих органов для уплотнения сеносоломистых материалов / В. И. Особов, А. В. Голяновский // Тракторы и сельхозмашины. – 1971. – № 11.
131. Кучинксас Х. М. Оборудование для сушки, гранулирования и брикетирования кормов / Кучинксас Х. М., Особов В. И., Фрегер Ю. Л. – М. : Агропромиздат, 1988. – 208 с.

132. Особов В. И. Машины и оборудование для уплотнения сено-соломистых материалов / В. И. Особов, Г. К. Васильев, А. В. Голяновский. – М. : Машиностроение, 1974. – 231 с.

133. Особов В. И. Машины для брикетирования растительных материалов / В. И. Особов. – М. : Машиностроение, 1971. – 187 с.

134. Некрашевич В. Ф. Научно-техническое обоснование технологии и средств механизации приготовления кормовых гранул и брикетов с заданными физико-механическими свойствами : автореф. дис. на соискание научн. степени доктора техн. наук / В. Ф. Некрашевич. – Л.-П., 1983. – 20 с.

135. Фарбман Г. Я. Исследование закономерностей процесса прессования травяной муки / Г. Я. Фарбман : записки ЛСХИ, Т. 230, Л.-П., 1973. – С. 24.

136. Подкозьин Ю. В. Исследование рабочего процесса и обоснование конструктивных параметров пресса для гранулирования и брикетирования : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук / Ю. В. Подкозьин. – Л.-П., 1975. – 24 с.

137. Зленко Н. И. Обоснование частного режима брикетного пресса / Н. И. Зленко, В. Н. Еремченко // Мех. и электр. соц. сел. хоз-ва. – 1979. – № 3.

138. Хилков Н. В. Оптимизация режимов работы пресса-брикетировщика ОПК-2,0 / Н. В. Хилков : записки ЛСХИ, Т. 336, Ленинград–Пушкин, 1977, С. 14.

139. Фарбман Г. Я. Особенности процессов брикетирования и гранулирования / Г. Я. Фарбман : записки ЛСХИ, Т. 362, Ленинград–Пушкин, 1978, С. 74–76.

140. Алферов С. А. Исследование процесса прессования соломы: автореф. дис. на соискание научн. степени к. т. н. / С. А. Алферов. – М., 1955. – 19 с.

141. Долгов И. А. Научные основы методики расчета рабочих органов прессующих, брикетирующих и прокатывающих сеноуборочных машин : дис. ...доктора техн. наук / Долгов И. А. – М., 1971. – 220 с.

142. Колотев А. А. Исследование энергоемкости процесса пресования сена в брикеты : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук / А. А. Колотев. – Алма-Ата, 1969. – 22 с.

143. Шульга Г. Н. Исследование и обоснование технологического процесса и рабочего органа плунжерного типа для пресования сена в брикеты : автореф. дис. на соискание научн. степени к. т. н. / Г. Н. Шульга. – Минск, 1974. – 24 с.

144. Щербина В. И. Обоснование технологического процесса, конструктивных параметров и режима работы конвейерно-вальцевого пресса для брикетирования кормосмесей : дис. ...канд. техн. наук / Щербина В. И. – зерноград, 1986. – 209 с.

145. Сільськогосподарські машини : теоретичні основи, конструкція, проектування / Сисолін П. В., Рибак Т. І., Сало В. М. ; за ред. М. І. Черновола. – К. : Урожай, 2002. – 364 с.

146. Горячкин В. П. Собрание сочинений : в 3 т. / В. П. Горячкин ; под ред. Н. Д. Лучинского. – М. : Колос, 1968. – Т. 3. – 384 с.

147. Лазебный А. Ф. К расчету косилки-плющилки / А. Ф. Лазебный // Тракторы и сельхозмашины. – 1961. – № 3. – С. 32–33.

148. Маяковский И. А. Теоретические основы прокатки вальцами сельскохозяйственных растений / И. А. Маяковский // Материалы НТС ВИСХОМ. – М. : ОНТИ ВИСХОМ, 1964. – вып. 17. – С. 129–140.

149. Симакин Ю. А. Исследование процесса брикетирования кормов зубчатым рабочим органом : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук / Ю. А. Симакин. – Краснодар, 1978. – 24 с.

150. А. с. 1192712 СССР, А 01 F 15/04. Брикетный пресс / П. М. Рощин, П. В. Яговкин, В. В. Князев ; заявл. 10.05.84 ; опубл. 23.11.85, Бюл. № 43.

151. А. с. 912111 СССР, А 01 F 15/04. Пресс для сеносоломистых материалов / И. Я. Федоренко, В. И. Земсков ; заявл. 02.10.80 ; опубл. 15.03.82, Бюл. № 10.

152. А. с. 912112 СССР А 01 F 15/04. Пресс для сеносоломистых материалов / П. М. Рошин, П. В. Яговкин ; заявл. 31.10.80 ; опубл. 15.03.82, Бюл. № 10.

153. А. с. 1713487 СССР А 01 F 15/04. Пресс для прессования волокнистых материалов / Г. Л. Бобков, А. М. Ипатов, А. Н. Пигалов, Е. Л. Пашин ; заявл. 30.05.90 ; опубл. 23.02.92, Бюл. № 7.

154. А. с. 1410905 СССР А 01 F 15/04. Брикетный пресс / К. К. Овчинников ; заявл. 19.08.85 ; опубл. 23.07.88, Бюл. № 27.

155. А. с. 961600 СССР А 01 F 15/04. Устройство для прессования материалов / П. М. Рошин, П. В. Яговкин ; заявл. 07.01.81 ; опубл. 30.09.82, Бюл. № 36.

156. А. с. 13348/450783 СССР А 01 F 15/04. Поршневой пресс для сена, хлопка и тому подобных материалов / заявл. 26.02.55 ; опубл. 17.09.56, Бюл. № 18.

157. Гайденко О. М. Особливості технічних засобів для ущільнення і пакування соломистих матеріалів / О. М. Гайденко // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 11. – С. 76–79.

158. Григорьев А. А. Изыскание и исследование новых способов прессования сена в рулоны : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук / А. А. Григорьев. – М., 1967. – 24 с.

159. Гутьяр Е. М. Опыт теории сенопресования. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / Е. М. Гутьяр. – М. : Сельхозгиз, 1936. – Т. IV. – 352 с.

160. Пустыгин М. А. Теория и технологический расчет молотильных устройств / М. А. Пустыгин. – М. : Сельхозгиз, 1948. – 93 с.

161. Пустыгин М. А. Закон сжатия слоя стеблей сена / М. А. Пустыгин // Сельхозмашина. – 1937. – № 12. – С. 14–17.

162. Особов В. И. Технологические основы расчета рабочих органов для уплотнения сено-соломистых материалов : дис. ...доктора техн. наук / Особов В. И. – Л.–П., 1971. – 381 с.

163. Храпач Е. И. Теоретическое и экспериментальное исследование соломопресса для комбайна : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук / Е. И. Храпач. – Харьков, 1956. – 15 с.

164. Пережогин М. А. Исследование процессов брикетирования грубых кормов : автореф. дис. на соискание научн. степени к. т. н. / М. А. Пережогин. – Челябинск, 1963. – 19 с.

165. Skalweit X. Krafte und Beanspruchungen in Strohpressen RKTD : Schriften Heftss, 1938, S. 30–35.

166. Butler J. L. Factors affecting the pelleting of hau / J. L. Butler, H. F. Mc.Colli // Agricultural Engineering. – 1959. – № 8. – R. 442–448.

167. Канафойский Ч. К вопросу об изучении явлений, происходящих во время молотбы бильными барабанами / Ч. Канафойский : труды Института сельскохозяйственного машиностроения при Львовском политехникуме в Люблине, 1934. – 240 с.

168. Голуб Г. А. Механіко-технологічне обґрунтування технічних засобів для агропромислового виробництва їстівних грибів : автореф. дис. на здобуття наук. степеня д-ра техн. наук : 05.05.11 / Г. А. Голуб. – Глеваха, 2005. – 40 с.

169. Голуб Г. А. Механіко-технологічне обґрунтування технічних засобів для агропромислового виробництва їстівних грибів : дис. ...д-ра т. н. : 05.05.11 / Голуб Г. А. – Глеваха, 2005. – 422 с.

170. Голуб Г. А. Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко-технологічні основи / Г. А. Голуб. – К. : Аграрна наука, 2007. – 332 с.

171. Линник Н. Органическое сырье для почвы: разумно и выгодно / Н. Линник, М. Мельничук, Г. Голуб // Зерно. – 2006. – октябрь. – С. 78–85.

172. Mewes E. Verdichtungagesetzmapigkeit nach Presstopferachen / E. Mewes // Langtechntsche Forschung. – 1959. – Н. 3. – S. 68–76.

173. Вольф И. И. О сенных прессах / И. И. Вольф, А. А. Чапкевич // Вестник металлопромышленности. – 1928. – № 12.

174. Шаукентаев Ж. Т. Исследование процесса уплотнения соломистых материалов и обоснование параметров уплотнителя к тракторным прицепах типа ПТС-40 : автореф. дис. на соискание научн. степени к. т. н. /Ж. Т. Шаукентаев. – Алма-Ата, 1971. – 25 с.

175. Голяновский А. В. Изыскание и исследование рабочего органа непрерывного действия для прессования сено-соломистых материалов : автореф. дис. на соискание научн. степени к. т. наук / А. В. Голяновский. – М., 1973. – 23 с.

176. Муратов А. М. Исследование влияние вибрации на сопротивление сена при прессовании : автореф. дис. на соискание научн. степени к. т. наук / А. М. Муратов. – Алма-Ата, 1964. – 20 с.

177. Busse W. Untersuchungen auf dem Gebiet des Briettierenga von Haimgut / W. Busse // Grudlagen der Landetechnik. – 1953. – № 18. – S. 7–9.

178. Яговкин П. В. Разработка, исследования и обоснование непрерывного рабочего процесса штемпельного брикетного : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук // П. В. Яговкин. – Ленинград–Пушкин, 1982. – 20 с.

179. Кузьменко В. Ф. Обоснование технологического процесса и параметров рабочих органов для формирования массы при секционном заполнении траншейных хранилищ : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук // В. Ф. Кузьменко. – Глеваха, 1990. – 19 с.

180. Лысоконь В. П. Исследование гранулирования витаминной травяной муки плоской матрицей и коническими прессующими вальцами : автореф. дис. на соискание научн. степени к. т. наук // В. П. Лысоконь. – Минск, 1970. – 22 с.

181. Голуб Г.А., Огороднік А.І. Динаміка розігріву компосту у пастеризаційній камері // Міжвідомчий тематичний наук. зб. “Механізація та електрифікація сільського господарства”. – Київ. – 1997. – Вип. 82. – С. 64–66.

182. Огороднік А.І., Голуб Г.А. Енергозберігаючий цикл біотермообробки компостів у грибництві // Міжвідомчий тематичний наук.-техн. зб. “Механізація та електрифікація сільського господарства”. – Київ. – 1994. – Вип. 79. – С. 31–34.

183. Гуляев Н.Ф. Аэрационный, влажностный и тепловой режим при биотермических процессах обезвреживания твердых отходов // Сборник научных

работ АКХ им. К.Д. Панфилова “Обезвреживание и использование городских отбросов”. – 1962. – Вып. XIV. – С. 117-135.

184. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – 4-е издание, стереотипное. – М.: Госиздат, 1959. – 783 с.

185. Голуб Г.А., Огородник А.І. Обґрунтування параметрів теплообмінника-утилізатора тепла ферментаційної камери // Міжвідомчий тематичний науково-технічний збірник “Механізація та електрифікація сільського господарства”. – Київ. – 1994. – Вип. 80. – С. 10–13.

186. Патент на винахід 83562 Україна, МПК А 01 F 15/00. Ущільнювач субстрату / Гайденко О. М., Голуб Г. А. ; заявник та власник патенту Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН. – № а 200611216; заявл. 24.10.06; опубл. 25.07.08, Бюл. № 14. – 7 с.

187. Голуб Г. А. Параметри поршневого ущільнювача субстрату при вирощуванні грибів // Г. А. Голуб. – Вісник аграрної науки. – 2004. – № 4. – С. 50.

188. Голуб Г. А. Аналіз безопорного ущільнення субстрату для вирощування гливи / Г. А. Голуб, О. М. Гайденко // Наук. вісник Національного аграрного університету. – К. : НАУ. – 2007. – Вип. 117. – С. 393–397.

189. Голуб Г. А. Аналіз взаємодії поршня із субстратом під час його попереднього ущільнення / Г. А. Голуб, О. М. Гайденко // Сільськогосподарські машини : зб. наук. статей. – Луцьк : Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2007. – Вип. 15. – С. 82–88.

190. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1984. – 832 с.

191. Патент на винахід 82928 Україна, МПК А 01 F 15/00. Ущільнювач субстрату / Голуб Г. А., Гайденко О. М. ; заявник та власник патенту Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН. – № а 2006 08008 ; заявл. 17.07.06; опубл. 26.05.08, Бюл. № 10. – 7 с.

192. Голуб Г. Критерії оптимізації параметрів машин та обладнання / Г. Голуб // Вісник Львівського національного аграрного університету :

агроінженерні дослідження. – Львів : Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – № 12 (2). – С. 17–24.

193. Смаглий В. И., Максимов В. Ф. Разработать и внедрить в опытное производство технологический процесс и комплекс оборудования для производства жидких кормовых дрожжей на основе концентратов и продуктов переработки отходов растениеводства : научн. отчет. – УНИИМЭСХ, 1986. – 36 с.

194. Гайденко О. М. Обґрунтування типу конструкції експериментального зразка ущільнювача соломистого субстрату / О. М. Гайденко // Матеріали II Всеукр. наук.-прак. конф. молодих вчених і спеціалістів “Агропромислове виробництво України – стан та перспективи розвитку”. – Вісник Степу : наук. зб. – Кіровоград : Видавництво ПП “Ліра ЛТД”, 2006. – Вип. 3. – С. 147–150.

195. Корма растительного происхождения. Методы отбора проб : ГОСТ 27262–87. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 25 с.

196. Корма растительные. Методы определения содержания влаги : ГОСТ 27548–97. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 23 с.

197. Машины та обладнання для приготування кормів. Методи функціональних випробувань : ДСТУ 46.007–2000. – К. : Мінагрополітики України, 2000. – 27 с.

198. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф.– Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 303 с.

199. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – М. : Колос, 1973. – 199 с.

200. Кукта Г. М. Технология переработки и приготовления кормов / Г. М. Кукта. – М. : Колос, 1978. – 240 с.

201. Кукта Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. – М. : Агропромиздат, 1987. – 335 с.

202. Прибор П10-С для испытаний грунтов на сдвиг в полевых условиях. Инструкция по эксплуатации, 1974. – 10 с.

203. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 276 с.

204. Ваттметр и варметр самопишущие щитове Н395. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 1988. – 30 с.

205. Производственная програма. Каталог ОАО “Винницкий завод тракторных агрегатов”, 2002. – 13 с.

206. Гидроцилиндры. Каталог ОАО “Винницкий завод тракторных агрегатов”, 2002. – 42 с.

207. Ганелин А. М. Применение электрической энергии в сельскохозяйственном производстве / А. М. Ганелин // Под ред. акад. ВАСХНИЛ П. Н. Листова. – М. : Колос, 1974. – 623 с.

208. Гайденко О. М. Параметри поршневого ущільнювача соломистого субстрату / О. М. Гайденко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодержавний міжвідомчий наук.-тех. зб. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – Вип. 38. – С. 73–76.

209. Виговський А. Експериментальні дослідження транспортерно-гвинтового доочисника вороху коренеплодів / А. Виговський // Техніка АПК. – 2006. – № 9. – С. 42–45.

210. Гайденко О. М. Експериментальні дослідження продуктивності поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи / О. М. Гайденко // Науковий вісник Національного аграрного університету / Редкол. : Д. О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2008. – Вип. 125. – С. 400–404.

211. Гайденко О. М. Енергетичні показники поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи / О. М. Гайденко, Г. А. Голуб // Науковий вісник Національного аграрного університету / Редкол. : Д. О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2008. – Вип. 125. – С. 251–257.

212. Голуб Г. Дослідження якісних та енергетичних показників поршневого ущільнювача субстрату для вирощування гливи / Г. Голуб, О. Гайденко // Вісник

Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – Львів : Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – № 12 (2). – С. 137–144.

213. Зажигаев Л. С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Зажигаев Л. С., Китьян А. А., Романников Ю. И. – М. : Атомиздат, 1978. – 232 с.

214. Закс Л. Статическое оценивание / Л. Закс. – М. : Статистика, 1976. – 597 с.

215. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельско–хозяйственных процессов / Мельников С. В., Алешкин В. Р., Роцин П. М. – Л. : Колос, 1972. – 200 с.

216. Маркова Е. В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е. В. Маркова, А. Н. Лисенков. – М. : Наука, 1973. – 120 с.

217. Касандрова О. Н. Обработка результатов измерений / О. Н. Касандрова, В. В. Лебедев. – М. : Наука, 1970. – 104 с.

218. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для нормального распределения : ГОСТ 11.004–74 СТ СЭВ 876–798. – М. : Изд-во стандартов, 1975. – 20 с.

219. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшинский. – М. : Наука, 1971. – 192 с.

220. Брянский Л. Н. Краткий справочник метролога / Л. Н. Брянский, А. С. Дойников. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 79 с.

221. Аністратенко В. О. Математичне планування експериментів в АПК / В. О. Аністратенко, В. Г. Федоров. – К. : Вища шк., 1993. – 375 с.

222. Малхорта М. Маркетинговые исследования / М. Малхорта, К. Нэреш. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2002. – 960 с.

223. Митков А. Я. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А. Я. Митков, С. В. Кардашевский. – М. : Машиностроение, 1978. – 390 с.

224. Голуб Г.А. Конструктивні параметри стелажів для вирощування гливи звичайної // Техніка АПК. – 2004. – № 8. – С. 18–19.

225. Сборник задач по сопротивлению материалов: Учебное пособие для вузов / Под ред. Александрова А.В. – М.: Стройиздат, 1977. – 335 с.

226. Сопротивление материалов / Под редакцией Писаренко Г.С. – 5-е издание, переработанное и дополненное. – К.: Вища школа, 1986. – 775 с.

227. Вдовенко С.А. Кепко О.І. Як побудувати шампінйонницю // Пропозиція. – 2002. – № 7. – С. 52–54.

228. Вдовенко С.А., Кепко О.І. Як побудувати шампінйонницю // Пропозиція. – 2002. – № 8-9. – С. 52–54.

229. Лихацький В.І. та ін. Овочівництво: В 2 ч. ч. 1: Теоретичні основи овочівництва та культивацийні споруди. – К.: Урожай, 1996. – 304 с.

230. Слепцов Ю. Сучасна теплиця: від парника до гідропонної технології. // Пропозиція. – 1999. – № 1. – С. 26–27.

231. Теплиці і тепличні господарства / Г.Г. Шишко, Л.Т. Сулима, Л.С. Чебанов; За ред. Г.Г. Шишка. – К.: Урожай, 1993. – 424 с.

232. Барабаш О.Д. Овочівництво: Підручник, – К.: Вища школа, 1994. – 374 с.

233. Овощеводство защищенного грунта / В.А. Брызгалов, В.Е. Советкина, Н.И. Савинова; Под. ред. В.А. Брызгалова. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1983. – 352 с.

234. Рысс А.А. Гурвич Л.И. Автоматическое управление температурным режимом в теплицах. – М.: Агропромиздат, 1986. – 128 с.,

235. Шишко Г.Г. и др. Отопление и вентиляция теплиц, – К.; Будівельник, 1984. – 112 с.

236. Микроклиматические основы тепличного овощеводства / Пер. с болг. Е.С. Сигаева. С предисл. Н.С. Гончарука. – М.: 1982. – 175 с.

237. Гайдук В.М. Електронагрівні сільськогосподарські установки / Редкол.: В.І. Полонець (голова) та ін. – К.: Урожай, 1986. – 144 с.

238. Енергозбереження – найактуальніша тема // Енергозберігаючі технології та автоматизація. – 2002. № 2. – С. 22–23.

239. Дубровин В.А. Развитие технологий использования возобновляемых источников энергии в Украине // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 2. – С. 120–126.

240. Рысс А.А., Автоматизация технологических процессов в защищенном грунте. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 80 с.

241. Степанова В.Э. Возобновляемые источники энергии на сельскохозяйственных предприятиях. – М.: Агропромиздат, 1989. – 112 с.

242. Богословский В.П. Отопление и вентиляция. – М.: Стройиздат, 1976. – ч. 2. – 198 с.

243. Строй А.Ф. Теплоснабжение и вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений: Учеб. пособие для вузов. – К.: Вища школа, 1983. – 215 с.

244. Козирський В.В., Волошин С.М. Аналіз систем природної вентиляції теплиць // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 1. – С. 30–35.

245. Мотэс Э.В. Микроклимат животноводческих помещений. – М.: Колос, 1976. – 190 с.

246. Бондаренко С.П., Гренишин Н.Т. Установка микроклимата с утилизацией теплоты вентиляционного воздуха // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 6. – с. 31–34.

247. Драганов Б.Х., Пчёлкин Ю.М. Экономия энергоресурсов в сельском хозяйстве. – К.: Урожай, 1983. – 80 с.

248. Корчемний Микола, Федорейко Валерій, Щербань Володимир. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. – Тернопіль: Підручники і посібники. 2001. – 984 с.

249. Антонов П.П., Быстров В.П. Агропромышленный комплекс: пути обеспечения микроклимата в зданиях // Авок. - 1992, № 5. – с. 34–35.

250. Голуб Г.А. Оцінка енергетичної ефективності теплоутилізаторів у системі вентиляції культивацийних приміщень для вирощування печериць //

Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 3(8). – С. 78–84.

251. Черков Ю.Г. Фотосинтез – два века спустя. – М.: Знание, 1981. –282 с.

252. Авт. св. СССР № 571672 “Система кондиционирования воздуха в здании”.

253. Авт. св. СССР № 950241 “Теплица с искусственным микроклиматом”.

254. Беккер З.Э. Физиология грибов и их практическое использование. изд. МГУ, – М.: 1963. – 268 с.

255. Беккер З.Э. Физиология и биохимия грибов –М.: Из-во МГУ, 1988. – 227 с.

256. Cook W.B. More W.A. Kobler P.W. BOD satisfaction by fungi Sewege and Industr. Wastev., 28, №. 9. – 1956. – S. 1075–1086.

257. Kostytshev S.P. Uber die normale und anaerobe atmung bei Abwesenheit von Zucker. Jahrb. f. wiss. Bot. – 1904. – S. 40.

258. Vedder P.J.C. Nowoczesna uprawa pieczarki. – Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1980. – 423 с.

259. Заявка № 3–65929, Япония (JP)В “Устройство для выращивания растений”.

260. Авт.св. СССР № 1579481 “Способ создания микроклимата в теплице”.

261. Адаменко О.І., Голодний І.М. Технічні засоби для масового вирощування одноклітинних водоростей // Вісник аграрної науки. – 1996. – № 2. С. 65–72.

262. Адаменко О.І., Голодний І.М., Сокольніков Л.І. Енергетичний агрегат для замкнутої системи вентиляції приміщень // Міжнародна науково–технічна конференція з питань розвитку механізації, електрифікації та автоматизації с. г. виробництва в умовах ринкових відносин: Тези доповідей. 15–17 лист. 1994. – С. 205.

263. Голодний І.М. До питання вибору світлового режиму при вирощуванні спіруліни // Механізація і електрифікація сільського хоз-ва. – 2002. – № 86. – С. 233–237.
264. Драганов Б.Х. Земля багата сонцем. – К. : Знання, 1998. – 48 с.
265. Головка В.М. Оцінка ефективності використання установок для утилізації енергії сонячної радіації та вітру // Вісник аграрної науки. – 1997. – № 12. – С. 45-47.
266. Лінник М. К. Шляхи енергозбереження у сільському господарстві // Агротехсервіс. – 1996. – № 8-9.
267. Зленко А.А., Семенко В.Д., Смирский Ю.Н. Теплофизические свойства наружных ограждающих конструкций зданий, выполненных из материалов ОАО “Светловодский завод теплоизоляционных строительных материалов” // Энергетика и электрификация. – 2002. – № 2. – С. 35–43.
268. Zabeltitz. Ch. von Gewachshauser Planung und Bau – 2.,neubearb. und erw. Aufl.: Ulmer, 1986. – S. 111.
269. Андерсон Б. Солнечная энергия. – М.: Стройиздат, 1982. – 375 с.
270. Шебештьен Д. Лёгкие конструкции в строительстве. – М.: Стройиздат, 1985. - 351 с.
271. Уделл С. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии. – М.: Знание, 1980, – 86 с.
272. Дудкин Д.А., Комаров А.А. Будущее энергетики – геоэлектричество // Энергозберігаючі технології та автоматизація. – 2002. № 2. – С. 26–29.
273. Дэвис А., Шуберт Р., Альтернативные природные источники энергии в строительном проектировании. – М.: Стройиздат, 1983. – 187 с.
274. Сабади П.Р. Солнечный дом. – М.: Стройиздат, 1985. – 351 с.
275. Хайндрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1985. – 351 с.
276. Пилюгина В.В. Использование солнечной энергии в сельском хозяйстве. – Техника в сел. хоз.-ве, 1980, № 5.

277. Шихайлов М. Возможности использования энергии ветра на приусадебной делянке // Пропозиция. – 1999. – №6. – С. 48.

278. Коробко Б.П., Білодід В.Д., Огородник В.А., Жовмір М.М., Шевчук В.І. Поновлювальні джерела енергії: сталий розвиток // Енергозберігаючі технології та автоматизація. – 2002. № 2. С. 37–41.

279. Арышев Ю.А. Борщ В.Л. Харченко Н.Н. Ветроэнергетическим установкам малой мощности – широкое применение // Енергозберігаючі технології і автоматизація. № 2. – 2002. – С. 53.

280. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – 2-е изд. – М.: “Энергоиздат”, 1981. – 320 с.

281. Бартофи И., Рафи П. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах. Пер. с венг. Э. Шандора, А.И. Залепукина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 228 с.

282. Устройства для создания микроклимата на фермах // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1979. – № 2. - С. 57-60.

283. Матвеев Ю.Н., Киселёв В.Г. Анализ результатов испытаний теплообменников // Мех. и электр. сел. хоз-ва – 1983. – №2. – С. 17–19.

284. Пчёлкин Ю.Н. Техничко-экономические показатели теплообменных систем вентиляции // Мех. и электр. сел. хоз-ва. – 1980. – № 9. – С. 19–20.

285. Фолитарик А.М., Коротков Е.Н. Применение тепловых насосов в системах микроклимата животноводческих помещений // Труды ВНИИ комплексных проблем машиностроения для животноводства и кормопроизводства. – 1988. – № 12. – с. 142–151.

286. Файзильберг Э.М. Теплоснабжающие установки в сельском хозяйстве. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1983. – 60 с.

287. Раяк М.Б., Шмидт В.А. и др. Анализ результатов испытаний рекуперативных теплообменников // Мех. и электр. сел. хоз-ва. – 1981. – № 4. – С. 20–23.

288. Бойчик І.М., Харіпов П.С., Хопчан М.І., Піча Ю.В. Економіка підприємництва: Навч. посібник для студентів економічних спеціальностей вищих навч. закладів I–IV рівнів акредитації. – К.: „Каравела”; Львів: “Новий світ–2000”, 2001. – 298 с.

289. Драганов Б.Х., Лут М.Т., Міщенко А.В. Оптимізація енергоощадних систем, що використовують поновлювальні та нетрадиційні джерела енергії // Вісник аграрної науки. Спеціальний випуск, вересень 1998. – С. 63–66.

290. Драганов Б.Х., Мартиненко І.І. Техничко-економические показатели возобновляемых и вторичных энергоресурсов // Сб. науч. трудов УСХА “Использование нетрадиционных источников энергии”. – К.: УСХА. – 1990, С. 3–7.

291. Типовой проект 810-1-4.83. – Блок зимних грунтовых теплиц площадью 6 га Центральный ин-т типового проектирования Госстроя СССР, 1987.

292. Типовой проект 810-1-8.83. – Зимняя блочная грунтовая теплица площадью 1 га для подсобных хозяйств промышленных предприятий. Центральный ин-т типового проектирования Госстроя СССР, 1987.

293. Отчёт ассоциации “УкрТец” за 2001 г. // Энергетика и электрификация. – 2002. – №2. – С. 10.

294. У 2001 р. робота паливно-енергетичного комплексу поліпшилась // Энергетика и электрификация. – 2002. – № 2. – С. 2.

295. Автоматизация и электрификация защищённого грунта. Под. ред. акад. ВАСХНИЛ Л.Г. Прищепа. – М.: Колос, 1976. – 320 с.

296. Україна у цифрах у 2002 році. – К.: ”Консультант”, 2003. – 270 с.

297. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / Гатаулин А.М. Гаврилов Г.В. Сорокина Т.М. и др.; Под. ред. А.М. Гатаулина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 432 с.

298. Костюченко В., Булгаков В., Войтюк Д., Соколенко О. Виробництво гідропонного зеленого корму // Пропозиція. – 1999. – № 11. – С. 66–67.

299. Жоров В.І., Кепко О.І. Визначення вартісних еквівалентів носіїв теплової енергії // Вісник аграрної науки причорномор'я. Вип. 4 (24). Миколаїв. – 2003. – С. 214–218.

300. Фаворський Ю.П. Шихайлов М.Ю. Практичний досвід використання вітроенергетичних систем // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – №2. – С. 107–113.

301. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. – М.: Энергия, 1979. – 299 с.

302. Журавленко В.Я., Ракитин О.И. Аккумуляция тепловой энергии в вакуумных системах // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1992. – №2. – С. 26–28.

303. Голуб Г.А., Кепко О.І. Математична модель теплонасосної системи теплопостачання споруд закритого ґрунту // Вісник ХДТУСГ. Вип.10 – Харків. ХДТУСГ, 2002. – С. 275.

304. Захаров А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 288 с.

305. Szudyga K. Mechanizacja w globalnej wiosce // Biuletyn Producenta Pieczarek. – 2003. – № 3. – S. 20–32.

306. Голуб Г.А., Богданович Л.С., Клепандра О.С., Філіппов Е.Б., Кепко О.І. Енергетичні параметри теплового насоса в системі опалення споруд закритого ґрунту // Наукові праці ТДАТА. – Вип. 5. – Мелітополь: ТДАТА, 2002. – 95 с.

307. Биофизика фотосинтеза / Под. ред. А.Б. Рубина. – М.: Изд. Моск-го ун-та, 1975. – 224 с.

308. Ничипорович А.А. Теоретические и практические аспекты проблемы фотосинтеза // Вестн. АН СССР, – 1972. – № 12. – с. 69–85.

309. Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза. – М.: Высшая школа, 1977. – 253с.

310. Хит О. Фотосинтез (физиологические аспекты.) – М.: Мир, 1972. – 231 с.

311. Лисенко В.П. Методика побудови оптимальних систем управління в промисловому птахівництві // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 1. – С. 62–72.

312. Чернавский Д.С. Математические модели морфогенеза // Рост растений и дифференцировка. – М.: Наука, 1981. – С. 163–176.

313. Кепко О.І. Моделювання енергозберігаючих режимів роботи опалювально-вентиляційного обладнання в спорудах закритого ґрунту при вирощування білкової продукції. // Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип.83. – Глеваха. ННЦ ІМЕСГ, 2000. – С. 199–202.

314. Кепко О.І. Математична модель опалювально–вентиляційної системи замкнутого повітрообміну між окремими приміщеннями в закритому ґрунті // Збірник наукових праці Національного аграрного університету. Том XV. – К., 2003. - С. 413–419.

315. Гродзинский Д.М. Биофизика растений. – К.: Наукова думка, 1982. – 256 с.

316. Гусак А.А., Гусак Г.М. Справочник по высшей математике: Справ. – Мн.: Навука і тэхніка, 1991. – 480 с.

317. Гусев В.А. Математика. – М.: Просвещение, 1988. – 416 с.

318. Голуб Г.А. Мікроклімат споруд для вирощування грибів. // Вісник аграрної науки. – № 10 – 2003. – С.46–49.

319. Корчемний М.О., Федорейко В.С. Моделі температури зовнішнього повітря і ґрунту для розрахунку теплового балансу житлового будинку // Електрифікація та автоматизація сільського гос-ва. – 2004. – № 1. – С. 86–89.

320. Кепко О.І. Динаміка зміни концентрації CO<sub>2</sub> в системі споруд “рослинна теплиця – грибниця” // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції Агромех–2004, 22-24 вересня 2004 р. – Львів: Львівський державний аграрний університет, 2004. – С. 97–103.

321. Автоматизация сельскохозяйственного производства / В.В. Концур, В.М. Писаренко, Ю.Л. Козлов, Е.И. Ласточкин; Под.ред. В.В. Концура. – К.: Урожай, 1988. –168 с.

322. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин. Г.Р. Носов, Л.Г. Сакало, Л.И. Середа. – К.: Вища школа. 1984. – 248 с.

323. Бойков А.Д. Методы расчёта автоматического управления с использованием вычислительных машин. – Саранск: 1975. – 220 с.

324. Гащук П.М. Лінійні динамічні системи і звичайні диференціальні рівняння. – Львів: Українські технології, 2002. – 608 с.

325. Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1989. – 343 с.

326. Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 243 с.

327. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. –М.: Пищевая промышленность, 1973. – 367 с.

328. Бохан Н.И., Фурунжиев Р.И. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – Мн.: Ураджай, 1987. – 376 с.

329. Батунер Л.М. Математические методы в химической технике. – Л.: Химия, 1968. – 833 с.

330. Долинский Е.Ф. Обработка результатов измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 191 с..

331. Кирьянов Д.В. Самоучитель MathCAD 2001. –СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 544 с.

332. Царенко О.М., Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Панченко С.М. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології. – Суми: “Університетська книга”, 2000. - 203 с.

333. Черепанов А.И. Динамика систем многоканального позиционного регулирования. – М.: “Энергия”, 1970. – 81 с.

334. Широкий Д.К. Куриленко О.Д. Расчёт параметров промышленных систем регулирования. – К.: “Техніка”, 1972. – 232 с.

335. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 1978. – Т. 3. – 557 с.

336. Gaydenko O. Efficient use of substratum compressor of piston type / O. Gaydenko // VII International research and technical conference on motorization and energetics in agriculture MOTROL' 2007, Lublin, Poland. – Lublin, 2007. – Т. 9А. – Р. 187–193.

337. Гайденко О. М. Техніко-економічне обґрунтування ущільнювача субстрату для вирощування грибів / О. М. Гайденко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодержавний міжвідомчий наук.-тех. зб. – Кіровоград : КНТУ, 2007. – Вип. 37. – С. 266–270.

338. Гайденко О. М. Результати виробничої перевірки експериментального зразка ущільнювача соломистого субстрату / О. М. Гайденко // Матеріали III Всеукр. наук.-прак. конф. молодих вчених і спеціалістів “Агропромислове виробництво України – стан та перспективи розвитку”. – Вісник Степу : наук. зб. – Кіровоград : Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН, 2007. – Вип. 4. – С. 233–238.

339. Гайденко О. М. Обґрунтування параметрів ущільнювача субстрату для вирощування грибів гливи звичайної / О. М. Гайденко // Матеріали IV Всеукр. наук.-прак. конф. молодих вчених і спеціалістів “Агропромислове виробництво України – стан та перспективи розвитку”. – Вісник Степу : наук. зб. – Кіровоград : Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН, 2008. – Вип. 5. – С. 183–188.

340. Голуб Г. А., Гайденко О. М. Машина для ущільнення та пакування субстрату, що використовується для вирощування грибів / Г. А. Голуб, О. М. Гайденко // Аграрна наука – виробництво : наук.-інформ. бюлетень завершених наук. розробок. – К. : УААН. – 2008. – № 3 (45). – С. 28.

341. Патент на винахід 95739 Україна, МПК А 01 G 1/04. Лінія виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів / Голуб Г.А., Лук'янець В.О.,

Кепко О.І., Гайденко О.М.; заявник та власник патенту Голуб Г.А., Лук'янець В.О., Кепко О.І., Гайденко О.М.; – № а20100945; заявл. 29.07.10; опубл. 25.08.11, Бюл. № 16. – 3 с.

342. Выращивание вешенки / Морозов А.И. – М.: ООО “Издательство АСТ”; Донецк: “Сталкер”, 2003. – 46 с.

343. Карпов Ф.Ф., Тименков Б.М. Использование диаграммы Мольера при культивировании вешенки в теплое время года. // Школа грибоводства. – 2000. – №2. – С. 26–28.

344. Кепко О.І. Вирощування гливи // Пропозиція. – 2001. – № 1. – С. 50–51.

345. Entwicklung eines Verfahrens zur energiewirtschaftlichen CO<sub>2</sub> – Oudnung von Gewachshausern durch Blogasverbrennung. – Meissen, 1987. – 114 s.

346. СНиП II-33-79. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, – 1976. – 106 с.

347. СНиП II-3-79. Строительная теплотехника. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, – 1979. – 31с.

348. СНиП II-6-74. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1976. – 60 с.

349. СНиП II-A. 6-12. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1979. – 31 с.

350. Щёкин Д.В. Кореневский С.М. Бем Г.Е. и др. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга вторая. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – 4-е изд., испр. и доп. К.: Будівельник, 1976. – 351 с.

351. Герасимович Л.С., Гулько Т.В. Драганов Б.Х. и др. Задачник по применению теплоты в сельском хозяйстве: Учебное пособие для студентов вузов по агроинженерным специальностям. – М.: Диалог–МГУ, 1999. – 248 с.

352. Драганов Б.Х., Левенкова К.А., Губцов Н.А. Инфильтрация воздуха через щели светопрозрачных ограждений сельскохозяйственных производственных помещений. // Сборник трудов АВСК “Оптимизация систем

отопления, вентиляция и кондиционирования воздуха”. Москва–Пермь, 1992. – С. 115–126.

353. Голуб Г.А., Мельникова І.В. Вплив виробництва їстівних грибів на економічну ефективність агроценозів / Економіка АПК. – 1998. – № 10. – С. 59-61.

354. Голуб Г. А. Ефективність виробництва їстівних грибів / Г. А. Голуб // Економіка АПК. – 1999. – № 9. – С. 63–65.

355. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М. : Колос, 1980. – 112 с.

356. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений : Утв. МСХ СССР 26.02.79: – М. : Поиск, 1983. – 149 с.

357. Азізов С. П. Організація виробництва і агарного бізнесу в сільськогосподарських підприємствах / Азізов С. П., Канінський П. К., Скупий В. М. / За ред. проф. С. П. Азізова. – К. : ІАЕ. – 2001. – 834 с.

358. Типовой проект 810-1-7.83. – Многолетняя почвенная теплица для подсобных хозяйств промышленных предприятий. – М. Центральный институт типового проектирования Госстроя СССР. – 1987.

359. Шульгіна Л.М., Бондаренко, Скляревський М.О. та ін. Довідник по овочівництву закритого ґрунту. – К.: Урожай, 1989. – 216 с.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>ЧАСТИНА I БІОЛОГІЧНА КОНВЕРСІЯ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ АГРОЦЕНОЗІВ У ШТУЧНИХ УМОВАХ ІЗ ВИРОЩУВАННЯМ ГЛИВИ</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1 СТАН БІОЛОГІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ В АГРОЦЕНОЗАХ</b> .....	7
1.1. Загальні положення.....	7
1.2. Суть біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах...	8
1.3. Проблеми інтенсифікації біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах.....	10
1.4. Резюме по розділу 1.....	18
<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ АГРОЦЕНОЗІВ У ШТУЧНИХ УМОВАХ ІЗ ВИРОЩУВАННЯМ ГЛИВИ</b> .....	19
2.1. Наукова концепція біологічної конверсії органічної сировини агроценозів в штучних умовах із вирощуванням гливи.....	19
2.2. Розробка структурних схем біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах із вирощуванням гливи.....	25
2.3. Резюме по розділу 2.....	29
<b>ЧАСТИНА II ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТА ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СУБСТРАТУ</b> .....	31
<b>РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ УЩІЛЬНЕННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ГЛИВИ</b> .....	31
1.1. Актуальність виробництва субстрату для вирощування гливи.....	31
1.2. Фізико-механічні властивості субстрату, як об'єкта обробки.....	38
1.3. Напрямки розвитку технічних засобів для ущільнення і пакування соломистих матеріалів.....	40

1.4. Аналіз наукових досліджень процесу ущільнення соломистих матеріалів.....	56
1.5. Резюме по розділу 1.....	59
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СУБСТРАТУ.....	61
2.1. Динаміка розігріву органічної сировини під час ферментації при виробництві субстратів.....	61
2.2. Дослідження основних параметрів процесу пастеризації та ферментації субстрату.....	68
2.3. Резюме по розділу 2.....	74
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ СУБСТРАТУ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СУБСТРАТУ.....	75
3.1. Обґрунтування технологічної схеми поршневого ущільнювача субстрату.....	75
3.2. Взаємодія поршня із субстратом у вертикальній камері під час попереднього ущільнення.....	78
3.3. Взаємодія поршня із субстратом у горизонтальній камері при відсутності підпору.....	87
3.4. Взаємодія поршня із субстратом у горизонтальній камері при його вивантаженні та наявності рухомого підпору.....	92
3.5. Визначення витрат енергії на ущільнення субстрату.....	94
3.6. Обґрунтування критерію оптимізації процесу ущільнення субстрату.....	99
3.7. Резюме по розділу 3.....	102
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ СУБСТРАТУ.....	104
4.1. Опис експериментальної установки та її роботи.....	104

4.2. Методика визначення фізико-механічних властивостей субстрату.....	106
4.3. Результати визначення фізико-механічних властивостей соломистого субстрату.....	112
4.4. Методика експериментальних досліджень поршневого ущільнювача субстрату.....	119
4.5. Визначення споживаної потужності електродвигуна гідростанції ущільнювача протягом циклу ущільнення субстрату.....	129
4.6. Визначення продуктивності поршневого ущільнювача субстрату	131
4.7. Вплив досліджуваних факторів на споживану потужність електродвигуна гідростанції ущільнювача.....	137
4.8. Визначення залежності питомої енергомісткості процесу ущільнення від досліджуваних факторів.....	143
4.9. Вплив досліджуваних факторів на щільність субстрату.....	149
4.10. Дослідження питомої енергомісткості з урахуванням якості роботи.....	155
4.11. Визначення питомої енергомісткості з урахуванням діапазону щільності.....	162
4.12. Методика визначення сили протидії руху мішка з субстратом...	169
4.13. Дослідження роботи важільно-амортизаційного прижимного пристрою ущільнювача.....	172
4.14. Методика проведення експериментальних досліджень з оптимізацією конструкційних та режимних параметрів ущільнювача.....	178
4.15. Обробка результатів експерименту.....	180
4.16. Адекватність математичних моделей процесу роботи поршневого ущільнювача субстрату.....	180
4.17. Резюме по розділу 4.....	182

<b>ЧАСТИНА III ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ СПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ГЛИВИ.....</b>	<b>185</b>
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ.....</b>	<b>185</b>
1.1. Обґрунтування конструктивних параметрів стелажів для вирощування гливи.....	185
1.2. Існуючі системи та способи опалення і вентиляції споруд закритого ґрунту.....	190
1.3. Енергозберігаючі способи та обладнання для опалення і вентиляції споруд закритого ґрунту.....	203
1.4. Співвідношення витрат енергії на технологічні процеси при вирощуванні сільськогосподарської продукції у спорудах закритого ґрунту.....	211
1.5. Резюме по розділу 1.....	214
<b>РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ.....</b>	<b>216</b>
2.1. Визначення економічно доцільного носія теплової енергії.....	216
2.2. Визначення вартісних еквівалентів носіїв теплової енергії.....	224
2.3. Обґрунтування доцільного співвідношення різних видів енергії в закритому ґрунті, включно із відновлювальною.....	228
2.4. Обґрунтування енергозберігаючих режимів роботи теплового насоса в замкнутій системі опалення та вентиляції теплиць.....	230
2.5. Резюме по розділу 2.....	238
<b>РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ ТЕПЛИЦЬ.....</b>	<b>240</b>

3.1. Структурно-функціональна схема замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць.....	240
3.2. Математична модель опалювально-вентиляційної системи замкнутого повітрообміну між окремими приміщеннями в спорудах закритого ґрунту.....	242
3.3. Динаміка зміни температури субстрату і повітря та концентрації CO <sub>2</sub> в замкнутій системі опалення та вентиляції теплиць.....	257
3.4. Результати експериментальних досліджень.....	280
3.5. Структурно-логічна схема управління замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць.....	291
3.6. Резюме по розділу 3.....	302
<b>ЧАСТИНА ІV ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ГЛИВИ.....</b>	<b>305</b>
<b>РОЗДІЛ 1 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СУБСТРАТУ.....</b>	<b>305</b>
1.1. Інженерний розрахунок параметрів поршневого ущільнювача субстрату.....	305
1.2. Техніко-технологічні та економічні показники роботи поршневого ущільнювача субстрату.....	310
1.3. Виробничі випробування поршневого ущільнювача субстрату.....	313
1.4. Лінії виробництва субстрату із соломи для вирощування грибів..	315
1.5. Впровадження результатів досліджень у виробництво.....	317
1.6. Резюме по розділу 1.....	318
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ В СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ.....</b>	<b>319</b>

2.1. Методика інженерного розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць.....	319
2.2. Виробнича перевірка теоретичних та експериментальних досліджень параметрів замкнутої системи опалення та вентиляції в спорудах закритого ґрунту.....	327
2.3. Резюме по розділу 2.....	332
РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНІ ПРОПОЗИЦІЇ ПО ВИРОБНИЦТВУ СУБСТРАТИВ І ГРИБІВ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРЕВІРКИ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ У ВИРОБНИЦТВІ.....	334
3.1. Етапи формування технічних пропозицій та проектних рішень...	334
3.2. Технологічний процес виробництва субстрату для вирощування гливи методом ферментації в пастеризаційній камері.....	340
3.3. Результати впровадження проектних рішень, технічних пропозицій, машин та механізмів у виробництво.....	360
3.4. Резюме по розділу 3.....	361
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАНИХ РОЗРОБОК.....	362
4.1. Економічна ефективність біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах із виробництвом гливи.....	362
4.2. Економічна ефективність виробництва гливи.....	365
4.3. Економічна ефективність виробництва субстрату.....	370
4.4. Економічна ефективність засобів механізації для подрібнення та пакування пастеризованого субстрату.....	376
4.5. Економічна ефективність використання у виробництві поршневого ущільнювача субстрату.....	379
4.6. Економічна ефективність використання теплоутилізаторів у системах вентиляції культиваційних приміщень.....	384
4.7. Економічна ефективність виробництва грибів улітку.....	387

4.8. Економічна ефективність впровадження замкнутої системи опалення та вентиляції у спорудах закритого ґрунту.....	389
4.9. Економічна ефективність використання теплового насосу в закритому ґрунті.....	393
4.10. Резюме по розділу 4.....	400
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	403
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	409

Наукове видання

**Голуб** Геннадій Анатолійович

**Гайденко** Олег Миколайович

**Кепко** Олег Ігорович

## **ІНЖЕНЕРІЯ ВИРОБНИЦТВА ГЛИВИ**

Монографія

Редактор: Голуб Г.А.

Технічний редактор: Гайденко О.М.

Комп'ютерна верстка: Гайденко О.М.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк 26,0. Обл.-вид. арк 13,5. Тираж 300. Зам. 754

Видавець і виготовлювач СПД ФО Лисенко В.Ф.  
25029, м. Кіровоград, вул. Пацаєва, 14, к. 1, кв. 101.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3904 від 20.10.2010.