

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ПОГОДЖЕНО

Директор навчально-наукового
інституту енергетики, автоматики і
енергозбереження

(назва ІНІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
інженерії енергосистем

_____ **Віктор КАПЛІУН**

(підпис)

(ПІБ)

“ ___ ” _____ 2025 р.

_____ **Євген АНТИПОВ**

(підпис)

(ПІБ)

“ ___ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

Теплопостачання тепличного господарства ТОВ «Камелія»
на базі котлів на твердій біомасі

Спеціальність

144 – «Теплоенергетика»

(код і назва)

Освітня програма

Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Доктор техн. наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Горобець В.Г.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Канд. техн. наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Тарасенко С.Є.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Медвідь К.Р.
(ПІБ)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інженерії енергосистем

Канд. техн. наук, доцент Є.О. Антипов
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Медвідь Кірілу Ростиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

144 – «Теплоенергетика»

(код і назва)

Освітня програма

Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи

«Теплопостачання тепличного господарства ТОВ «Камелія» на базі котлів на твердій біомасі»

затверджена наказом проректора НУБіП України від «18» листопада 2024 р. №2060 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 11.11.2025 р.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

Законодавство у сфері енергоефективності, нормативні документи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз існуючих методів енергозбереження в системах опалення споруд закритого ґрунту.
2. Обґрунтування доцільності використання біомаси в системах опалення теплиць.
3. Тепловий баланс теплиці.
4. Енергозберігаючі заходи в системі опалення теплиці.
5. Вибір енергетичного обладнання тепличного господарства.

Перелік графічного матеріалу (за потреби):

Дата видачі завдання “20” листопада 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Тарасенко С.Є.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Медвідь К.Р.

(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ..... | 5 |
| ВСТУП..... | 7 |
| 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ СПОРУД ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ. | 8 |
| 1.1. Загальні відомості про об'єкт проєктування..... | 8 |
| 1.2. Вимоги до систем опалення теплиць | 10 |
| 1.3. Способи зниження втрат тепла при обігріві теплиць..... | 15 |
| 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ В СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ ТЕПЛИЦЬ | 23 |
| 2.1. Біомаса –перспективне джерело енергії | 23 |
| 2.2. Порівняння характеристик деревної та рослинної біомас | 24 |
| 2.3. Типи твердопаливних котлів | 27 |
| 3. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ТЕПЛИЦІ | 30 |
| 3.1. Вихідні дані тепличного господарства | 30 |
| 3.2. Тепловий розрахунок споруд захищеного ґрунту..... | 32 |
| 3.2.1. Конвективний теплообмін на внутрішніх поверхнях огороження. | 34 |
| 3.2.2. Тепловий потік через випромінювання на внутрішній поверхні огороження..... | 37 |
| 3.2.3. Тепловий потік при конденсації вологи..... | 39 |
| 3.2.4. Конвективний теплообмін на зовнішній поверхні огороження.... | 40 |
| 3.2.5. Теплообмін через випромінювання на зовнішній поверхні огороження..... | 43 |
| 3.2.6. Втрати теплоти через ґрунт..... | 45 |
| 3.2.7. Тепловий потік на нагрівання зовнішнього повітря..... | 46 |
| 3.2.8. Тепловий потік, який акумулюється в ґрунті..... | 47 |
| 3.2.9. Тепловий потік через випромінювання від опалювальних приладів шатрового опалення на поверхні ґрунту..... | 47 |
| 3.2.10. Тепловий потік при конвективному теплообміні на поверхні ґрунту..... | 47 |

| | |
|---|----|
| 3.2.11.Теплова потужність системи опалення..... | 48 |
| 3.2.12.Теплова потужність системи опалення ґрунтового обігріву..... | 48 |
| 3.2.13.Теплова потужність обігріву шатра..... | 49 |
| 3.3.Розрахунок системи обігріву теплиці за емпіричними залежностями..... | 50 |
| 3.3.1.Розрахунок системи підґрунтового обігріву теплиці..... | 50 |
| 3.3.2.Розрахунок системи опалення шатра теплиці з гладкими трубами..... | 51 |
| 4. ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ ПО ОПАЛЕННЮ ТЕПЛИЦІ..... | 56 |
| 4.1.Теплообмін через випромінювання на зовнішній поверхні огорожі..... | 57 |
| 4.2.Втрати теплоти через ґрунт..... | 58 |
| 4.3.Тепловий потік на нагрівання зовнішнього повітря..... | 59 |
| 4.4. Тепловий потік,який акумулюється в ґрунті..... | 59 |
| 4.5. Тепловий потік через випромінювання від опалювальних приладів шатрового опалення на поверхні ґрунту..... | 59 |
| 4.6. Тепловий потік при конвективному теплообміні на поверхні ґрунту..... | 59 |
| 4.7. Теплова потужність системи опалення..... | 59 |
| 4.8. Теплова потужність системи опалення ґрунтового обігріву..... | 60 |
| 4.9 Теплова потужність обігріву шатра..... | 61 |
| 5.ВИБІР ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА..... | 63 |
| 5.1. Вимоги до приміщення котельні..... | 63 |
| 5.2. Вибір котлів та допоміжного обладнання | 64 |
| 5.3 Техніко-економічне обґрунтування проєкту..... | 67 |
| ВИСНОВКИ..... | 69 |
| СИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 70 |

ПЕРЕЛІК УМОВІНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- a – коефіцієнт температури, m^2/s ;
 A – гідродинамічне число подоби;
 b_e – ширина еквівалентної щілини, м;
 B – ширина увігнутої порожнини в перерізі зрізу сопла, м;
 c – питома масова теплоємність, Дж/(кг·К);
 d_{opt} – оптимальний діаметр повітророзподільників, м;
 G – масові витрати, кг/с;
 h – відстань від повітророзподільвача до теплообмінної поверхні, м;
 l – довжина теплообмінної поверхні в напрямі відводу відпрацьованого потоку, м;
 n – кількість рядів струменів;
 p – тиск, Па;
 Q – тепловий потік, Вт;
 R – радіус згину повітророзподільвача, м;
 t – температура, °С;
 T – температура, К;
 u_k – середня швидкість відпрацьованого потоку, м/с;
 x – координата в напрямі відводу відпрацьованого потоку, м;
 y – координата в поперечному напрямі, м;
 $\alpha, \bar{\alpha}$ – відповідно, локальний і середній коефіцієнти тепловіддачі, Вт/($m^2 \cdot K$);
 δ – висота конфузорового або дифузорового каналу на виході, м;
 ε – коефіцієнт інтенсифікації середнього теплообміну;
 ξ – коефіцієнт гідравлічного опору повітророзподільвачів;
 ζ – коефіцієнт гідравлічного опору струминної системи;
 λ – коефіцієнт теплопровідності речовини, Вт/(м·К);
 μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;
 ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, m^2/s ;

v – надлишкова температура, К;

τ – час, с;

φ – вологість повітря, %

ρ – густина нагрітого повітря, кг/м³;

Безрозмірні числа

$Re = \frac{vd}{\nu}$ – число Рейнольдса;

$Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}$ – число Фур'є;

$Nu = \frac{ad}{\lambda}$ – число Нуссельта для локального та середнього теплообміну

ВСТУП

Споруди захищеного ґрунту – це виробничі приміщення, що огорожені від зовнішнього середовища світлопрозорим дахом та стінами. Вони застосовуються для вирощування овочів, розсади та квітів.

Теплиці – найбільш удосконалений вид закритого ґрунту. Тут легше створювати сприятливий для рослин мікроклімат і є можливість механізувати всі виробничі процеси. Основним призначенням їх є вирощування у несезонний період овочевої продукції і розсади для закритого й відкритого ґрунту. Період використання теплиць з дерев'яним каркасом становить 10...15 років, а з металевим – 25...30 років і більше.

Проникнення світла в теплиці залежить від кута падіння сонячних променів, прозорості покривних матеріалів, співвідношення прозорих і непрозорих частин покриття, розмірів конструкцій в середині споруди, а також розміщення їх відносно сторін світу.

Охолодження теплиць через стіни і покривлю залежить від теплопровідності покривних матеріалів та співвідношення їх поверхні і площі. Теплиці з більшою площею, заklenі і низькі завжди менше охолоджуються, ніж високі, менші за розміром і плівкові.

Природно - економічні умови України дозволяють вирощувати тепличну розсаду у необхідному асортименті в усіх областях. Однак основним критерієм розміщення споруд у зв'язку із зростаючою проблемою паливно-енергетичних ресурсів залишається правильна і економічна витрата цих ресурсів. Перспективним напрямом підвищення енергоефективності тепличного господарства є застосування для опалення теплиць котлів на біомасі, в тому числі і з використанням відходів самого виробництва.

Об'єктом проектування даної магістерської роботи є тепличне господарство ТОВ «Камелія», для якого буде розроблена системи опалення теплиці з використанням твердопаливного котла.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ СПОРУД ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

1.1 Загальні відомості про об'єкт проектування

Товариство з обмеженою відповідальністю «Камелія» [1] розташоване в селі Княжичі Броварського району Київської області. Географічне положення підприємства є сприятливим для розвитку тепличного господарства, оскільки територія характеризується помірно-континентальним кліматом, з достатньою кількістю сонячних днів, помірною вологістю та близькістю до столичного ринку збуту. Організаційно-правова форма — товариство з обмеженою відповідальністю, що забезпечує гнучкість управління та можливість залучення інвестицій для розвитку виробничих потужностей.

Підприємство зареєстроване відповідно до чинного законодавства України. Основним видом діяльності є вирощування квітково-декоративних культур у закритому ґрунті, зокрема троянд, які реалізуються на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Виробнича інфраструктура ТОВ «Камелія» включає тепличний комплекс загальною площею близько 11 гектарів. Комплекс складається з декількох блоків теплиць, допоміжних приміщень, котельні, насосної станції, складів, холодильних камер та адміністративно-побутових будівель.

Основна частина теплиць побудована за сучасною модульною системою із металевого оцинкованого каркаса зі скляним або полікарбонатним покриттям. Конструкції мають високу світлопроникність, механічну міцність і забезпечують мінімальні тепловтрати. Кожен тепличний блок обладнаний системами клімат-контролю, поливу, вентиляції, шторування та опалення, що дозволяє підтримувати необхідний мікроклімат протягом року.

Площа, відведена безпосередньо під вирощування квітів, становить понад 80 % загальної території теплиць. Решту займають технологічні проходи, резервуари води, розчинні вузли та енергетичні установки.

Раніше джерелом теплопостачання теплиць була централізована котельня, оснащена водогрійними котлами, які працювали переважно на природному газі. В умовах підвищеного навантаження на енергоресурси та росту вартості природного газу підприємство Камелія прийняло стратегічне рішення модернізувати систему теплопостачання, перейти з традиційного газового котла на котельну установку, що працює на біомасі. Згідно з публікаціями, в 2014 році було встановлено котельне обладнання загальною тепловою потужністю 7 МВт, яке використовує як паливо деревну тріску та гранули. Загальна теплова потужність системи забезпечує підтримання температури 18–22 °С у зимовий період та 22–25 °С у весняно-літній.

Система опалення побудована за двотрубною схемою з циркуляційними насосами, що підтримують сталий тиск у магістралях. Для рівномірного розподілу тепла по всій площі теплиці застосовуються сталеві труби, розташовані вздовж гряд і під рівнем підлоги. Така конструкція дозволяє підігрівати як повітря, так і кореневу зону рослин.

Для зниження витрат енергії та підвищення стабільності температурного режиму в систему включені буферні ємності для накопичення гарячої води, що дає змогу згладжувати пікові навантаження на котельню. Роботою котельні керує автоматизована система управління, яка регулює подачу палива, температуру теплоносія та роботу насосів залежно від погодних умов і часу доби.

Кліматичні умови всередині теплиць підтримуються автоматизованою системою клімат-контролю, що об'єднує в єдину мережу датчики температури, вологості, освітленості, швидкості вітру та концентрації CO₂. Керуючий комп'ютер аналізує показники сенсорів та автоматично регулює роботу котельні, вентиляції, штор, систем поливу і досвітки.

Вентиляція реалізується шляхом комбінації природного провітрювання через фрамуги даху та примусової циркуляції повітря за допомогою вентиляторів. Такий підхід забезпечує рівномірний розподіл повітря та запобігає перегріву або застою вологи.

1.2. Вимоги до систем опалення теплиць

Для нормального зростання і розвитку рослин в теплицях потрібний певний тепловий режим. При визначенні потужності систем опалювання в зимово-весняний період мінімальною прийнята температура $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, як розрахункова зовнішня температура — близька до середньої багатолітньої (наприклад, в області Києва вона наближається до $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$). У теплицях застосовують три види обігріву: сонячний, технічний і біологічний.

Сонячний обігрів — найпоширеніший і найдешевший. Сонячна радіація — найбільш ефективне джерело енергії. Досягнувши поверхні ґрунту і рослин, вона перетворюється на теплову енергію, яка через скляну кривлю теплиці або світлопрозорі плівки назад не проходить. Проте в холодні, похмурі дні, особливо вночі, температура під плівкою може бути нижче за безпечну межу. Щоб не допустити цього і підтримувати температуру на належному рівні, в теплиці встановлюють аварійний обігрів. Їм можуть бути прості плівкові укриття, печі різних систем і електрокалорифери. Сонячний обігрів знаходить найширше вживання для вирощування ранніх овочів і розсади. Його широко застосовують також в парниках, весняних теплицях. Багато сонячного тепла поступає і в зимові теплиці, особливо в ясні, сонячні дні.

Теплицю можна опалювати і за допомогою водяного опалювання. У тамбурі встановлюють невеликий водогрійний казан, що працює на дровах, вугіллі, торфі і брикетах, або вертикальну піч, під якою вмазують змійовик, зігнутий з 75-міліметрової труби у вигляді букви М-коду, або ж чавунну секцію батареї опалювання.

Рідше для обігріву теплиць використовують електричну енергію. При цьому застосовують електрокалорифери як доповнення до основного типа обігріву, а у весняних теплицях — як аварійний обігрів.

Електричний і водяний обігрів сильно висушує ґрунт і повітря, тому у весняних теплицях водяне опалювання майже не застосовують, а аварійний обігрів забезпечують малогабаритні печі і тимчасові печі-будівлі.

Біологічний обігрів заснований на тому, що при розкладанні органічних матеріалів, завдяки життєдіяльності мікроорганізмів, виділяється тепло, якого деколи достатньо на весь вегетаційний період.

Окрім тепла, повітря теплиць і парників збагачується вуглекислим газом, необхідним для рослин. Відбувається також випар, що зволожує ґрунт, а це скорочує поливи.

Для підтримки заданих температурних умов в теплицях, особливо весняних, доцільно влаштовувати повітряне опалювання з роздачею повітря через полімерні плівкові перфоровані повітропроводи, прокладені у верхній частині теплиці або в приґрунтовій зоні. Можна застосовувати системи комбінованого обігріву, тобто водяного з нагрівачами з гладких труб і повітря з повітропроводами рівномірної роздачі повітря через полімерні плівкові перфоровані повітропроводи. В теплицях, призначених для експлуатації весною, влітку і восени, а також взимку, передбачають повітряне опалення від калориферів і теплогенераторів, в результаті чого знижуються капітальні затрати, металоємність системи в 8...12 разів, витрата теплоти на 15...30 % (внаслідок вирівнювання температури повітря по висоті), підвищується ефективність роботи системи, покращується світловий режим, а також з'являється можливість влітку охолоджувати приміщення теплиць. При повітряному опаленні можна одночасно регулювати вологість повітря, температуру, забезпечення рослин вуглекислим газом і киснем, що наближає теплицю до приміщень з регульованим кліматом. При опаленні лише повітряного простору забезпечується необхідний тепловий режим в весняних плівкових теплицях.

В зимових теплицях, при відповідному обґрунтуванні, може бути передбачено водяне опалення з реєстрами труб.

Опалення та вентиляція теплиць та парників слід проектувати відповідно до ДБН В.2.2-2:2024 ТЕПЛИЦІ І ПАРНИКИ [3].

Опалення та вентиляція теплиць і парників разом з іншими системами повинні забезпечувати в них параметри мікроклімату (температуру повітря і ґрунту, відносну вологість та швидкість руху внутрішнього повітря), встановлені вимогами норм технологічного проектування теплиць для вирощування різних видів сільськогосподарської продукції.

Необхідність влаштування системи опалення теплиць і парників, а також її потужність слід визначати розрахунком.

Теплопостачання теплиць і парників, як правило, повинно здійснюватися за рахунок використання вторинних енергоресурсів промислових підприємств, ТЕС, ТЕЦ, АЕС, газокompресорних станцій, теплоти геотермальних вод, інших джерел, а при їх відсутності – від власних джерел теплоти.

В разі використання для опалення теплиць вторинних енергоресурсів дозволяється застосовувати схеми теплопостачання з використанням пікової котельні. При цьому загальна потужність її не повинна перебільшувати 50% максимальних годинних витрат теплоти.

Розрахункові параметри внутрішнього повітря та температуру ґрунту теплиць слід приймати у відповідності з вимогами норм технологічного проектування теплиць для вирощування різних видів сільськогосподарської продукції.

Розрахункові параметри зовнішнього повітря слід приймати згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» [4]. Так для весняних теплиць в холодний період року – середню температуру найбільш холодного місяця за період експлуатації, знижену наполовину максимальної добової амплітуди температури повітря, середню відносну вологість та середню швидкість вітру в цьому місяці. В теплий період року (для всіх теплиць) –

середню температуру та середню відносну вологість найбільш жаркого місяця, середню швидкість вітру за липень.

Опалення та вентиляцію теплиць та парників слід проектувати з урахуванням надходження теплоти, акумульованої ґрунтом в денні години (холодний період року) та від сонячної радіації (теплий період року).

При розрахунку водяного опалення необхідно враховувати променисту складову тепловіддачі нагрівальних приладів (труб) та зміну тепловіддачі за їх довжиною.

У весняних теплицях, як правило, слід передбачати повітряне опалення від калориферів і теплогенераторів, при обґрунтуванні – водяне опалення з реєстрами з труб.

При проектуванні систем опалення теплиць температуру теплоносія слід приймати не більше як 150 °С.

Прилади опалення в теплицях слід розміщувати:

у верхній зоні – під покриттям, водостічними жолобами, карнизами, під теплозахисними екранами при їх наявності;

в середній зоні – біля зовнішніх стін, на внутрішніх колонах каркасу, затяжках рам або нижніх поясах ферм та між рядами рослин;

в нижній зоні – на ґрунті між рядами рослин, по контуру зовнішніх стін на глибині 0,1-0,2 м та для обігрівання ґрунту до верху труб опалення або під шаром субстрату для його обігрівання.

Труби для обігрівання ґрунту слід розміщувати рівномірно на площі теплиць на відстанях, що визначаються теплотехнічним розрахунком.

Для водяного опалення теплиць приймаються опалювальні прилади (в залежності від температури теплоносія): скляні, пластмасові, сталеві гладкі та ребристі труби з відповідним антикорозійним захистом. Застосовувати сталеві труби для підземного обігрівання не допускається.

Системи опалення та вентиляції повинні забезпечувати рівномірні температуру та швидкість руху повітря відповідно до технологічних норм. Для цього рекомендується: в зону заввишки 1 м від поверхні ґрунту подавати

не менше як 40 % загальної кількості теплоти, включаючи теплоту обігрівання ґрунту; в решті зони питома (на 1 м² поверхні огороження) тепловіддача опалювальних приладів, що розміщуються на вертикальних огороженнях (стінах), повинна бути на 25 % більше ніж тепловіддача приладів, розміщених на похилих огороженнях (покритті).

Запірна та регулювальна арматура повинні забезпечувати роздільне включення (виключення) та регулювання тепловіддачі приладів опалення, розміщених у верхній, середній та нижній зонах теплиці.

Теплиці мають бути обладнані системою вентиляції. Розрахунок вентиляції теплиць слід виконувати з урахуванням вилучення теплонадлишків від сонячної радіації в теплий період року.

В теплицях необхідно передбачати, як правило, природну вентиляцію. Якщо вона не забезпечує потрібних параметрів внутрішнього повітря, допускається застосовувати змішану вентиляцію (в поєднанні природної з механічною) та випарне охолодження із зволоженням повітря.

Прорізи для природної вентиляції (приплив та видалення повітря) в багатопрогонових теплицях завширшки більше як 25 м слід розміщувати в покритті – вздовж гребенів, у всіх однопрогонових та багатопрогонових завширшки менше як 25 м – в зовнішніх стінах (для припливу) та в покритті (для видалення).

Відкривання та закривання вентиляційних прорізів повинно бути механізованим. В теплицях з повітряним опаленням необхідно передбачати використання вентиляторів опалення для вентиляції в теплий період року. Вентиляція парників здійснюється підніманням (відкриванням) парникових рам або плівкового покриття.

В однопрогонових теплицях площі припливних та витяжних прорізів для природної вентиляції слід визначати розрахунком. В багатопрогонних теплицях, призначених для вирощування овочів, загальну площу прорізів для природної вентиляції необхідно приймати не менше як 30% загальної поверхні огороження теплиць. В багатопрогонових теплицях, призначених

для вирощування розсади (що потім висаджується у відкритий ґрунт), загальну площу прорізів для природної вентиляції слід приймати у відповідності з потребами технології. Розрахунки паропроводів для термічного знезараження ґрунту, тиск пари та її температуру, середні витрати пари на 1 м^2 площі теплиці приймати згідно з нормами технологічного проектування.

Кількість та місця розміщення підключень на паропроводах визначається технологічними вимогами та архітектурно-планувальним рішенням теплиці.

1.3. Зниження втрат тепла при обігріві теплиць

Для зниження витрат паливно-енергетичних ресурсів та втрат тепла в споруда захищеного ґрунту можна скористатись різними шляхами. Це може бути зниження тепловтрат через огорожуючі конструкції, зниження втрат тепла при конструюванні систем обігріву теплиць, використання для обігріву альтернативних видів палива, відходи тепла промислових об'єктів тощо.

Для зниження тепловтрат через огорожуючі конструкції застосовують двошарові огорожуючі конструкції, стаціонарні або екрани, що трансформуються, автоматичне регулювання мікроклімату в теплиці, а також підвищують герметичність огорожуючі конструкцій.

Застосування двошарових покриттів з повітряним прошаруванням забезпечує суттєву економію теплової енергії. При використанні теплиць з подвійним скляним або плівковим покриттям економія теплоти у порівнянні із одинарним складає 30...40 %. Оптимальний термічний ефект досягається, якщо відстань між шарами покриття рівна 40 мм. При влаштуванні подвійного покриття з повітряним прошарком, крім тогою практично відсутня конденсація вологи на внутрішній поверхні огороження, що позитивно впливає на врожайність. Влаштування подвійного скляного покриття через значної маси скла потребує більш міцних несучих

конструкцій, що значно підвищує металоємність теплиць, тому такі покриття застосовують в основному при вирощуванні особливо теплолюбних культур.

Новим рішенням являється влаштування комбінованої огорожі із скла та плівки. В цьому випадку над заскленою кривою розміщують двошарове плівкове огороження з повітряним прошаруванням, яке являється особливо ефективним, якщо скляна теплиця недостатньо герметична. Економія теплоти при використанні такої конструкції складає близько 50 %, але зниження освітленості може відбитися на врожайності рослин. Однак необхідно відмітити, що для забезпечення температури танення снігу на покритті (+0,5 °C) в період снігопаду необхідно підтримувати більш високу температуру повітря у верхній зоні, що приведе до перевитрати теплоти і зниження ефективності двошарового покриття. Якщо нема можливості забезпечити температуру танення снігу на зовнішній поверхні двошарового огороження, необхідно підсилювати будівельні конструкції, що, в свою чергу, призводить до перевитрати матеріалів та підвищення вартості.

За кордоном розроблені полімерні покриття теплиць з покращеними теплоізоляційними характеристиками та характеристиками міцності, які мають високу світлопроникність та порівняно не дорогі. Так, фірма «Байер АГ» і фірма «Макроформ ГмбХ» (Німеччина) розробили особливо легкі та міцні дво- та тришарові панелі із полікарбонатної пластмаси макролон, які мають повітряні прошарування і внутрішні перегородки типу «лонг-лайф». Конструкції відрізняються невеликим коефіцієнтом теплопередачі і незначною масою в порівнянні зі звичайним склом товщиною 4 мм. Завдяки цьому на обігрів теплиці економиться близько 60 % енергії, знижується теплова потужність та металоємність систем опалення, а також маса будівельних конструкцій і трудозатрати на монтаж покриття.

В вітчизняній та закордонній практиці отримала розповсюдження ізоляція огороження з допомогою додаткових екранів із полімерної плівки (ПВХ або алюмінізованої ПВХ), які можуть бути стаціонарними,

навішуватись в холодний період, і трансформуватись, тобто розгортатись і згортатись на протязі невеликого проміжку часу.

Теплотехнічний ефект екранування полягає у віддзеркаленні матеріалом екрану інфрачервоних променів, що випускаються приладами опалювання і ґрунтом, в зону рослин, а також в зменшенні коефіцієнта теплопередачі за рахунок додаткової огорожі з повітряним прошарком. Стаціонарне екранування знижує освітленість, погіршує умови вентиляції і приводить до підвищення вологості в теплицях.

Останніми роками як стаціонарний екран застосовують плівкове покриття з повітряними осередками. Таку плівку навішують на огорожу теплиць з внутрішньої сторони і притискують до скла. Повітряні осередки виключають конвективні потоки між плівкою і склом, завдяки чому підвищується її теплоізолююча здатність.

Перспективне застосування екранів, що трансформуються, з плівок і полімерних сіток залежно від метеоумов і внутрішнього мікроклімату робочої зони, а також від можливості автоматизації системи управління. Особливу увагу при влаштуванні екранів приділяють герметизації стиків полотен плівки.

У разі періодичної роботи екранів економія теплової енергії може досягати 30 %, при стаціонарній подвійній огорожі 40...50 %. Дослідженнями [4] встановлено, що кращими теплотехнічними властивостями володіє металізована плівка, яка дозволяє економити 30 % теплової енергії і більше, при використанні ПВХ - до 18, ПЕ - до 11 %.

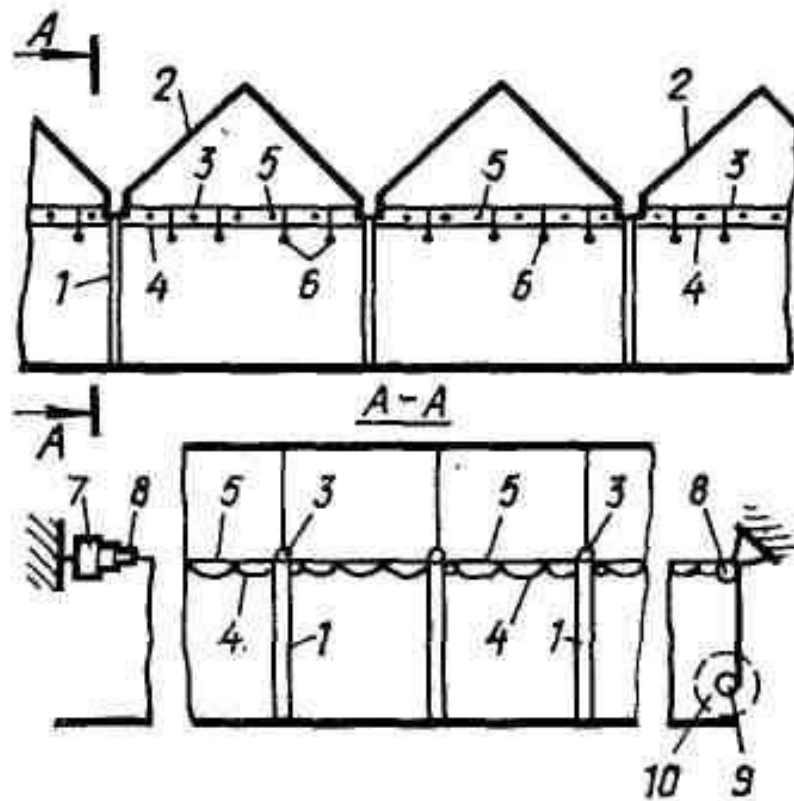


Рис. 1.1. Варіант схеми системи екранування в багато прольотній теплиці [5]:

1 - стійка; 2 - кривля; 3 - затяжка; 4 - штори, що трансформуються; 5 - опорні і привідні троси; 6 - шпалерні опори; 7 – натяжний пристрій; 8 - опорні блоки; 9 - привідний вал; 10 - реверсивний мотор-редуктор

Екрани залежно від конструктивних рішень теплиць, виконання інших технологічних систем можна розміщувати в об'ємі споруди горизонтально, паралельно огорожам або похило до горизонту. Штори екранів розташовують над приладами системи опалювання і опромінювання рослин. Штори повинні переміщатися (відкриватися або закриватися) переважно по напрямку уздовж ковзанів теплиць в межах кожного їх кроку.

Система екранування шторного типу (рис. 1.1) включає наступні основні елементи [4]:

- штори, що трансформуються;
- нерухомі і рухомі елементи обрамлення (посилення) кромek штор;
- опорні троси для підвішування штор;

- привідні троси для переміщення штор;
- привід екранів, що складається з приводних валів і реверсивного мотор-редуктора;
- опорні блоки, шляхові вимикачі, кріпильні деталі.

Матеріал екранів овочевих теплиць повинен володіти теплоутримуючими, а розсадних теплиць – теплоутримуючими і світловідбиваючими властивостями. Для підвищення теплоутримуючих і світловідбиваючих властивостей матеріалу екранів допускається з боку внутрішньої поверхні на непохитних частинах складок закріплювати смуги металізованої плівки типу ПЕТФ, орієнтовані уперек напрямку переміщення штор.

Фізико-технічні властивості матеріалу повинні відповідати наступним показникам:

| | |
|--|-------|
| Товщина, мм, не більше | 0,6 |
| Маса 1м ² , кг, не більше | 0,125 |
| Межа міцності при розтягуванні, кПа, не менше: | |
| по довжині | 600 |
| по ширині | 500 |
| Відносне подовження при розриві %: | |
| по довжині | 21 |
| по ширині | 30 |

Для теплозахисту верхньої зони теплиці і спрощення трансформації запропонований такий різновид екрану. Під кривлею теплиці над опалювальними приладами шатрового обігріву підвішують плівкові рукави, які сполучають з повітророзподільним каналом, розташованим в торці теплиці. У нічний час в ці рукави вентилятором невеликої потужності подають повітря. Рукави надуваються і, стикаючись один з одним,

утворюють суцільну повітряну подушку, що знижує тепловтрати. Ця ж система може служити також для розподілу вуглекислого газу або вентиляційного повітря в теплиці.

Значну економію теплоти дає зниження інфільтрації повітря шляхом ущільнення фрамуг, дверей, жолобів, стиків скляних покриттів і плівкових укриттів. Для зменшення інфільтрації останнім часом набуло поширення натягнення поліетиленової плівки на зовнішню або внутрішню поверхню заскленої теплиці. По проведених розрахунках і даних експериментальної перевірки ВІЕСХ, на зимових теплицях зовнішнє укриття їх суцільними полотнищами з поліетиленової плівки значно скорочує витрату теплоти на обігрів у зв'язку з майже повним припиненням інфільтрації холодного повітря. При цьому не спостерігалось утворення конденсату і льоду на внутрішній поверхні скляного покриття.

В процесі експлуатації заощадити теплоту можна застосовуючи для регулювання теплового режиму в теплицях системи автоматики і ЕОМ, які враховують надходження енергії сонячного випромінювання і регулюють тепловий і світловий режим по оптимальних програмах.

Система повітряного обігріву плівкових теплиць для вирощування розсади і ранніх овочів, що забезпечує рівномірне температурне поле за всією площею теплиці наведена на рис. 1.2.

При експлуатації декількох плівкових теплиць їх сполучають між собою вентиляційними камерами, в яких встановлюють вентилятори з теплообмінниками (калориферами).

Це дозволяє проводити поетапне введення в дію систем обігріву теплиць. Розроблена система обігріву теплиць забезпечує рівномірне температурне поле за всією площею теплиці і дозволяє підвищити врожайність овочевих культур на 10...15 %.

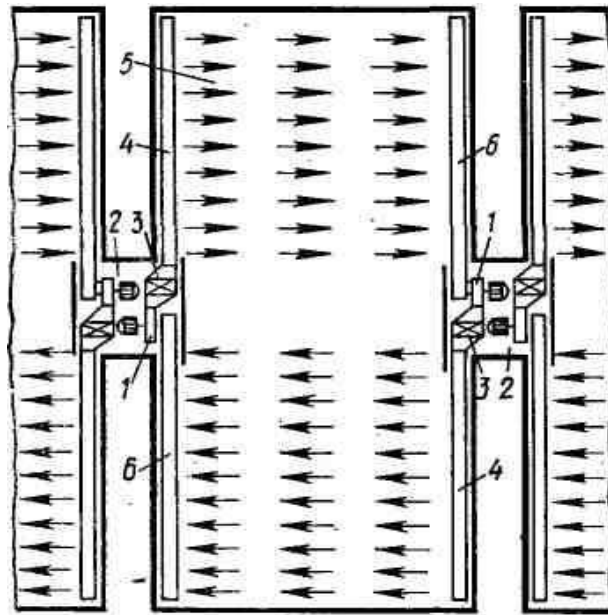


Рис. 1.2. Система повітряного обігріву розсадно-овочевих плівкових теплиць:
 1 – вентилятор; 2 - вентиляційна камера; 3 - теплообмінник (калорифер); 4 - припливний повітропровід; 5 – теплиця; 6 - витяжний повітропровід

Ефективною є також плівкова теплиця для вирощування розсади і ранніх овочів з системою локального обігріву тільки в зоні рослин, що дозволяє скоротити витрати електроенергії на 25...45 %. Теплиця складається з опорних стійок секцій і світлопрозорих панелей, що трансформуються, виконаних у вигляді рам з покриттям з полімерної плівки. Панелі мають нагрівальні елементи, встановлені знизу і шарнірно прикріплені з двох сторін до опорних стійок теплиці з можливістю вертикального переміщення уздовж опорних стійок і повороту на 90° (рис. 1.3).

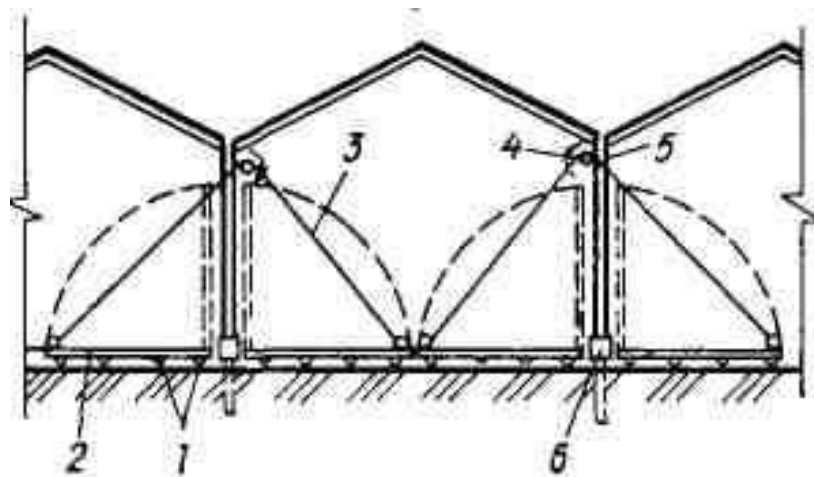


Рис. 1.3. Плівкова розсадно-овочева теплиця з опалювальними панелями, що трансформуються:

1 - нагрівальний елемент; 2 – світлопрозора панель, що трансформується; 3 - трос; 4 - вал;
5 - опорна стійка; 6 - хомут

Одним з резервів зменшення витрат теплоти є виведення сортів, що не знижують урожаю і при знижених температурах. Бувають випадки, коли для зменшення витрати палива підтримують температуру повітря нижче раціональної. Така міра веде до погіршення якості рослин. Тому зниження температури повітря з метою економії теплової енергії треба підходити обережно. Економія теплоти не повинна відбиватися на врожайності і якості продукції.

Комплексна реалізація заходів, що рекомендуються, направлених на економію енергоресурсів, при проектуванні, будівництві, експлуатації і реконструкції теплиць дозволяє досягти значної їх економії.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ В СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ ТЕПЛИЦЬ

2.1. Біомаса – перспективне джерело енергії

У сучасних умовах зростання вартості традиційних енергоресурсів та необхідності зниження викидів парникових газів особливої актуальності набуває використання відновлюваних джерел енергії. Серед них біомаса посідає одне з провідних місць завдяки своїй доступності, екологічності та можливості локального використання [3].

Біомаса – це органічна речовина рослинного або тваринного походження, що може бути використана для отримання енергії. До основних видів біомаси належать: деревні відходи, солома, лущиння соняшника, торф, біогаз, енергетичні культури (верба, міскантус, топінамбур) та інші види органічних залишків сільського господарства.

Енергетичне використання біомаси передбачає її перетворення на теплову або електричну енергію. Найбільш поширеним напрямом є спалювання твердої біомаси у спеціалізованих котельних установках. При цьому коефіцієнт корисної дії сучасних котлів на біомасі може досягати 85–90 %, що забезпечує високий рівень енергетичної ефективності та конкурентоспроможності у порівнянні з традиційними видами палива.

Однією з головних переваг біомаси є її відновлюваність. На відміну від вугілля, нафти чи природного газу, біомаса формується у природних процесах фотосинтезу протягом короткого часу, тому її використання не призводить до виснаження ресурсів. Крім того, під час спалювання біомаси в атмосферу викидається лише та кількість CO₂, яка була поглинута рослинами під час їх росту, що робить цей вид енергії вуглецево нейтральним.

З екологічної точки зору, застосування біопалива сприяє зниженню шкідливих викидів, утилізації сільськогосподарських відходів та зменшенню

залежності від імпорتنих енергоносіїв. Це особливо важливо для України, яка має значний аграрний потенціал і може самостійно забезпечувати власні потреби у біоенергії.

Перехід на котли, що працюють на твердій біомасі, дає можливість суттєво знизити витрати на енергоресурси, підвищити рівень енергетичної незалежності підприємства та зменшити екологічний вплив виробництва. Завдяки цьому біомаса розглядається як одне з найперспективніших джерел енергії для розвитку сталих і енергоефективних аграрних підприємств.

2.2. Порівняння характеристик деревної та рослинної біомаси

Основними видами твердої біомаси, що застосовуються в енергетичних цілях, є деревна (відходи лісозаготівлі, деревопереробки, пелети, тріска) та рослинна (солома зернових культур, кукурудзяні стебла, лушпиння соняшнику, відходи сільського господарства).

Для ефективного використання котлів на біомасі важливо враховувати фізико-хімічні властивості цих двох типів сировини.

Вологість палива є одним із найважливіших параметрів, що безпосередньо визначає теплотворну здатність, стабільність горіння і ККД котла.

Деревна біомаса у природному стані має вологість 40–55 % (залежно від породи і сезону заготівлі). При сушінні до 20 % або нижче деревина забезпечує більш повне згоряння, мінімальне димоутворення і стабільну температуру в топці. Оптимальна вологість для пелет і брикетів становить 8–12 %, що відповідає промисловим стандартам якості ENplus.

Рослинна біомаса (солома, стебла кукурудзи, лушпиння соняшнику) характеризується дещо вищою природною вологістю — 15–30 %. Проте через свою волокнисту структуру вона легко вбирає атмосферну вологу, особливо під час зберігання у відкритих умовах. Висока вологість

призводить до збільшення витрат палива на одиницю виробленої енергії та підвищеного конденсатоутворення у димоході. Отже, при використанні рослинних відходів потрібна система сушіння або зберігання у захищених приміщеннях.

Теплотворна здатність визначає кількість енергії, що виділяється при повному згорянні одиниці маси палива, і вимірюється у мегаджоулях на кілограм (МДж/кг).

Деревна біомаса має середню нижчу теплоту згорання 16–19 МДж/кг у сухому стані. Найвищі значення спостерігаються для твердих порід — дуба, бука, ясена. Завдяки високому вмісту лігніну (до 30 %) деревина згорає повільно, із стабільним тепловиділенням та невеликою кількістю золи.

Рослинна біомаса має нижчу теплотворну здатність — 13–16 МДж/кг, зумовлену меншим вмістом лігніну та більшою часткою целюлози і геміцелюлози, які згоряють швидше і менш стабільно. Водночас, деякі види рослинної біомаси (лушпиння соняшнику, зернові відходи) можуть мати енергетичні показники, наближені до деревини, якщо вони добре висушені та ущільнені у гранули або брикети.

Для котлів на біомасі важливо, щоб теплотворна здатність палива була стабільною, тому деревина зазвичай вважається еталонним видом біопалива для енергетики.

Зольність визначає кількість неорганічного залишку, який залишається після повного згорання палива.

Деревна біомаса має низький вміст золи — 0,3–1,5 %. Такий показник забезпечує чисте згорання, мінімальні відкладення у топці та димових каналах. Завдяки цьому деревне паливо придатне для автоматизованих котлів тривалої роботи, які не потребують частого очищення.

Рослинна біомаса характеризується підвищеним вмістом золи — 3–10 %, залежно від виду культури. Наприклад, солома пшениці містить до 7 % золи, а кукурудзяні стебла — близько 4 %. При високих температурах зола рослинного походження має схильність до спікання і утворення шлаків через

високий вміст калію, натрію, фосфору та кремнію. Це може призвести до налипання на поверхнях теплообміну, зниження теплопередачі та збільшення втрат тепла.

Вміст летких речовин, сірки та хлору:

Деревна біомаса містить 70–80 % летких речовин, які забезпечують швидке займання та стабільне горіння. Вміст сірки у деревині дуже низький — менше 0,05 %, тому при її спалюванні утворюється мінімальна кількість діоксиду сірки (SO_2). Також деревина містить незначну кількість хлору, що знижує ризик корозії металевих елементів котла.

Рослинна біомаса має більший вміст азоту (0,5–1 %), сірки (0,1–0,3 %) та хлору (до 0,5 %). Це призводить до підвищеного утворення оксидів азоту (NO_x) і солей хлору, які можуть осідати на стінках топки та викликати високотемпературну корозію. Для уникнення негативних наслідків при спалюванні рослинної біомаси рекомендується знижувати температуру горіння до 750–850 °C та використовувати жаростійкі сталі для виготовлення теплообмінних поверхонь.

Густина, форма та зберігання:

Деревна біомаса має більшу об'ємну щільність, особливо у вигляді пелет (600–750 $\text{кг}/\text{м}^3$) або брикетів (800–900 $\text{кг}/\text{м}^3$). Завдяки цьому вона зручна у транспортуванні, автоматизованій подачі та компактному зберіганні. Крім того, деревні гранули добре зберігають форму і не вбирають вологу при правильному пакуванні.

Рослинна біомаса зазвичай має меншу щільність (100–300 $\text{кг}/\text{м}^3$ у вигляді соломи або лушпиння), тому потребує більшого об'єму складів та частішого підвезення. Її транспортування часто здійснюється у тюках або навалом, що ускладнює автоматизацію подачі палива до котла.

Економічні аспекти використання:

З економічної точки зору, рослинна біомаса зазвичай має нижчу собівартість і є більш доступною у регіонах з розвиненим сільським господарством. Наприклад, вартість соломи або лушпиння може бути в 1,5–2

рази нижчою, ніж деревних пелет. Це робить її привабливою для підприємств, що прагнуть мінімізувати паливні витрати.

Однак деревна біомаса має значні технологічні переваги — стабільну якість, нижчий вміст золи, меншу потребу в обслуговуванні обладнання та довший термін служби котлів. При тривалій експлуатації це забезпечує нижчу загальну собівартість теплової енергії, навіть попри вищу ціну палива.

2.3. Типи твердопаливних котлів

Твердопаливні котли є важливим елементом сучасних систем теплопостачання, які забезпечують перетворення хімічної енергії твердого палива на теплову енергію теплоносія. Вони широко застосовуються як у побутовому, так і у промисловому секторі, зокрема у тепличному господарстві, де необхідно підтримувати стабільний температурний режим протягом усього року. Використання таких котлів є ефективним способом зниження залежності від природного газу, а також сприяє переходу до відновлюваних джерел енергії, зокрема біомаси.

Котли, що працюють на твердому паливі, мають велику різноманітність конструкцій і технічних рішень. Їх класифікацію здійснюють за кількома основними ознаками: за принципом горіння, видом палива, конструкцією топки, режимом роботи, ступенем автоматизації та потужністю. Такий поділ дозволяє вибрати оптимальне обладнання для конкретних умов експлуатації.

За принципом горіння розрізняють традиційні, піролізні, котли тривалого горіння та котли з киплячим шаром палива. Традиційні котли характеризуються простотою конструкції та невисокою вартістю. У них процес горіння відбувається безпосередньо в топці на колосникових решітках, а повітря подається в зону горіння природною або примусовою тягою. Такі котли мають відносно невисокий коефіцієнт корисної дії, який становить близько 70–80%, та вимагають ручного завантаження палива й регулярного очищення камери згоряння. Їх перевагою є надійність і простота

обслуговування, проте вони малоефективні для систем, які потребують безперервного теплопостачання.

Більш удосконаленим є піролізний або газогенераторний котел. Принцип його роботи полягає у двофазному спалюванні палива. На першій стадії відбувається тління деревини чи іншої біомаси в умовах обмеженого доступу кисню, при цьому виділяється піролізний газ. На другій стадії цей газ догорає у спеціальній камері при високій температурі. Така конструкція забезпечує більш повне згоряння палива, меншу кількість твердих залишків і шкідливих викидів, а також підвищений ККД, що може сягати 85–90%. Піролізні котли є економічними, але потребують якісного сухого палива та періодичного технічного обслуговування.

Котли тривалого горіння відрізняються від попередніх типів тим, що паливо в них згорає поступово — зверху вниз. Повітря подається безпосередньо в активну зону горіння, яка повільно опускається в міру згоряння палива. Це дозволяє забезпечити тривалий цикл роботи без дозавантаження, який може тривати від 12 до 48 годин. Такі котли зручні для об'єктів, де обслуговування здійснюється нерегулярно. Їхній коефіцієнт корисної дії становить близько 80–87%. Основною перевагою є автономність, однак вони не завжди забезпечують стабільний температурний режим при різких змінах навантаження.

Для великих промислових установок та централізованих котелень використовуються котли з киплячим шаром палива. У таких системах спалювання відбувається в середовищі інертного матеріалу, наприклад піску або керамічних гранул, через який продувається повітря. У результаті частинки палива рівномірно перемішуються, що забезпечує повне згоряння навіть вологого палива, стабільну температуру і мінімальні шкідливі викиди. Котли цього типу характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії, який перевищує 90%, однак мають складну конструкцію та високу вартість, тому застосовуються переважно у промислових масштабах.

За режимом роботи твердопаливні котли поділяють на котли періодичної дії, напівавтоматичні та автоматичні. Котли періодичної дії потребують ручного завантаження палива та очищення золи, що збільшує трудомісткість обслуговування. Напівавтоматичні системи мають механічну подачу палива, але процес запалювання і видалення відходів здійснюється вручну. Автоматичні котли повністю контролюються електронною системою, яка забезпечує подачу палива, розпал, регулювання тяги, підтримання температури та видалення золи. Вони найбільш придатні для тепличних господарств, оскільки дозволяють підтримувати безперервне теплопостачання з мінімальним втручанням персоналу.

Таким чином, твердопаливні котли мають широку класифікацію за принципом роботи, видом палива, конструкцією і рівнем автоматизації. Для тепличного господарства ТОВ «Камелія» найбільш доцільним є використання автоматизованих котлів, що працюють на біомасі — пелетах або подрібненій деревній щепі. Таке обладнання поєднує високу ефективність, екологічну безпечність та можливість використання місцевої сировини, що знижує експлуатаційні витрати і забезпечує стабільне теплопостачання протягом усього періоду вирощування рослин.

РОЗДІЛ 3

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ТЕПЛИЦІ

3.1. Вихідні дані тепличного господарства

Споруди захищеного ґрунту мають ряд відмінностей, які слід враховувати при вирішуванні задачі про їх теплопостачання:

великі втрати теплоти із-за малих термічних опорів огорожень з скла або з полімерної плівки, а також внаслідок значної інфільтрації зовнішнього повітря (від 10 % до 40 % основних теплових втрат);

різкозмінний характер теплового навантаження на протязі доби, сезону, року;

- мала теплова стійкість споруди, обумовлена малою інерцією огорожі; збільшені вимоги до параметрів мікроклімату, обумовлені агротехнічними вимогами;

- необхідність проведення технологічних заходів, що вимагають додаткових витрат теплоти (термічна обробка ґрунтового шару, розігрій ґрунту, порив та ін.).

Тому правильний вибір джерела та засобів теплопостачання має велике значення, так як при цьому визначається економічна ефективність культиваційних споруд, ступінь рентабельності овочеводства захищеного ґрунту. На обігрів кожного гектара теплиць в середньому витрачається 1500 т умовного палива за сезон. Витрати на обігрів зимових теплиць досягають 30 ... 40% усіх експлуатаційних витрат на вирощування овочів.

Основні геометричні розміри та параметри теплиці наведені в таблиці 3.1.

Характерною і особливо важною відмінністю проектуємої теплиці від всіх інших теплиць, є те, що в одному блоці є і джерело теплопостачання і джерело споживання, тобто повинна бути своя власна автономна котельня.

При цьому буде дуже економитись теплова енергія, яка не буде втрачатись при передачі.

Таблиця 3.1

Основні геометричні розміри та параметри теплиці

| Найменування показників | Одиниці виміру | Показники |
|---------------------------------|----------------|-----------|
| Кількість ланок в теплиці | шт. | 54 |
| Ширина ланки теплиці | м | 4 |
| Довжина ланки теплиці | м | 176 |
| Висота теплиці | м | 5,85 |
| Висота бокової поверхні теплиці | м | 4,85 |
| Ширина бокової поверхні ланки | м | 2,23 |
| Загальна площа теплиці | м ² | 38016 |

Водопостачання теплиці буде здійснюватись від водонапірної башти, яка буде споруджена біля теплиці.

Відвід виробничих стоків передбачено в поля фільтрації.

Вентиляція в теплиці передбачена природна, шляхом автоматичного відкривання бічних та верхніх фрамуг.

Освітлення природне, для зменшення затрат і енергоресурсів.

Теплицю будуюмо із металевих рам, покритих одинарним склом, товщина якого складає 4 мм. Допоміжні приміщення побудовані із цегли.

3.2. Тепловий розрахунок споруд захищеного ґрунту

Мета розрахунку – визначити основні теплотехнічні характеристики системи опалювання, яка забезпечує задані параметри в спорудах захищеного ґрунту залежно від кліматичних умов і особливостей конструкції.

Розрахунок виконуємо для перехідного періоду року. При цьому вводять такі спрощення:

- не враховують вплив продуктів життєдіяльності на параметри мікроклімату;
- процеси тепло- і масообміну є стаціонарними;
- температури поверхонь огорожі і ґрунту приймаємо як середні величини по площі;
- термічний опір світлопрозорих елементів огорожі приймаємо рівним нулю;
- повітрообмін здійснюється тільки за рахунок інфільтрації;
- при розрахунку трубного водяного обігріву температуру поверхні ґрунту ($t_{гр}$) приймаємо такою ж, як і розрахункову температуру повітря в теплиці ($t_{в}$);
- при визначенні розрахункових витрат теплоти, теплоту, акумульовану ґрунтом, не враховуємо;
- при розрахунку водяної трубної системи опалення для всіх кліматичних зон тепловий потік від підґрунтового обігріву приймаємо незмінним;
- при проектуванні трубного водяного опалення розрахункову температуру повітря в теплицях ($t_{в}$) приймаємо 15°C , відносну вологість ($\phi_{в}$) - 60%, температуру поверхні ґрунту ($t_{гр}$) - 0°C .

Вихідні дані для розрахунку:

1. Розрахункова температура зовнішнього повітря $t_3 = - 5^{\circ}\text{C}$;
2. Розрахункова температура внутрішнього повітря в теплиці передбачена $+15^{\circ}\text{C}$;

3. Теплоносій - горяча вода з параметрами: 95 °С на виході і 70 °С на вході.

4. Системи опалення теплиці включає:

- шатровий обігрів, до складу якого входять покрівельний, підлотковий, торцевий, боковий, цокольний, надґрунтовий;

- підґрунтовий обігрів;

- контурний обігрів.

Розрахункова схема енергетичного балансу теплиці представлена на рис.3.1

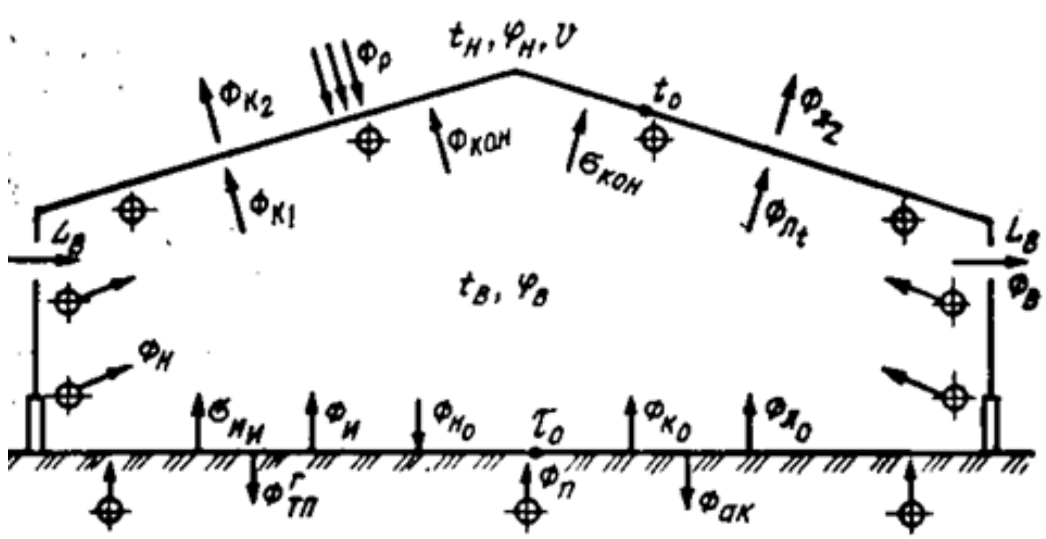


Рис. 3.1 Розрахункова схема енергетичного балансу теплиці

Тепловий розрахунок теплиці з системами опалення шатра і ґрунту починаємо з рівняння теплового балансу на поверхні огородження, яке записується так:

$$Q_{K1} + Q_{B1} + Q_{KOH} = Q_{K2} + Q_{B2}$$

(3.1)

де Q_{K1} і Q_{K2} - теплові потоки при конвективному теплообміні на внутрішній і зовнішній поверхнях огороження, Вт/м²;

Q_{B1} і Q_{B2} - теплові потоки через випромінювання на внутрішній та зовнішній поверхнях огороження, Вт/м²;

Q_{KOH} - тепловий потік при конденсації на внутрішній поверхні огороження, Вт/м².

3.2.1 Конвективний теплообмін на внутрішніх поверхнях огороження розраховуємо в умовах природної конвекції при турбулентному режимі, Вт/м²:

$$Q_{K1} = A_1 \cdot K_o \cdot m \cdot (t_B - t_o)^{4/3},$$

(3.2)

де A_1 - коефіцієнт для розрахунку конвективного теплообміну. Він залежить від середньої температури повітря $t_{сер}$ (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Залежність A_1 від $t_{сер}$

| $t_{сер}, ^\circ\text{C}$ | - 5 | 0 | + 20 |
|---------------------------|------|------|------|
| A_1 | 1,74 | 1,69 | 1,57 |

Для $t_{сер} = +7 ^\circ\text{C}$: $A_1 = 1,643 \text{ м}^2$

$K_o = 1,25$ - коефіцієнт огороження теплиці (відношення площі огорожувальної поверхні (шатра) $F_{ш}$ до інвентарної площі ґрунту $F_{гр}$, залежить від типу теплиці і виду покриття (табл. 3.4).

Коефіцієнт огороження теплиці

| K ₀ | Скляні теплиці | | Плівкові теплиці | |
|----------------|----------------|--------|------------------|--------|
| | ангарні | блочні | ангарні | блочні |
| | 1,4 | 1,25 | 1,3 | 1,5 |

m - коефіцієнт розташування поверхні теплообміну, який визначаємо за формулою:

$$m = \frac{F_B + 0,7 \cdot F_{II}}{F_B + F_{II}}, \quad (3.3)$$

де F_B - площа вертикальної огорожувальної поверхні, м²;

F_{II} - площа похилої огорожувальної поверхні, м².

F_B і F_{II} - визначаємо за даними на проектування та оптимальних розмірів ланок теплиці:

$$F_B = (n \cdot l_1 + l_2) \cdot h_1, \quad (3.4)$$

$$F_{II} = 2 \cdot n \cdot b \cdot l_2 \quad (3.5)$$

де $n = 54$ шт - кількість ланок у теплиці;

$l_1 = 4$ м - ширина ланки теплиці;

$l_2 = 176$ м - довжина ланки теплиці;

$b = 2,23$ м - ширина бокової поверхні ланки шатра;

$h_1 = 4,85$ м - висота бокової поверхні

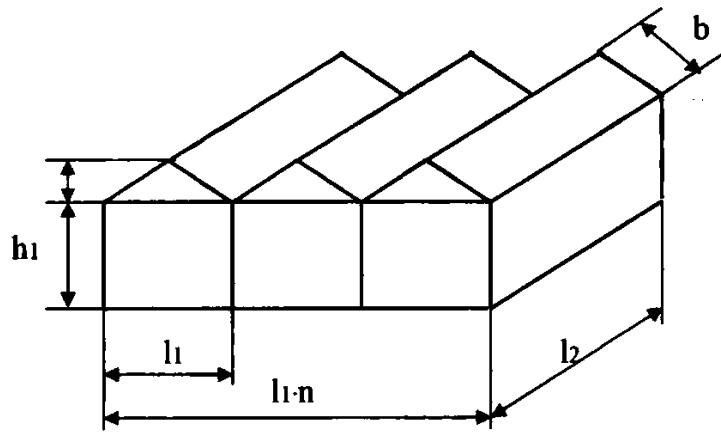


Рис 3.2 Схема блочної теплиці

$$F_{\text{в}} = (54 \cdot 4 + 176) \cdot 4,85 = 1901,05 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{п}} = (2 \cdot 54 \cdot 2,23 + 176) = 42380,61 \text{ м}^2$$

$$m = \frac{1901,05 + (0,7 \cdot 42380,61)}{1901,05 + 42380,61} = 0,712$$

$t_{\text{в}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря;

t_0 - температура поверхні огороження, $^{\circ}\text{C}$. Визначаємо методом підбору в інтервалі від t_3 до $t_{\text{в}}$.

При цьому розраховуємо праву і ліву частини рівняння (3.1) при значеннях t_0 , які знаходяться у вказівному інтервалі t_3 - $t_{\text{в}}$, будемо графічні залежності окремих частин цього рівняння від температури t_0 , і в точці перетину графіків знаходимо значення температури t_0 .

Підставивши значення в рівняння (3.2) і вирішивши його відносно t_0 , отримаємо значення $Q_{\text{кл}}$ які зводимо до таблиці 3.5.

Значення $Q_{к1}$ при різних t_0

| $t_0, ^\circ\text{C}$ | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|----|
| $Q_{к1}, \text{Вт/м}^2$ | 97,11 | 67,82 | 38,54 | 15,29 | 0 |

3.2.2 Тепловий потік через випромінювання на внутрішній поверхні огороження розраховуємо за формулою, Вт/м^2 :

$$Q_{B1} = (1 - K_{\Pi}) \cdot Q_{B.GP} + Q_{B.Ш} \quad , \quad (3.6)$$

де K_{Π} - коефіцієнт поглинання теплового випромінювання в об'ємі споруди (для теплиць $K_{\Pi} = 0,12$);

$Q_{B.GP}$ - тепловий потік через випромінювання на поверхні ґрунту, Вт/м^2 ;

$Q_{B.Ш}$ - тепловий потік через випромінювання на поверхні огороження від приладів шатрового обігріву, Вт/м^2

Визначаємо тепловий потік через випромінювання на поверхні ґрунту за формулою, Вт/м^2 :

$$Q_{B.GP} = 0,81 \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{273 + t_{GP}^0}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right], \quad (3.7)$$

де $C_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ - випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла;

$t_{GP}^0 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ - температура на поверхні ґрунту;

t_0 - температура поверхні огороження

Визначаємо тепловий потік через випромінювання на поверхні огороження від приладів шатрового обігріву за формулою, Вт/м²:

$$Q_{в.ш} = \varepsilon_p \cdot \varepsilon_0 \cdot C_0 \cdot (1 - \varphi_{гр}) \cdot (1 - K_{п}) \cdot a_{ш} \cdot \left[\left(\frac{273 + t_{ср1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right], \quad (3.8)$$

де $\varepsilon_p = (0,92 \dots 0,96)$ - коефіцієнт теплового випромінювання поверхні опалювальних приладів;

$\varepsilon_0 = 0,94$ - коефіцієнт теплового випромінювання поверхні огорожі;

$\varphi_{гр} = (0,3 \dots 0,4)$ - кутовий коефіцієнт випромінювання з поверхні приладів шатрового обігріву на ґрунт;

$\alpha_{ш} = (0,4 \dots 0,5)$ - відношення площі поверхні приладів шатрового обігріву до площі теплиці;

$t_{ср1}$ - середня температура поверхні приладів (середня температура теплоносія), приймається як середньоарифметичне температур гарячої води на виході (t_T) і зворотної (t_K) води, °С :

$$t_{ср1} = \frac{t_T + t_K}{2} = \frac{95 + 70}{2} = 82,5 \text{ °С} \quad (3.9)$$

Вирішивши значення $Q_{в.гр}$, $Q_{в.ш}$ відносно t_0 і підставивши значення в рівняння (3.6), отримаємо значення $Q_{в1}$ які зводимо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Значення $Q_{в1}$ при різних t_0

| $t_0, \text{°С}$ | -5 | 0 | 5 | 10 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| $Q_{в.гр}, \text{В}$ | 79 | 60,3 | 41,61 | 21,34 |
| $Q_{в.ш}, \text{В}$ | 145,96 | 140,46 | 134,97 | 129,01 |
| $Q_{в1}, \text{ВТ/}$ | 215,48 | 193,53 | 171,58 | 147,78 |

3.2.3 Тепловий потік при конденсації вологи розраховуємо за формулою, Вт/м²:

$$Q_{\text{кон}} = K_0 \cdot r \cdot G_{\text{кон}}, \quad (3.10)$$

де $K_0 = 1,25$ - коефіцієнт огороження теплиці;

$r = 2500$ Дж/кг - питома теплота пароутворення;

$G_{\text{кон}}$ - витрати вологи, яка конденсується, г/(с · м²)

Визначаємо витрати вологи, яка конденсується за формулою, г/(с · м²):

$$G_{\text{кон}} = 0,61 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + t_{\text{сеп}})^{0,42} \cdot \Delta \varepsilon^{1,4} \cdot \left[\frac{(t_T + t_K)}{\nu^2} \right]^{0,33},$$

(3.11)

де ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с, приймаємо по середній температурі, яку визначаємо за формулою:

$$t_{\text{сеп}} = \frac{(t_B + t_O)}{2}$$

(3.12)

$\Delta \varepsilon$ - визначаємо за формулою:

$$\Delta \varepsilon = \frac{100 \cdot (0,01 \cdot \varphi_B \cdot P_B'' - P_O'')}{B},$$

(3.13)

де $\varphi_B = 70$ % - відносна вологість повітря в теплиці;

P_B'', P_O'' - тиск насичення водяної пари при t_B і t_0 , кПа;

$B = 98,1$ кПа - атмосферний тиск

Приймаємо для $t_B = 15$ C° : $P_B = 1,707$ кПа;

Підставивши послідовно значення в рівняння (3.13), (3.12), (3.11), (3.10) і вирішивши їх відносно t_0 , отримаємо відповідні значення $Q_{\text{кон}}$, які зводимо до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Значення $Q_{\text{кон}}$ при різних t_0

| | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $t_0, ^\circ\text{C}$ | - 5 | 0 | 5 |
| $t_{\text{сер}}, ^\circ\text{C}$ | 5 | 7 | 10 |
| $\nu, \text{м}^2/\text{с}$ | $14,16 \cdot 10^{-6}$ | $14,26 \cdot 10^{-6}$ | $14,37 \cdot 10^{-6}$ |
| $P_o'', \text{кПа}$ | 0,403 | 0,638 | 0,874 |
| $\Delta \varepsilon$ | 0,707 | 0,471 | 0,236 |
| $Q_{\text{кон}}, \text{Вт}/\text{м}^2$ | 60,6 | 35,43 | 10,27 |

3.2.4 Конвективний теплообмін на зовнішній поверхні огорожі протікає в умовах вимушеної конвекції, $\text{Вт}/\text{м}^2$:

$$Q_{K2} = \alpha_2 \cdot K_0 \cdot (t_0 - t_3), \quad (3.14)$$

де α_2 - коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$K_0 = 1,25$ - коефіцієнт огороження теплиці;

t_0 - температура поверхні огороження, $^\circ\text{C}$;

$t_3 = - 5^\circ\text{C}$ - температура зовнішнього повітря

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні за формулою, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$:

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_B \cdot F_B + \alpha_{\Pi} \cdot F_{\Pi}}{F_B + F_{\Pi}},$$

(3.15)

де α_B - коефіцієнт тепловіддачі на вертикальних ділянках огороження, Вт/(м²·К);

α_{Π} - коефіцієнт тепловіддачі на похилих ділянках огороження, Вт/(м²·К)

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі на вертикальних ділянках огороження

за формулою, Вт/(м²·К):

$$\alpha_B = 11,6 \cdot V^{1/2} = 11,6 \cdot 4,3^{1/2} = 24,$$

(3.16)

де $V = 4,3$ м/с - швидкість вітру на території тепличного господарства

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі на похилих ділянках огороження за формулою, Вт/(м²·К):

$$\alpha_{\Pi} = \frac{(A_2 \cdot V^{0,8})}{b^{0,2}},$$

(3.17)

де A_2 - коефіцієнт, який залежить від температури зовнішнього повітря t_3 , вибираємо із таблиці 3.8.

b - характерний (найменший) розмір похилого огороження, м, розраховуємо за вихідними даними за формулою:

$$b = \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_2}{2}\right)^2} = \sqrt{1^2 + \left(\frac{176}{2}\right)^2} = 87,99,$$

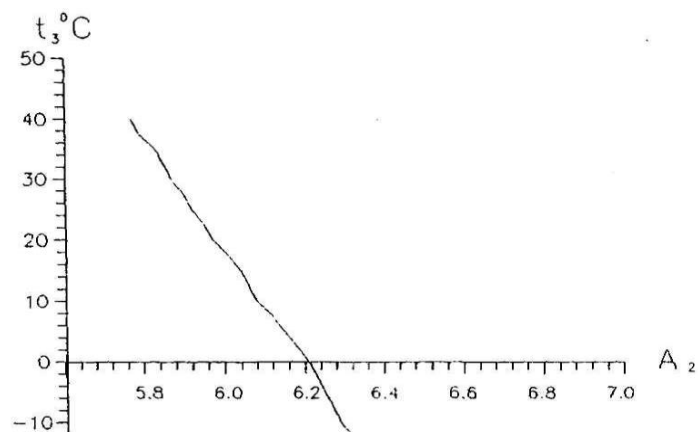
(3.18)

Таблиця 3.8

Коефіцієнт A_2

| | | | | |
|----------|------|------|------|------|
| t_3 °C | - 5 | 0 | 20 | 40 |
| A_2 | 6,25 | 6,21 | 5,97 | 5,77 |

Показавши на рис. 3.3 залежність $A_2 = f(t_3)$ для $t_3 = -5$ °C : $A_2 = 6,25$.

Рис 3.3 Залежність $A_2 = F(t_3)$

Отримані значення підставляємо в формулу (3.17), Вт/(м²·К):

$$\alpha_{II} = \frac{(6,25 \cdot 4,3^{0,8})}{87,99^{0,2}} = 8,22$$

Отримані значення підставляємо в формулу (3.15), Вт/(м²·К):

$$\alpha_2 = \frac{24 \cdot 1901,05 + 8,22 \cdot 42380,61}{1901,05 + 42380,61} = 8,9$$

Підставивши значення в рівняння (3.14) і вирішивши його відносно t_0 , отримаємо значення Q_{K2} які зводимо до таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Значення Q_{K2} при різних t_0

| $t_0, ^\circ\text{C}$ | -5 | 0 | 5 | 10 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $Q_{K2}, \text{Вт/м}^2$ | 30,16 | 39,64 | 49,02 | 58,44 |

3.2.5 Теплообмін через випромінювання на зовнішній поверхні огорожі розраховуємо за формулою, Вт/м^2 :

$$Q_{B2} = k \cdot \varepsilon_0 \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 - 0,8 \cdot \left(\frac{273 + t_3}{100} \right)^4 \right]$$

(3.19) де $k = 6,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ – коефіцієнт теплопередачі одинарного скла в металічній рамі.

Всі невідомі беремо з попередніх рівнянь. Підставивши значення в рівняння (19) і вирішивши його відносно t_0 отримали значення Q_{B2} які зводимо до таблиці 3.10

Таблиця 3.10.

Значення Q_{B2} при різних t_0

| $t_0, ^\circ\text{C}$ | -5 | 0 | 5 | 10 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $Q_{B2}, \text{Вт/м}^2$ | 108,12 | 126,39 | 153,67 | 178,37 |

Таблиця 3.11

Зведена таблиця для рівняння теплового балансу на поверхні огороження

| $t_0, ^\circ\text{C}$ | -5 | 0 | 5 | 10 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $Q_{k1} + Q_{b1} + Q_{koh}$ | 186,59 | 148,39 | 110,19 | 81,53 |
| $Q_{k2} + Q_{b2}$ | 138,28 | 170,49 | 202,69 | 236,81 |

За отриманими даними будемо графік для знаходження t_0 , при якому виконується рівняння теплового балансу на поверхні огорожі (рис.3.4). З графіка видно, що $t_0 = -1^\circ\text{C}$.

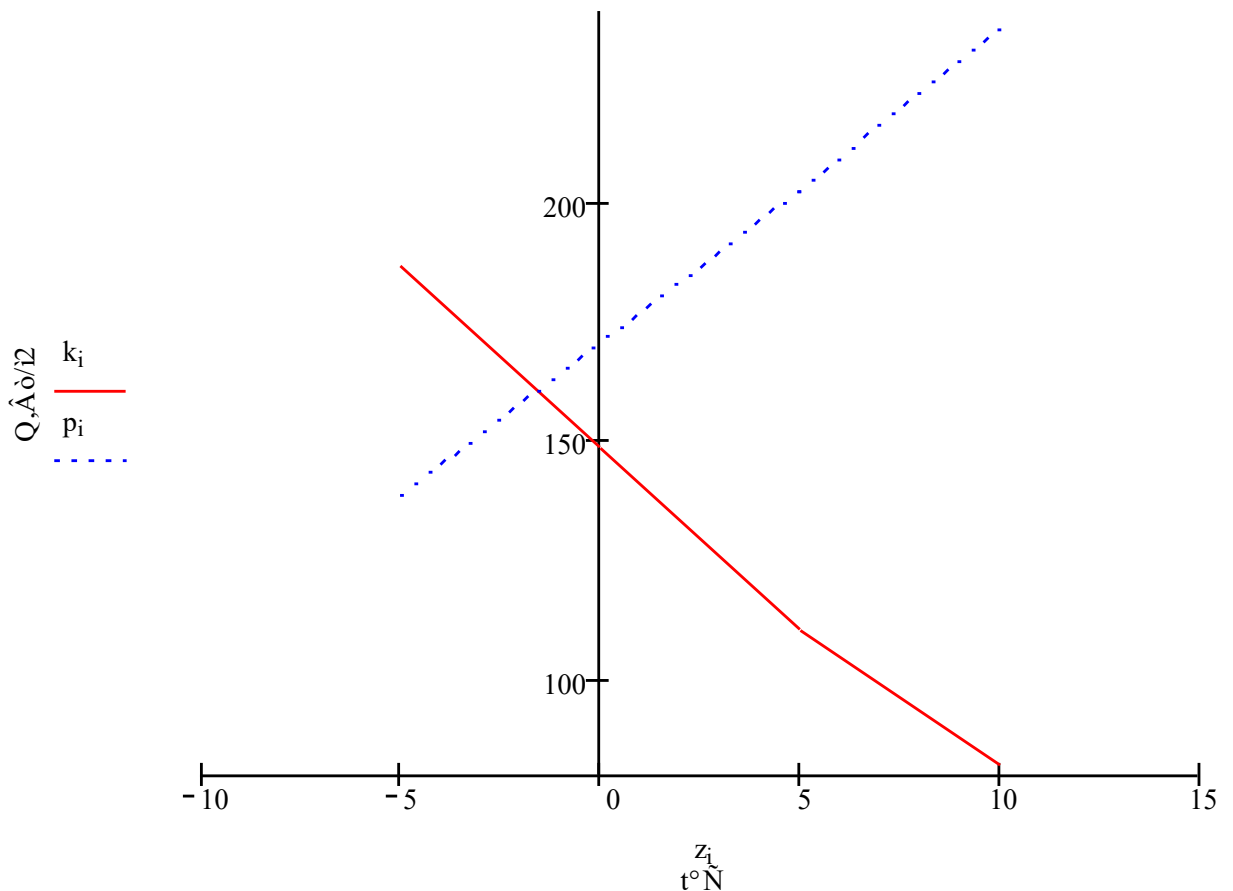


Рис. 3.4 Графік для знаходження t_0 при якому виконується рівняння теплового балансу

Тоді при $t_0 = -1^\circ\text{C}$:

$$Q_{K1} = 55,09 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_{B1} = 42,35 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_{KOH} = 19,91 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_1 = Q_{K2} + Q_{B1} + Q_{KOH} = 55,09 + 42,35 + 19,91 = 117,35 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_{k2} = 23,37 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_{b2} = 136,33 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_2 = Q_{k2} + Q_{b2} = 23,37 + 136,33 = 159,7 \text{ Вт/м}^2$$

Отже, приймаємо температуру поверхні огороження $t_0 = -1 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.2.6 Втрати теплоти через грунт $Q_{гр}$, Вт/м^2 , розраховують по окремих зонах, паралельних зовнішнім стінам. Перші три зони мають ширину 2 м, а частина площі, що залишилась, складає четверту зону (рис.3.5). Ширину першої зони починаємо рахувати від внутрішньої поверхні зовнішніх стін.

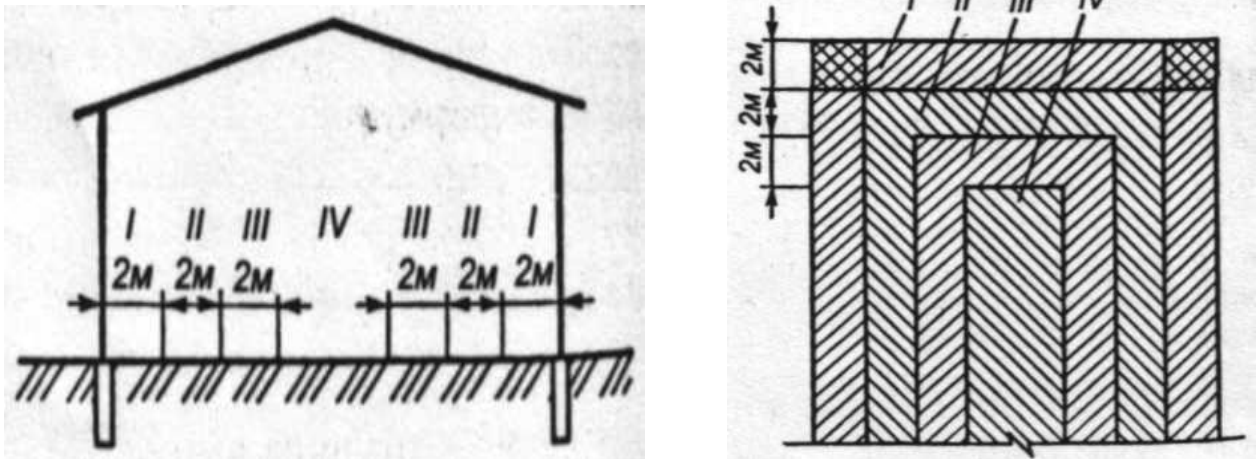


Рис. 3.5 Розподілення підлоги теплиці на зони

$$F_1 (I) = 1552 \text{ м}^2$$

$$F_2 (II) = 1520 \text{ м}^2$$

$$F_3 (III) = 1488 \text{ м}^2$$

$$F_4 (IV) = 33456 \text{ м}^2$$

Втрати теплоти через ґрунт на одиницю площі знаходимо за формулою, Вт/м²:

$$Q_{ГР} = \frac{Q_{П}}{F_{ИВ}}, \quad (3.20)$$

де $Q_{П}$ - втрати теплоти в теплиці через ґрунт, Вт;

$F_{ИВ} = 38016 \text{ м}^2$ - інвентарна площа в теплиці

Визначаємо втрати теплоти в теплиці у ґрунт за формулою, Вт:

$$Q_{П} = \sum \frac{F_i}{R_i} \cdot (t_B - t_3) \quad (3.21)$$

де F_i - площі ділянок шириною 2м, м²;

R_i - коефіцієнт термічного опору відповідних зон ґрунту в теплиці:

$$R_1 = 2,1 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_2 = 4,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_3 = 8,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_4 = 14,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

$t_B = 288 \text{ К}$ - температура внутрішнього повітря;

$t_3 = 272 \text{ К}$ - температура зовнішнього повітря

$$Q_{ГР} = \frac{1552}{2,1} \cdot 36 + \frac{1520}{4,3} \cdot 36 + \frac{1488}{8,6} \cdot 36 + \frac{33456}{14,2} \cdot 36 = 130378,14$$

Отримане значення підставляємо в формулу (3.20), Вт/м²:

$$Q_{ГР} = \frac{130378,14}{38016} = 3,43$$

3.2.7 Тепловий потік на нагрівання зовнішнього повітря визначаємо за формулою, Вт/м²:

$$Q_{\text{ИФ}} = \left[\frac{\alpha \cdot (\rho_3 - \rho_B)}{\rho_B} \right] \cdot [Q_{K2} + Q_{B2}] =$$

$$= \left[\frac{1,25 \cdot (1,43 - 1,226)}{1,226} \right] \cdot [23,37 + 136,33] = 33,21$$

(3.22)

де $\alpha = 1,25$ - коефіцієнт, який залежить від покриття (для теплиць, покритих склом);

$\rho_3 = 1,43$ кг/ м³ - густина зовнішнього повітря;

$\rho_B = 1,226$ кг/м³ - густина внутрішнього повітря

3.2.8 Тепловий потік, який акумулюється в ґрунті $Q_{AK} = 0$ Вт/м², так як за наявності ґрунтового обігріву температура ґрунту і повітря в теплиці однакові.

3.2.9 Тепловий потік через випромінювання від опалювальних приладів шатрового опалення на поверхні ґрунту визначаємо за формулою, Вт/м²:

$$Q_{B.O} = \varepsilon_P \cdot \varepsilon_{ГР} \cdot \varphi_{ГР} \cdot (1 - K_{П}) \cdot a_{ш} \cdot \left[\left(\frac{273 + t_{CP1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_{ГР}^0}{100} \right)^4 \right] =$$

$$= 0,96 \cdot 0,96 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,12) \cdot 0,5 \cdot \left[\left(\frac{273 + 82,5}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + 15}{100} \right)^4 \right] = 14,74$$

(3.23) де $\varepsilon_p = (0,92 \dots 0,96)$ -коефіцієнт теплового випромінювання поверхні опалювальних приладів;

$\varepsilon_{гр} = 0,96$ - коефіцієнт теплового випромінювання ґрунту;

$\varphi_{гр} = (0,3 \dots 0,4)$ - кутовий коефіцієнт випромінювання з поверхні приладів шатрового обігріву на ґрунт;

K_{Π} - коефіцієнт поглинання теплового випромінювання в об'ємі споруди (для теплиць $K_{\Pi} = 0,12$);

$\alpha_{ш} = (0,4 \dots 0,5)$ - відношення площі поверхні приладів шатрового обігріву до площі теплиці;

$t_{ср1} = 82,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - середня температура поверхні приладів

3.2.10 Тепловий потік при конвективному теплообміні на поверхні ґрунту в умовах вільної конвекції $Q_{к.о} = 0$, так як $t_{в} = t_{гр}$.

3.2.11. Теплову потужність системи опалення розраховуємо на основі рівняння теплового балансу:

$$Q_{ш}^0 + Q_{ГР}^0 + Q_{АК} + Q_{P} = Q_{к2} + Q_{B2} + Q_{ГР} + Q_{ИФ}$$

(3.24)

де $Q_{ш}^0$ - теплова потужність системи опалення шатра, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$Q_{ГР}^0$ - теплова потужність системи обігріву ґрунту, $\text{Вт}/\text{м}$;

$Q_{АК} = 0 \text{ Вт}/\text{м}^2$ - тепловий потік, акумульований в ґрунті протягом дня;

$Q_{P} = 0 \text{ Вт}/\text{м}^2$ - тепловий потік від сонячної радіації;

$Q_{к2} = 23,37 \text{ Вт}/\text{м}^2$ - тепловий потік при конвективному теплообміні;

$Q_{B2} = 136,33 \text{ Вт}/\text{м}^2$ - теплообміні через випромінювання на зовнішній

поверхні огорожі;

$Q_{ГР} = 3,43 \text{ Вт}/\text{м}^2$ - втрати теплоти через ґрунт;

$Q_{ИФ} = 33,21 \text{ Вт}/\text{м}^2$ - тепловий потік, що витрачається за рахунок

інфільтрації

В результаті теплову потужність системи опалення теплиці визначаємо за формулою, Вт:

$$Q_0 = Q_{ш}^0 \cdot F_{ш} + Q_{гр}^0 \cdot F_{гр} \quad (3.25)$$

3.2.12 Теплову потужність системи опалення ґрунтового обігріву визначаємо, використавши рівняння теплового балансу на поверхні ґрунту:

$$Q_{в.о} + Q_{гр}^0 + Q_{ак} + Q_{к.о} = Q_{гр} + Q_{п} + Q_{в.гр}, \quad (3.26)$$

де $Q_{п}$ - тепловий потік, який витрачається на випаровування вологи із ґрунту, Вт/м²;

При $t_{в} = t_{гр}^0$, що має місце в трубних опалювальних спорудах захищеного ґрунту, тоді:

$$Q_{п} = 0, Q_{ак} = 0, Q_{к.о} = 0$$

$Q_{в.гр}$ - тепловий потік через випромінювання на поверхні ґрунту, Вт/м²

Визначаємо тепловий потік через випромінювання на поверхні ґрунту за формулою, Вт/м²:

$$\begin{aligned} Q_{в.гр} &= 0,81 \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{273 + t_{гр}^0}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right] = \\ &= 0,81 \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{273 + 15}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + (-1)}{100} \right)^4 \right] = 64,57 \end{aligned} \quad (3.27)$$

де $C_0 = 5,67$ Вт/(м·К) - випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла;

$t_{гр}^0 = 15$ °С - температура на поверхні ґрунту;

$t_0 = -1$ °С - температура поверхні огороження

Тоді:

$$Q_{ГР}^0 = Q_{ГР} + Q_{В.ГР} - Q_{В.О} = 3,43 + 64,57 - 14,74 = 53,26 \quad \text{Вт/м}^2$$

(3.28)

3.2.13 Теплову потужність обігріву шатра

визначаємо за формулою із рівняння теплового балансу, Вт/м²:

$$Q_{Ш}^0 = Q_{К2} + Q_{В2} + Q_{ГР} + Q_{ИФ} - Q_{ГР}^0 - Q_{АК} - Q_{Р} =$$

$$= 23,37 + 136,33 + 3,43 + 33,21 - 53,26 - 0 - 0 = 143,08 \quad (3.29)$$

Отримані значення підставляємо в формулу (3.25) і знаходимо сумарну теплову потужність системи опалення теплиці, Вт:

$$Q_o = 143,08 \cdot 44281,66 + 53,26 \cdot 38016 = 24238776 \quad \text{Вт} = 25,15 \quad \text{МВт}$$

де $F_{ш} = 44281,66 \text{ м}^2$ - площа поверхні шатра;

$F_{ГР} = 38016 \text{ м}^2$ - площа поверхні ґрунту

Визначаємо сумарну теплову потужність системи опалення теплиці з врахуванням витрати на особисті потреби, МВт:

$$Q_{о.заг} = Q_o \cdot K_d = 25,15 \cdot 1,2 = 30,18 \quad , \quad (3.30)$$

де $K_d = 1,2$ – додатковий коефіцієнт на теплопостачання допоміжних приміщень.

3.3 Розрахунок системи обігріву теплиці за емпіричними залежностями

3.3.1. Розрахунок системи підґрунтового обігріву теплиці передбачає визначення температури ґрунту та потужності підґрунтового обігріву.

Температуру ґрунту у вертикальному перерізі над трубою підґрунтового обігріву $t_{гр1}$, °С, розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned} t_{гр1} &= 14,5 + 0,46 \cdot S + (46,46 - 14,71 \cdot S) \cdot h + (4 - 2,09 \cdot S - 17,8 \cdot h + 11,65 \cdot S \cdot h) \cdot \lambda_{гр} = \\ &= 14,5 + 0,46 \cdot 0,6 + (46,46 - 14,71 \cdot 0,6) \cdot 0,4 + (4 - 2,09 \cdot 0,6 - 17,8 \cdot 0,4 + 11,65 \cdot 0,6 \cdot 0,4) \cdot 0,5 = \\ &= 29,04 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned} \quad (3.31)$$

де $S = 0,6$ м - відстань між осями труб по горизонталі;

$h = 0,4$ м - глибина закладання труб;

$\lambda_{гр} = 0,5$ Вт/м²К - коефіцієнт теплопровідності ґрунту.

Температуру ґрунту посередині між трубами підґрунтового обігріву $t_{гр}$, °С, розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned} t_{гр} &= 13,92 + 0,58 \cdot S + (58,71 - 27,42 \cdot S) \cdot h + (4,75 - 2,59 \cdot S - 20,55 \cdot h + 13,5 \cdot S \cdot h) \cdot \lambda_{гр} = \\ &= 13,92 + 0,58 \cdot 0,6 + (58,71 - 27,42 \cdot 0,6) \cdot 0,4 + (4,75 - 2,59 \cdot 0,6 - 20,55 \cdot 0,4 + 13,5 \cdot 0,6 \cdot 0,4) \cdot 0,5 = \\ &= 30,27 \text{ } , \end{aligned} \quad (3.32)$$

Потужність системи підґрунтового обігріву розраховуємо за формулою, Вт:

$$\begin{aligned} Q_{гр} &= (32,81 \cdot \lambda_{гр} + 4,95 + (11,5 \cdot \lambda_{гр} + 3,36) \cdot S) \cdot F_{гр} = \\ &= (32,81 \cdot 0,5 + 4,95 + (11,5 \cdot 0,5 + 3,36) \cdot 0,6) \cdot 38016 = 1019627,136 = 1,02 \cdot 10^6, \end{aligned} \quad (3.33)$$

де $F_{гр} = 38016$ м² - площа ґрунту .

Визначаємо питому теплову потужність водяної системи обігріву ґрунту за формулою, Вт/м²:

$$Q_{пит.гр} = \frac{Q_{гр}}{F_{гр}} = \frac{1,02 \cdot 10^6}{38016} = 26,82 \quad (3.34)$$

3.3.2. Розрахунок системи опалення шатра теплиці з гладкими трубами виконуємо на основі результатів розв'язання системи рівнянь теплового балансу: для об'єму культивуваційної споруди, на поверхні ґрунту і на поверхні огороження.

1. При початковій температурі теплоносія $t_T = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ і кінцевій $t_K = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ знаходимо теплові витрати теплиці ($Q_{ш}/K_0$), $\text{Вт}/\text{м}^2$:

Температура зовнішнього повітря $t_3 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ для найхолоднішої доби і середня швидкість вітру в січні $V = 4,3 \text{ м/с}$ в тому районі де розташована теплиця.

Тоді $(Q_{ш}/K_0) = 290 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Визначаємо втрати теплоти шатром теплиці визначаємо за формулою, Вт :

$$Q_{ш} = K_0 \cdot \left(\frac{Q_{ш}}{K_0} \right) = 1,25 \cdot 290 = 362,5 \quad (3.35)$$

2. Витрати теплоносія в системі опалення шатра залежно від тепловтрат шатра $Q_{ш}$ теплиці та перепаду температури теплоносія ($\Delta t = t_T - t_K$) розраховуємо за формулою, $\text{кг}/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$:

$$M_T = \frac{Q_{ш} \cdot 3600}{C_T \cdot \Delta t} = \frac{362,5 \cdot 3600}{4,18 \cdot 10^3 \cdot 25} = 12,48 \quad ,$$

(3.36)

де $C_T = 4,18 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ - теплоємність води.

3. При розрахунку необхідно розрізнити питому поверхню опалювальних приладів на одиницю потужності $\frac{F_{TP}}{Q_{ш}} \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2 / \text{Вт}$, і питому поверхню опалювальних приладів, $F_{TP}, \text{ м}^2$.

Питому поверхню опалювальних приладів на одиницю потужності знаходимо за початковою (t_T) і середньою (t_{cp}) температурами теплоносія за допомогою графіка (рис. 3.6).

Питому поверхню опалювальних приладів на m^2 площі теплиці розраховуємо за формулою, m^2 :

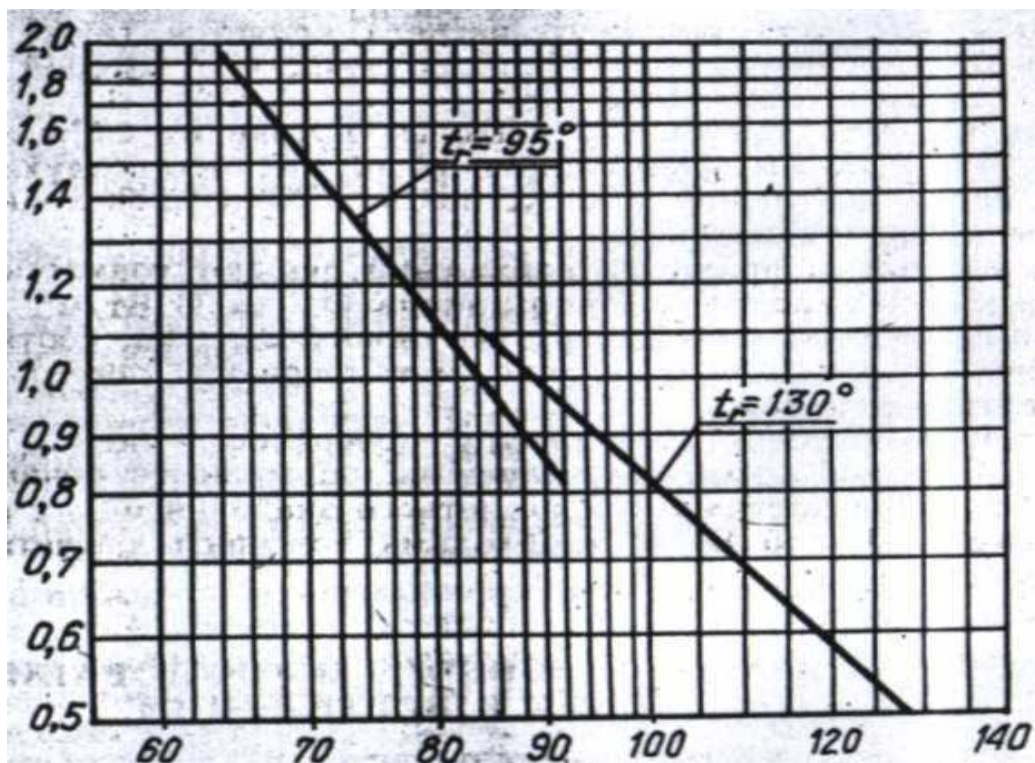
$$F_{TP} = Q_{ш} \cdot \left(\frac{F_{TP}}{Q_{ш}} \right) \cdot 10^{-3} = 362,5 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,3625 \quad (3.37)$$

4. Визначаємо параметри системи опалення усієї теплиці площею $F_{ш}$, m^2 :

втрати теплоти через шатро теплиці, МВт:

$$Q_{ш}^c = Q_{ш} \cdot F_{ш} = 362,5 \cdot 44281,66 = 16,052; \quad (3.38)$$

* поверхню опалювальних приладів, розташованих в об'ємі теплиці, m^2 :



Середня температура теплоносія, t_{cp} , °С

Рис 3.6 Графік для визначення потрібної поверхні опалювальних приладів

Початкова температура теплоносія:

1. $t_r = 95 \text{ }^\circ\text{C}$

2. $t_r = 130 \text{ }^\circ\text{C}$

F_{TP} – потрібна поверхня опалювальних приладів (гладких труб), m^2 на 1 m^2 площі теплиці. $Q_{ш} = 362,5 \text{ Вт/м}^2$ - теплові втрати шатра теплиці, Вт/м^2 . При $t_{сер} = 82,5 \text{ }^\circ\text{C}$: $(\frac{F_{TP}}{Q_{ш}} \cdot 10^{-3}) = 1 \cdot 10^{-3}$

$$F_{ш}^C = F_{TP} \cdot F_{ш} = 0,3625 \cdot 44281,6 = 16052,1 \quad ;$$

(3.39)

* витрати теплоносія в системі опалення шатра, кг/год :

$$M_T^C = M_T \cdot F_{ш} = 12,48 \cdot 44281,6 = 552635,11$$

(3.40)

5. Площа опалювальних приладів F_{TP} розподіляється між вертикальним огородженням F_{TP}^B і рештою поверхні теплиці F_{TP}^T , таким чином, m^2 :

$$F_{TP}^T = \frac{F_{II} \cdot F_{TP}}{1,25 \cdot F_B + F_{II}} = \frac{42380,61 \cdot 0,3625}{1,25 \cdot 1901,05 + 42380,61} = 0,343, \quad (3.41)$$

де $F_B = 1901,05 \text{ m}^2$ - площа вертикальної огорожувальної поверхні;

$F_{II} = 42380,61 \text{ m}^2$ - площа похилої огорожувальної поверхні.

Площу опалювальних приладів, які встановлюються біля зовнішніх огорожень (торцевий і боковий обігрів) на 1 m^2 площі теплиці визначаємо за формулою, m^2 :

$$F_{TP}^B = F_{TP} - F_{TP}^T = 0,3625 - 0,343 = 0,019$$

(3.42)

6. Розраховуємо кількість опалювальних приладів у теплиці, шт:

$$m = \frac{F_{TP} \cdot F_{Ш}}{\pi \cdot d_3 \cdot l_T} = \frac{0,3625 \cdot 44281,66}{3,14 \cdot 0,064 \cdot 176} = 453,84,$$

(3.43)

де $d_3 = 0,064$ - зовнішній діаметр труб, м;

$l_T = 174$ м - довжина труб в реєстрі опалення.

Приймаємо кількість опалювальних приладів у теплиці $m = 454$ шт.

7. Перевіримо режим руху теплоносія в системі опалення шатра.

* Витрати теплоносія в системі опалення розраховуємо за формулою, м³/год:

$$M_T^{C1} = \frac{M_T^C}{\rho} = \frac{552635,11}{970} = 569,72, \quad (3.44)$$

де $\rho = 970$ кг/ м³ - густина теплоносія, вибираємо при середній температурі $t_{cp} = 85^\circ\text{C}$

*Швидкість руху теплоносія в системі опалення розраховуємо за формулою, м/с:

$$V = \frac{M_T^{C1}}{0,78 \cdot d_B^2 \cdot m \cdot 3600} = \frac{569,72}{0,78 \cdot 0,057^2 \cdot 454 \cdot 3600} = 0,137, \quad (3.45)$$

де $d_B = 0,057$ м - внутрішній діаметр труб системи опалення.

Швидкість теплоносія в опалювальних приладах повинна відповідати турбулентному режиму руху, коли число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d_B}{\nu} > 10000$$

(3.46)

$$\text{Re} = \frac{0,137 \cdot 0,057}{0,31 \cdot 10^{-6}} = 25190 > 10000 ,$$

де $V = 0,137$ м/с - швидкість руху теплоносія в системі опалення;

$\nu = 0,31 \cdot 10^{-6}$ м²/с - коефіцієнт кінематичної в'язкості, вибираємо при середній температурі $t_{cp} = 85^\circ\text{C}$.

РОЗДІЛ 4

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ ПО ОПАЛЕННЮ ТЕПЛИЦІ

Важливою відмінністю проектованої теплиці, є те, вона має свою власну автономну котельню. тобто в одному блоці є і джерело теплопостачання і джерело споживання, А це приводить до зменшення витрати природного газу і економія теплової енергії, так як вона не буде втрачатись при передачі.

З точки зору будівельної конструкції теплиці, витрачається дуже багато енергії через огорожу, так як покрита теплиця одинарним склом в металевих рамах, а коефіцієнт теплопередачі при цьому складає $6,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Для порівняння виконаємо розрахунок теплиці, покритої подвійним склом з повітряним прошарком в металевих рамах, коефіцієнт теплопередачі при цьому складає $4,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Деякі дані залишаються незмінні, вони наведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1

Дані для розрахунку

| $t_o, ^\circ\text{C}$ | -5 | 0 | 5 | 10 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $Q_{k1}, \text{Вт}/\text{м}^2$ | 97,11 | 67,82 | 38,54 | 15,29 |
| $Q_{b1}, \text{Вт}/\text{м}^2$ | 215,48 | 193,53 | 171,58 | 147,78 |
| $Q_{koh}, \text{Вт}/\text{м}^2$ | 60,6 | 35,43 | 10,27 | --- |
| $Q_{k2}, \text{Вт}/\text{м}^2$ | 30,16 | 39,64 | 49,02 | 58,44 |
| $Q_{b2}, \text{Вт}/\text{м}^2$ | --- | --- | --- | --- |
| $Q_{k1} + Q_{b1} + Q_{koh}$ | 186,59 | 148,39 | 110,19 | 81,53 |
| $Q_{k2} + Q_{b2}$ | --- | --- | --- | --- |

Далі виконуємо розрахунок.

4.1. Теплообмін через випромінювання на зовнішній поверхні огорожі розраховуємо за формулою, Вт/м²:

$$Q_{B2} = K \cdot \varepsilon_0 \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 - 0,8 \cdot \left(\frac{273 + t_3}{100} \right)^4 \right] \quad (4.1)$$

де $K = 3,3$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт теплопередачі для скла покритого плівкою з повітряним прошарком в металічній рамі.

Всі невідомі беремо з попередніх рівнянь. Підставивши значення в рівняння (4.1) і вирішивши його відносно t_0 отримали значення Q_{B2} які зводимо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Значення Q_{B2} при різних t_0

| $t_0, ^\circ\text{C}$ | -5 | 0 | 5 | 10 |
|-----------------------|------|-------|--------|--------|
| $Q_{B2}, \text{В}$ | 50,4 | 91,15 | 130,83 | 162,49 |

Таблиця 4.3

Зведена таблиця для рівняння теплового балансу на поверхні огородження

| $t_0, ^\circ\text{C}$ | -5 | 0 | 5 | 10 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $Q_{k1} + Q_{b1} + Q_{koh}$ | 186,59 | 148,39 | 110,19 | 81,53 |
| $Q_{k2} + Q_{b2}$ | 80,56 | 130,79 | 179,85 | 220,93 |

За отриманими даними будуємо графік для знаходження t_0 , при якому виконується рівняння теплового балансу на поверхні огорожі (рис.4.1). З графіка видно, що $t_0 = +1,5$ °С

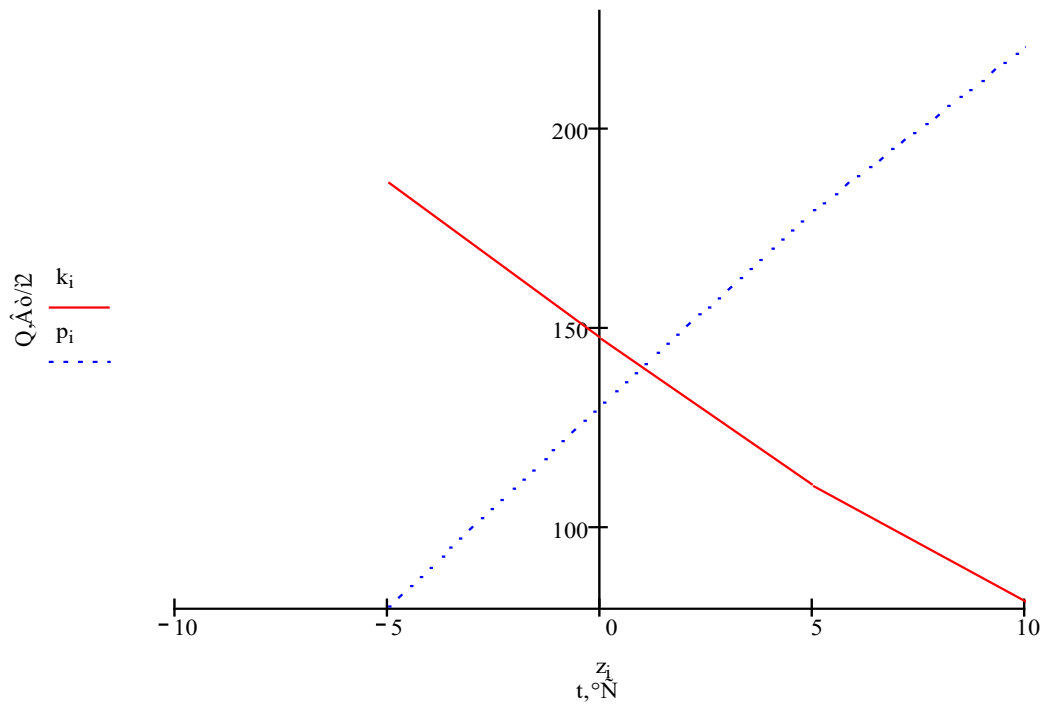


Рис. 4.1 Графік для знаходження t_0 при якому виконується рівняння теплового балансу

Тоді при $t_0 = +1,5 \text{ °C}$:

$$Q_{K1} = 41,51 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_{B1} = 77,41 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_{\text{КОН}} = 31,7 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_1 = Q_{K2} + Q_{B1} + Q_{\text{КОН}} = 41,51 + 77,41 + 31,7 = 420,12 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_{k2} = 41,44 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_{b2} = 94,68 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_2 = Q_{k2} + Q_{b2} = 41,44 + 94,68 = 136,12 \text{ Вт/м}^2$$

Отже, приймаємо температуру поверхні огороження $t_0 = +1,5 \text{ °C}$.

4.2. Втрати теплоти через ґрунт $Q_{\text{гр}}, \text{Вт/м}^2$, залишаються незмінними:

$$Q_{\text{гр}} = 3,43$$

4.3. Тепловий потік на нагрівання зовнішнього повітря.

Визначаємо за формулою, Вт/м²:

$$Q_{\text{ИФ}} = \left[\frac{\alpha \cdot (\rho_3 - \rho_B)}{\rho_B} \right] \cdot [Q_{K2} + Q_{B2}] =$$

$$= \left[\frac{1,25 \cdot (1,43 - 1,226)}{1,226} \right] \cdot [41,44 + 94,68] = 87,37 \quad (4.2)$$

де $\alpha = 1,25$ - коефіцієнт, який залежить від покриття (для теплиць, покритих склом);

$\rho_3 = 1,43$ кг/ м³ - густина зовнішнього повітря;

$\rho_B = 1,226$ кг/м³ - густина внутрішнього повітря

4.4. Тепловий потік, який акумулюється в ґрунті.

$Q_{AK} = 0$ Вт/м², так як за наявності ґрунтового обігріву температура ґрунту і повітря в теплиці однакові.

4.5. Тепловий потік через випромінювання від опалювальних приладів шатрового опалення на поверхні ґрунту.

Залишається незмінним, Вт/м²:

$$Q_{B.O} = 14,74 \text{ Вт/м}^2$$

4.6. Тепловий потік при конвективному теплообміні на поверхні ґрунту.

В умовах вільної конвекції $Q_{K.O} = 0$ так як $t_B = t_{гр}$.

4.7. Теплова потужність системи опалення.

Розраховуємо на основі рівняння теплового балансу:

$$Q_{Ш}^0 + Q_{ГР}^0 + Q_{AK} + Q_P = Q_{K2} + Q_{B2} + Q_{ГР} + Q_{ИФ}, \quad (4.3)$$

де $Q_{ш}^0$ - теплова потужність системи опалення шатра, Вт/м²;

$Q_{гр}^0$ - теплова потужність системи обігріву ґрунту, Вт/м ;

$Q_{ак} = 0$ Вт/м² - тепловий потік, акумульований в ґрунті протягом дня;

$Q_{р} = 0$ Вт/м² - тепловий потік від сонячної радіації;

$Q_{к2} = 41,44$ Вт/м² - тепловий потік при конвективному теплообміні;

$Q_{в2} = 94,68$ Вт/м² - теплообміні через випромінювання на зовнішній

поверхні огорожі;

$Q_{гр} = 3,43$ Вт/м² - втрати теплоти через ґрунт;

$Q_{инф} = 87,37$ Вт/м² - тепловий потік, що витрачається за рахунок

інфільтрації

В результаті теплову потужність системи опалення теплиці визначаємо за формулою, Вт:

$$Q_0 = Q_{ш}^0 \cdot F_{ш} + Q_{гр}^0 \cdot F_{гр} \quad (4.4)$$

4.8. Теплова потужність системи опалення ґрунтового обігріву.

Визначаємо, використавши рівняння теплового балансу на поверхні ґрунту:

$$Q_{в.о} + Q_{гр}^0 + Q_{ак} + Q_{к.о} = Q_{гр} + Q_{п} + Q_{в.гр}, \quad (4.5)$$

де $Q_{п}$ - тепловий потік, який витрачається на випаровування вологи із ґрунту, Вт/м²;

При $t_{в} = t_{гр}^o$, що має місце в трубних опалювальних спорудах захищеного ґрунту, тоді:

$$Q_{п} = 0, Q_{ак} = 0, Q_{к.о} = 0$$

$Q_{B.ГП}$ - тепловий потік через випромінювання на поверхні ґрунту, Вт/м²

Визначаємо тепловий потік через випромінювання на поверхні ґрунту за формулою, Вт/м²:

$$\begin{aligned} Q_{B.ГП} &= 0,81 \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{273 + t_{ГП}^0}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right] = \\ &= 0,81 \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{273 + 15}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + (+1.5)}{100} \right)^4 \right] = 93,21 \end{aligned} \quad (4.6)$$

де $C_0 = 5,67$ Вт/(м·К) - випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла;

$t_{ГП}^0 = 15$ °С - температура на поверхні ґрунту;

$t_0 = +1,5$ °С - температура поверхні огороження

Тоді:

$$Q_{ГП}^0 = Q_{ГП} + Q_{B.ГП} - Q_{B.O} = 3,43 + 93,21 - 14,74 = 81,9 \text{ Вт/м}^2 \quad (4.7)$$

4.9. Теплова потужність обігріву шатра.

Визначаємо за формулою із рівняння теплового балансу, Вт/м²:

$$\begin{aligned} Q_{Ш}^0 &= Q_{К2} + Q_{B2} + Q_{ГП} + Q_{ИФ} - Q_{ГП}^0 - Q_{AK} - Q_P = \\ &= 41,44 + 94,68 + 3,43 + 87,37 - 81,9 - 0 - 0 = 145,02 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Отримані значення підставляємо в формулу (4.4) і знаходимо сумарну теплову потужність системи опалення теплиці, Вт:

$$Q_o = 145,02 \cdot 44281,66 + 89,1 \cdot 38016 = 13338776 \text{ Вт} = 13,33 \text{ МВт}$$

де $F_{ш} = 44281,66 \text{ м}^2$ - площа поверхні шатра;

$F_{гр} = 38016 \text{ м}^2$ - площа поверхні ґрунту

Визначаємо сумарну теплову потужність системи опалення теплиці з врахуванням витрати на особисті потреби, МВт:

$$Q_{о.зат} = Q_0 \cdot K_d = 13,33 \cdot 1,2 = 15,96 \text{ ,} \quad (4.9)$$

де $K_d = 1,2$ – додатковий коефіцієнт на теплопостачання допоміжних приміщень.

Визначаємо різницю сумарних теплових потужностей системи опалення, МВт:

$$\Delta Q_{о.зат} = 30,18 - 15,96 = 14,22 \text{ МВт} \quad (4.10)$$

Тобто якщо покрівлю теплиці виконати з подвійного скла в металевих рамах з повітряним прошарком, то економія теплової енергії буде складати 14,22 МВт.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА

5.1. Вимоги до приміщення котельні

Приміщення котельної зали, одноповерхове з розмірами в плані $24 \times 0,9$ м. Колони і несучі конструкції металеві.

По ступені пожежної і вибухопожежної небезпеки приміщення котельної зали відноситься до категорії „Г”.

Ступінь вогнестійкості – Ша

Згідно Сніп 2.09.0-85 допускається категорія виробництва – „А” при площі одноповерхового будинку до 5200 м^2 , при ступені вогнестійкості Ша. Площа котельної зали, що проектується складає – 216 м^2 .

Цегельні стіни і перегородки зроблені з цегли М 75 по ДСТУ 5.В.2.7-61-97 на розчині М 50. Цегельні перегородки кріпляться до стійок за допомогою коротишів з діаметром 6 мм і довжиною 300 мм через 6 рядів кладки по висоті.

Вимога про необхідність наявності ділянок легко скидних поверхонь забезпечується наявністю скляного даху. По всьому периметру під дахом приміщення котельні на випадок вибуху передбачається улаштування захисної сітки 10×10 мм.

Усе технологічне обладнання встановлюється на закладні деталі, що закладаються в бетонну основу товщиною 30 мм (посилена підлога).

Чисту підлогу виконуємо з керамічної плитки по прошарку з цементно – піщаного розчину і тільки після прокладки всіх комунікацій під спостереженням відповідних фахівців.

5.2. Вибір котлів та допоміжного обладнання

Згідно розрахунку витрати теплоти на опалення та власні потреби, згідно даним балансу теплоти, складає 15,96 МВт.

Для забезпечення надійної та економічної роботи системи доцільним є використання сучасного автоматизованого твердопаливного котельного обладнання, яке здатне працювати на місцевих видах біомаси, таких як деревна тріска або пелети. На підставі аналізу конструктивних особливостей тепличного господарства ТОВ «Камелія», характеристик теплового навантаження та результатів огляду сучасних котельних установок, як оптимальний варіант обрано високопродуктивний біомасовий котел Kohlbach K8-8000, номінальною тепловою потужністю 8 МВт. Для покриття повної теплової потреби та забезпечення резервування пропонується встановити два котли цієї моделі, що в сумі дає 16 МВт теплової потужності, чого достатньо для компенсації максимального теплового навантаження й одночасно дозволяє забезпечити роботу теплиці навіть у разі виведення одного котла з експлуатації на технічне обслуговування.

Котли Kohlbach K8-8000 належать до класу автоматизованих водогрійних твердопаливних котлів, призначених для спалювання деревної біомаси з вологістю від 10 до 45 %. Обладнання оснащено рухомою колосниковою решіткою та модульною системою дожигу, що гарантує повне та стабільне згоряння палива. ККД котлів становить 89–91 %, що є високим показником для теплогенераторів даного класу.

Котел оснащений електронною системою контролю тяги, автоматичним регулюванням температури теплоносія, системою стабілізації подачі палива та золоуловлюванням, що мінімізує втручання обслуговуючого персоналу.



Рис. 5.1. Зовнішній вигляд котла Kohlbach K8-8000

Подача палива до котлів здійснюється автоматично за допомогою шнекового транспортера, який отримує біомасу з бункера добового запасу. Для нормальної роботи котельні передбачається влаштування складського приміщення для зберігання запасу палива на 7–10 днів. Важливим елементом системи є буферні ємності, які згідно з особливостями роботи теплиць дозволяють акумулювати гарячу воду та згладжувати добові коливання теплового навантаження. Для котельні обґрунтовано встановлення двох теплоаккумуляторів об'ємом по 80–100 м³, що забезпечує стабільний температурний режим в умовах нерівномірного споживання тепла.

Допоміжне обладнання відіграє ключову роль у забезпеченні довговічності та ефективності системи. Основним елементом є система подачі біомаси, яка включає підлогові скребкові механізми або транспортери, що переміщують паливо зі складу до приймального бункера. Ця система працює в автоматичному режимі відповідно до сигналів від датчиків рівня у добовому бункері, що усуває ризик нестачі палива при пікових

навантаженнях. Шнекові механізми, які транспортують паливо безпосередньо до котла, оснащені захистом від перевантаження, реверсним режимом та системою теплового контролю.

Не менш важливою складовою є система видалення золи. Вона складається зі шнекових золоотводів, які автоматично виводять золу з нижньої частини топки у зовнішній металевий контейнер. Це дозволяє котлу працювати без зупинок навіть за умови тривалої експлуатації. Зола, завдяки високому ступеню згоряння, має низький об'єм і може бути використана як добриво в сільському господарстві.

Відвід продуктів згоряння здійснюється через сталевий димохід із теплоізоляцією, оснащений димососом та системою очищення димових газів. Для котельної також передбачені циркуляційні насоси, які забезпечують подачу теплоносія у всіх контурах системи опалення теплиці — шатровому, підґрунтовому та боковому. Роботою обладнання керує автоматизована система управління, яка відстежує температуру в теплиці, стан котлів, рівень палива, роботу насосів і регулює подачу теплоти відповідно до зовнішніх погодних умов.

Таким чином, на основі технічних характеристик, високого рівня автоматизації, адаптивності до роботи з доступними видами біомаси та відповідності тепловому навантаженню об'єкта, для тепличного господарства обрано котельну установку на базі двох твердопаливних котлів Kohlbach K8-8000 загальною потужністю 16 МВт із повним комплексом допоміжного обладнання. Такий вибір забезпечує надійну, економічну та екологічно безпечну роботу системи опалення теплиці.

5.3. Техніко-економічне обґрунтування проєкту

Кількість теплоти, вироблена котельною установкою, визначається за формулою:

$$Q_{\text{кот.уст.}} = \eta_{\text{кот.уст.}} \cdot B_z \cdot Q_n^p$$

де $\eta_{\text{кот.уст}}$ – середній к.к.д. котельної установки; для котлів, що працюють на газі, можемо прийняти $\eta_{\text{кот.уст}} = 0,92$;

Q_n^p – нижня теплота згоряння палива; для природного газу (в середньому) приймаємо

$$34,5 \text{ МДж/м}^3;$$

B – витрати палива для потреб котельної установки, м^3 .

Річне споживання теплоти теплицею

$$15,96 \text{ МВт} \cdot 180 \cdot 24 \cdot 3600 = 248210000 \text{ МДж}$$

Тоді

$$B_z = \frac{Q_{\text{кот.уст.}}}{\eta_{\text{кот.уст.}} \cdot Q_n^p} = \frac{2482100000}{0,92 \cdot 34,5} = 7820100$$

Таким чином, якщо витрати газу складають 6618900 м^3 , Тоді при вартості природного газу 26 грн за 1 м^3_n , затрати на паливо складуть $203322,6$ тис. грн.

Необхідну кількість твердого палива для котельні розраховуємо за залежністю

$$B_{\text{тв}} = \frac{Q_{\text{кот.уст.}}}{\eta_{\text{кот.уст.}} \cdot Q_n^p}$$

де $\eta_{\text{кот.уст}}$ – середній к.к.д. котельної установки; для котлів Kohlbach K8-8000 $\eta_{\text{кот.уст}} = 0,9$;

Нижча теплота згоряння для тріски

$$Q_n^p = 12 \text{ МДж/кг}$$

Тоді

$$B_{тв} = \frac{248210000}{0.9 \cdot 12} = 22982 \text{ т}$$

Вартість тріски 600 грн. за тону, отже затрати на паливо складуть 13790 тис. грн..

Річна економія коштів $\Delta\Pi$ складає величину

$$\Delta\Pi = 203322,6 - 13790 = 189,5 \text{ тис. грн..}$$

Промисловий котел 8 МВт може коштувати від ~\$20 000 - \$100 000+, залежно від виробника (Україна, Європа, Китай), типу палива (пелети, тріска, вугілля), автоматизації, складності системи, комплектації (бункери, транспортери, теплообмінники) та необхідного монтажу під ключ, потребуючи індивідуального прорахунку від спеціалізованих компаній, що займаються котельними установками.

Приймаємо: вартість котла \$20 000 .

Із затратами на монтаж \$25 000

Загальні капіталовкладення:

$$\Sigma C = 2 \cdot 25000 = 50000 \text{ грн.}$$

Термін окупності

$$T = \frac{\Sigma C}{\Delta\Pi} = \frac{50000}{189,5} = 264 \text{ років}$$

ВИСНОВКИ

Об'єктом проектування даної магістерської роботи є тепличне господарство ТОВ «Камелія».

Предметом проектування є дослідження можливостей економії енергії при опаленні споруд захищеного ґрунту за рахунок використання твердої біомаси.

Метою даної магістерської роботи є розробка системи опалення теплиці з використанням твердопаливного котла.

В роботі:

- 1) надана загальна характеристика об'єкту проектування;
- 2) обґрунтовано доцільність використання біомаси як джерела теплової енергії в системах обігріву теплиць;
- 3) визначена теплова потужність системи опалення теплиці до та після застосування енергозберігаючих заходів, що складає 30,8 та 15,96 МВт, відповідно;
- 4) для забезпечення потреб теплиці в тепловій енергії обрано 2 котли типу Kohlbach K8-8000 (Австрія), потужністю 8 МВт кожний, які можуть працювати як на трісці чи непобрібненій корі, так і на тирсі вологістю від 10 до 45 % з ККД 89–91 %,

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тепличні господарства
<https://agri-gator.com.ua/category/teplichni-gospodarstva/>
2. ТОВ «Камелія» <https://camellia.ua/about>
3. ДБН В.2.2-2:2024 ТЕПЛИЦІ І ПАРНИКИ https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3432852868950918760/2024-08-12/73764b5e-c285-408f-967d-37e658581947.pdf
4. ДСТУ НБ В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія
<https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu-n-b-v11-27-2010-zahist-v%D1%96d-nebezpechnih-geolog%D1%96chnih-protses%D1%96v.pdf>
5. Теплиці як бізнес в агросекторі <https://weagro.ua/blog/teplyczy-yak-biznes-v-agrosektori/>
6. Ковальчук С.П., Стасюкевич А.О., Томашпольський П.н. Теплиці та оранжереї. – К.: Будівельник, 1986. – 88 с.
7. Плюси та мінуси тепличного вирощування
<https://novateplica.com.ua/uk/>
8. Біоенергетика: підручник / за ред. С. І. Кудрі. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 320 с.
9. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві. За ред проф. Голуба Г.А. Навчальний посібник. Київ НУБіП України, 2017. – 229 с.
10. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А. Потенціал розвитку біоенергетики в Україні. – Київ: Біоенергетична асоціація України, 2022. – 76 с.
11. Аналітична записки БАУ, № 7 (2014) <https://uabio.org/activity/1143/>
12. ТЕПЛИЧНЕ ГОСПОДАРСТВО Методичні рекомендації до виконання практичних робіт. Діденко М.М., Распопіна С.П., та інш. Харків – 2020

<https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/8c9c35fa-b50f-497f-8063-1621d43ff15d/content>

13. ТЕПЛИЧНЕ ГОСПОДАРСТВО Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. М'ялковський Р.О., Безвіконний П.О. ЗВО «Подільський державний університет», 2023 – 85 с.
14. Теплотехніка: підручник. / Драганов Б.Х., Бессараб О.С., Долінський А.А., Лазоренко В.О., Міщенко А.В., Шеліманова О.В., / 2 – ге вид., перероб і доп. – Київ «Фірма Інкос», 2005р. – 400 с.
15. Поліщук В., Тарасенко С. Біопалива. Виробництво і використання. Навчальний посібник. – К. ЦП «Компринт», 2017 -376 с.
16. Методичні вказівки до вивчення лабораторних робіт з дисципліни «Екобіотехнології в системах теплопостачання» для студентів денної форми навчання освітнього ступеня «Бакалавр» / Уклад. С.Є. Тарасенко, О.В. Шеліманова. – Київ: РВВ НУБіП України, 2023. – 36 с.
17. Твердопаливні котли. Види, типи, паливо.
<https://romstal.ua/uk/info/351-tverdoplivnyye-kotlyra>
18. Котел на тирсі <https://kotel-na-drovah.com.ua/ua/toplivo/kotel-na-opilkah-id10.html>
19. Котли на Щепі, Тирсі <https://www.lika-svit.com.ua/shop/kotli-na-schep-tirs/>
20. KOHLBACH - GET TO KNOW OUR COMPANY
<https://www.innasol.com/wp-content/uploads/2019/11/Kohlbach-product-brochure.pdf>
21. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/bioenergy-day-06112019-kohlbach.pdf>
22. ДСТУ 2155-93 «Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню»
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25833