

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Удосконалення енергоощадної технології сушіння насіння ріпаку з обґрунтуванням параметрів сонячного теплового колектора»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм - 21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною
програмою «Агроінженерія»

Малянтович І.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Пуць В.С.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

| | |
|------------------------------|---|
| Факультет | <i>аграрних технологій та екології</i> |
| Кафедра | <i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i> |
| Галузь знань | <i>20 Аграрні науки та продовольство</i> |
| Освітній ступінь | <i>магістр</i> |
| Спеціальність | <i>208 Агроінженерія</i> |
| Освітньо-професійна програма | <i>Агроінженерія</i> |

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н. _____ В.В. Сацюк
«10» січня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Малянтовичу Ігорю Євгеновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення енергоощадної технології сушіння насіння ріпаку з обґрунтуванням параметрів сонячного теплового колектора

керівник роботи Сацюк Василь Васильович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЛНТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

| | к-сть листів |
|---|--------------|
| 1. Вихідні дані | 1 лист |
| 2. Теоретичні положення | 1 лист |
| 3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень | 1 лист |
| 4. Результати досліджень | 1 лист |
| 5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування | 1 лист |
| 6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова) | 1 лист |
| 7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла | 1 лист |

6. Консультанти розділів проекту

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Нормоконтроль | Юхимчук С.Ф., доцент | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|----|--|--------------------------------|----------|
| 1 | Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень | 15.06. – 01.07.2023 р. | |
| 2 | Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження | 22.08 – 31.08.2023 р. | |
| 3 | Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини | 01.09 – 30.09.2023 р. | |
| 4 | Розробка програми і методики експериментальних досліджень | 01.10 – 15.10.2023 р. | |
| 5 | Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень | 01.10 – 15.10.2023 р. | |
| 6 | Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування | 15.10 – 01.11.2023 р. | |
| 7 | Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла | 01.11 – 15.11.2023 р. | |
| 8 | Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки | 15.11 – 25.11.2023 р. | |
| 9 | Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи | 15.11 – 25.11.2023 р. | |
| 10 | Нормоконтроль | до 09.12.2023 р. | |
| 11 | Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат | 09.12.– 19.12.2023 р. | |

Студент

_____ (підпис)

Малянтович І.Є.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Малянтович І.Є. - Удосконалення енергоощадної технології сушіння насіння ріпаку з обґрунтуванням параметрів сонячного теплового колектора.

Рукопис

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 51 сторінка, включає 23 рисунки, 3 таблиці, список використаних джерел з 15 назв та 2 додатки.

У кваліфікаційній роботі магістра досліджено процес приготування сушильного агенту у сонячному теплому колектору.

Розроблена функціональна схема сонячної конвективної сушарки та складальне креслення сонячного колектору.

Представлені теоретичні дослідження процесу приготування сушильного агенту у сонячному колекторі. Розроблено «Цифровий двійник» теплового колектору та обґрунтовано його параметри

Об'єкт досліджень - процес приготування сушильного агенту у сонячному колекторі.

Предмет дослідження – залежність температури сушильного агенту від конструктивно-технологічних параметрів сонячного теплового колектору.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів класичної механіки та числового розв'язку задач із використанням програми Mathcad 15. Для багатофакторного експерименту використовували план Бокса-Бенкена.

КОЛЕКТОР, СУШАРКА, СУШИЛЬНИЙ АГЕНТ, ТЕМПЕРАТУРА, ШВИДКІСТЬ, ВОЛОГІСТЬ. ПЛОЩА.

ABSTRACT

Malyantovych I.E. - Improvement of the energy-saving technology of drying rapeseed with justification of the parameters of the solar thermal collector. Manuscript

Qualification work of the master of educational program "Agroengineering" specialty 208 Agroengineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023

Qualification work of the master consists of an introduction, four sections, conclusions, list of sources used, appendices. The total volume of the work is 51 pages, includes 23 figures, 3 tables, a list of sources used with 15 titles and 2 appendices.

In the master's thesis, the process of preparing a drying agent in a solar thermal collector was investigated.

The functional scheme of the solar convective dryer and the assembly drawing of the solar collector have been developed.

Theoretical studies of the drying agent preparation process in a solar collector are presented. The "Digital double" of the heat collector was developed and its parameters were substantiated

The object of research is the process of preparing a drying agent in a solar collector.

The subject of the study is the dependence of the temperature of the drying agent on the structural and technological parameters of the solar thermal collector.

Research methods. Theoretical studies were carried out using the methods of classical mechanics and numerical problem solving using the Mathcad 15 program. The Box-Behnken plan was used for the multivariate experiment.

COLLECTOR, DRYER, DRYING AGENT, TEMPERATURE, SPEED, HUMIDITY. AREA.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 7 |
| РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 9 |
| 1.1 Огляд технологій вирощування ріпаку..... | 9 |
| 1.2 Огляд сушарок сипких матеріалів..... | 11 |
| 1.3 Огляд теоретичних досліджень процесу приготування сушильного агенту..... | 14 |
| 1.4. Постановка питання, мета та завдання дослідження | 18 |
| 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ СУШИЛЬНОГО АГЕНТУ..... | 19 |
| 2.1 Проектування конструкції сонячної колектору..... | 19 |
| 2.2. Оптимізація сонячного теплового колектору із використанням технології «Цифровий двійник»..... | 22 |
| 2.3 Теоретичні дослідження процесу перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію | 27 |
| 2.4 Висновки..... | 35 |
| РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 56 |
| 3.1. Лабораторне обладнання, прилади та апаратура для проведення досліджень..... | 36 |
| 3.2 Пристрої вимірювання витрати повітря та методика проведення дослідження..... | 36 |
| 3.3 Методика вимірювання температури сушильного агенту..... | 38 |
| 3.4 Методика лабораторно-виробничих випробувань процесу приготування сушильного агенту у сонячному колекторі | |
| 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 45 |
| 4.1 Результати випробувань сонячного теплового колектору | 45 |
| 4.3 Висновки | 48 |

| | |
|---------------------------------|----|
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 48 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 49 |
| ДОДАТКИ | 51 |

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Україна знаходиться в енергетичній блокаді. Відповідно спостерігається регулярні підвищення цін на енергоносії. Такий стан вимагає застосування відновлюваних джерел енергії. За один тиждень на земну поверхню від Сонця поступає кількість енергії, яка перевершує енергію світових запасів усіх видів палива. Сонячна постійна на екваторі становить $\epsilon 1024$ Вт. Однією із основних переваг сонячної енергетики являється її невичерпність доступність. Тому розробка конструкції та обґрунтування параметрів сонячних теплових колекторів для сільськогосподарських сушарок є актуальним завданням сьогодення.

Мета роботи – обґрунтування параметрів сонячного теплового колектору для приготування сушильного агенту.

Завдання роботи: дослідити процес приготування сушильного агенту у сонячному тепловому колекторі; розробити функціональну схему сонячної теплової сушарки; розробити конструкцію сонячного теплового колектору; розробити «цифровий двійник» сонячної теплового колектору; розробити лабораторну установку сонячного теплового колектору; провести дослідження процесу приготування сушильного агенту на дослідній установці з метою встановити вплив конструктивних та технологічних параметрів колектору на температуру сушильного агенту.

Об'єкт досліджень - процес приготування сушильного агенту у сонячному колекторі.

Предмет дослідження – залежність температури сушильного агенту від конструктивно-технологічних параметрів сонячного теплового колектору.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів класичної механіки та числового розв'язку задач із використанням програми Mathcad 15. Для багатофакторного експерименту використовували план Бокса-Бенкена.

Науково-технічна новизна. Розроблено «цифровий двійник» сонячного

теплого колектору. Обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри сонячного теплого колектору.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено функціональну схему сонячної теплової сушарки та складальне креслення сонячного теплого колектору. Обґрунтовано раціональні параметри сонячного теплого колектору. За результатами проведення багатofакторного експерименту отримано регресійні залежності, які дають змогу оцінити вплив об'ємної продуктивності, площі колектору та температури оточуючого середовища на температуру сушильного агенту.

Апробація роботи. Основні положення виконаних досліджень, що містяться в кваліфікаційній роботі, доповідались та обговорювались: на VII міжнародній науково практичній конференції «Енергетична безпека навколишнього середовища», м.Луцьк, ЛНТУ 2-3 жовтня 2023 року, та III студентській науково-технічній конференції «Сучасні технології у агропромисловості та природокористуванні». Луцьк, ЛНТУ, 2023.

За темою кваліфікаційної роботи автором опубліковано 2 тези доповідей.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків, список використаних джерел із 15 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг магістерської роботи 52 сторінки.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Огляд технологій вирощування ріпаку

Кращими ґрунтами для вирощування є чорноземи, сірі та темно-сірі лісові ґрунти. Оптимальна реакція ґрунтового розчину - рН 6,0-6,5. Непридатні для вирощування озимого і ярого ріпаку ґрунти важкі за механічним складом, з водонепроникним підорним шаром, близьким заляганням ґрунтових вод, а також торфовища, ґрунти, легкі за механічним складом, з недостатньою теплопровідністю, солонці та кислі без вапнування ґрунти. Можливість вирощування озимого ріпаку на піщаних ґрунтах Полісся значною мірою залежить від їх забезпеченості поживними речовинами і вологою [4, 6].

Озимий ріпак це досить вибаглива до попередників культура. Кращими попередниками для озимого ріпаку є чорні й добре угноєні зайняті пари, вико-вівсяні сумішки, а також сумішки озимого жита з озимою викою. Високий врожай дає ріпак після конюшини на один укіс і після ранньої картоплі, яка звільняє поле наприкінці липня. Гірші попередники для ріпаку - зернові культури. Проте у вологих районах ріпак можна сіяти після озимих культур, які звільняють поле до середини липня [4, 6].

Високі врожаї ріпаку отримують при внесенні 40т/га гною і повного мінерального удобрення ($N_{45}P_{45}K_{60}$). Весною посіви ріпаку підживлюють $N_{15}P_{30}K_{45}$.

Для сівби використовують тільки високоякісне насіння ріпаку із схожістю не нижче 90%. Обробіток ґрунту під посіви ріпаку залежить від попередників. У випадку коли ріпак висівають після конюшини, пласт орють плугами із передплужниками. Коли висівають після зернових або однорічних трав, то відразу за збиранням врожаю попередника лушать стерню, потім проводять оранку плугом із передплужниками на глибину 22-25 см [4, 6].

У випадку якщо у технології передбачено застосування ґрунтових гербіцидів, то їх вносять після вирівнювання поля. Заробляють в ґрунт за допомогою зчіпки важких борін чи культиватора.

Оптимальні строки сівби озимого ріпаку є 15-30 серпня. При запізненні із сівбою рівень перезимівлі рослин знижується на 30-50%, частоявляється випадки повної їх загибелі.

Оптимальна кількість рослин восени становить 100-120 на 1 м², що досягається за норми нормою висіву 6-8 кг/га. У випадку, якщо кількість рослин менша 30 на 1 м², то площу необхідно пересівати [4].

Використання сівалок із анкерними сошниками на вирівняних, високоякісно підготовлених до сівби площах, забезпечує високу польову схожість, одночасність сходів і рівність рослин за темпами розвитку, збільшує врожайність насіння.

У технології вирощування ріпаку захист рослин від шкідливих організмів (бур'яни, шкідники, хвороби) має надзвичайно велике значення. Всі роботи необхідно виконувати комплексно і в повному обсязі. Нехтування одним із обробітків пестицидами може призвести до різкого зменшення урожайності.

Ріпак може сильно пошкоджуватися шкідниками. Найбільш поширені: хрестоцвіті блішки, ріпаковий квіткоїд, попелиця, трач, ріпаковий прихованохоботник, капустяний стручковий комарик та ін. Шкідники наносять двояку шкоду: пряме пошкодження рослин і втрати врожаю внаслідок цього; механічні пошкодження органів рослини спричинюють ураження грибковими хворобами [4, 6].

Зменшити ураження шкідниками можна агротехнічними заходами. Це чергування культур у сівозміні, глибока оранка, оптимальні параметри сівби. Дотримання рекомендованого співвідношення макроелементів, просторова ізоляція, відсутність бур'янів.

Боротьбу зі шкідниками ріпаку хімічним методом проводять при перевищенні порогу чисельності і шкодочинності. Закінчують обробіток

інсектицидами за 4-5 днів до вильоту на поле бджіл. При потребі посіви обприскують вдруге в кінці цвітіння.

Хвороби завдають меншої шкоди рослинам ріпаку, порівняно з шкідниками. Проте при недотриманні основних вимог технології (попередник, оранка, якісна сівба) в окремі роки хвороби можуть різко знижувати врожайність посівів. До числа сильно-поширених хвороб в Україні відносяться чорна ніжка, снігова плісень, несправжня борошниста роса (пероноспороз), фомоз, альтернаріоз, тифульоз. За сприятливих умов для розвитку й при масовому поширенні хвороб застосовують фунгіциди [4, 6].

Вологість матеріалу має визначальний вплив на тривалість зберігання та якість насіння ріпаку. Базовою для ріпаку є вологість 8%, але це не означає, що за вищої вологості ріпак зберігати неможливо. На тривалість зберігання насіння ріпаку впливає як вологість, так і температура зберігання.

1.2. Огляд сушарок сипких матеріалів

Сушіння сільськогосподарських культур здійснюють сушарками різних конструкцій, як за допомогою активного вентилявання як звичайним, так і підігрітим сушильним агентом.

Функціональна схема напільної сушарки зображена на рисунку 1.1. Температура нагріву матеріалу на вході у сушарку через деякий часстає рівною температурі теплоносія. Умови роботи сушарки дозволяють контролювати температуру нагріву насіння. Недоліком цього типу сушарок є низький рівень механізації завантаження та вивантаження матеріалу, а також спостерігається нерівномірність сушіння за висотою та площею сушильної камери.

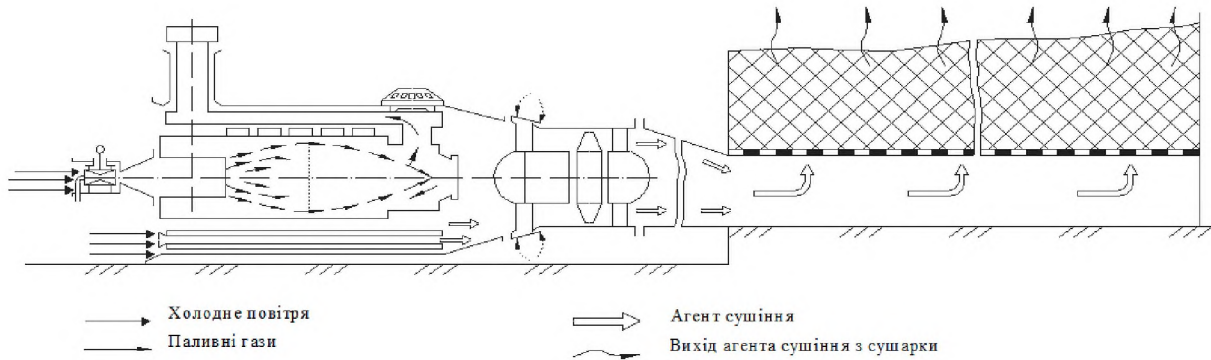


Рисунок 1.1 Функціональна схема напільної сушарки

Карусельні сушарка (рисунок 1.2 - 1.3) працюють за методом протитечії, коли вологий матеріал рухається назустріч сушильному агенту. При досягненні у нижньому шарі необхідної вологості матеріал відводиться вивантажувальним пристроєм. Матеріал знаходиться у зоні підвищеної температури мінімально час, а сушильний агент весь проходить через вище розташований верхній шар матеріалу і повністю віддає йому надлишок тепла. Така технологія дозволяє зберігати якість насіння і економити витрату палива [1, 2].

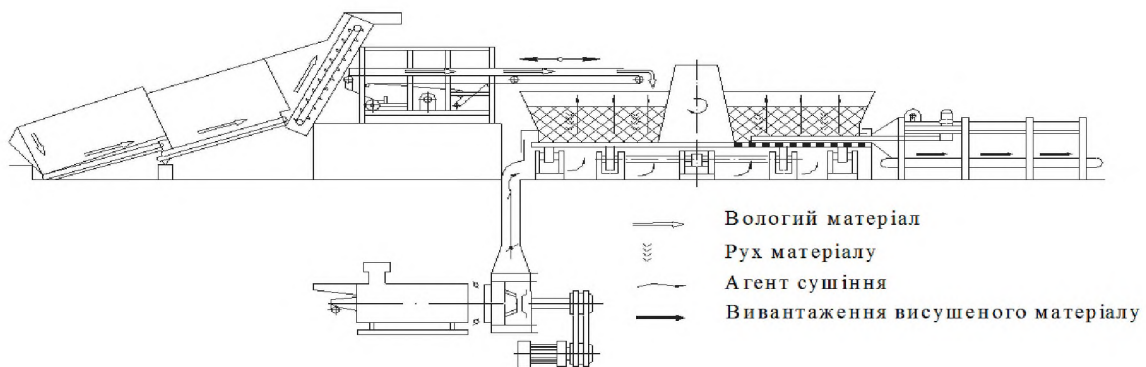


Рисунок 1.2 Функціональна схема карусельної сушарки

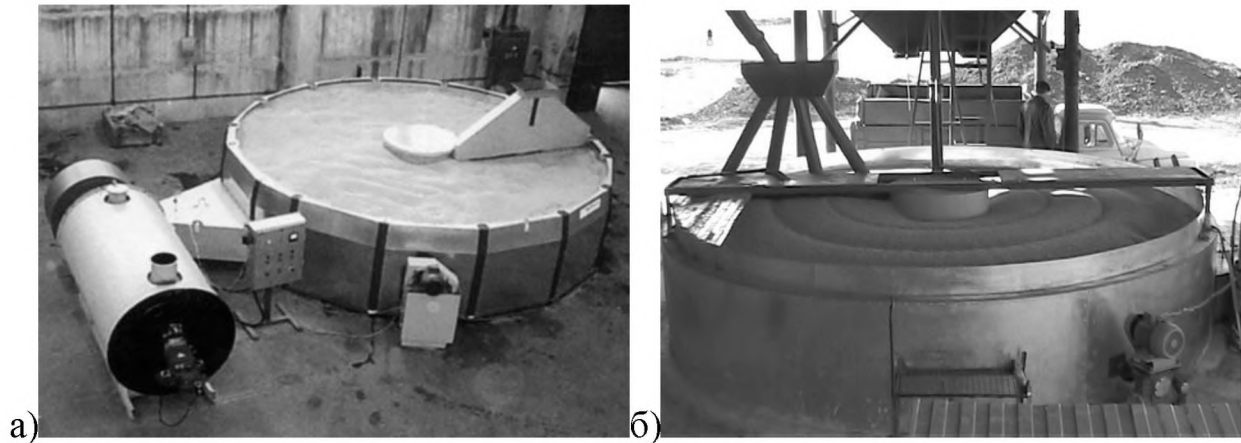


Рисунок 1.3 Загальний вигляд карусельних сушарок: а) SKU-10, б) SKS-

100

Сушарко. -аналогом до розроблюваної сонячної конвективної сушарки являється геліоустановка для сушіння фруктів рисунок 1.4 [8, 9].

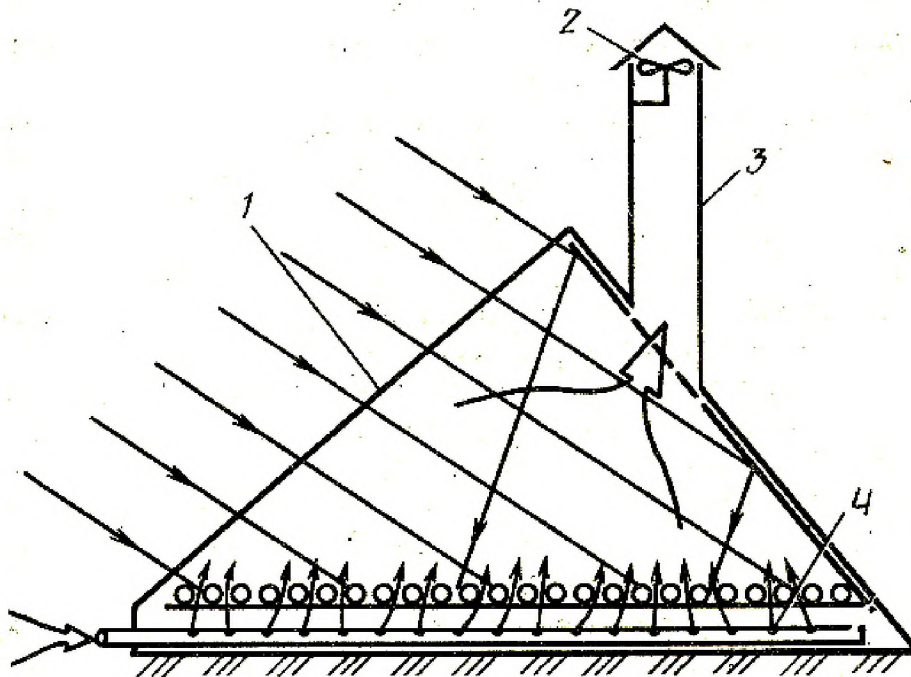


Рисунок 1.4 Схема геліоустановки для сушіння фруктів

1 – сушильна камера; 2 – терморегулюючий елемент; 3 – тягова труба; трубка-повітропровід з отворами.

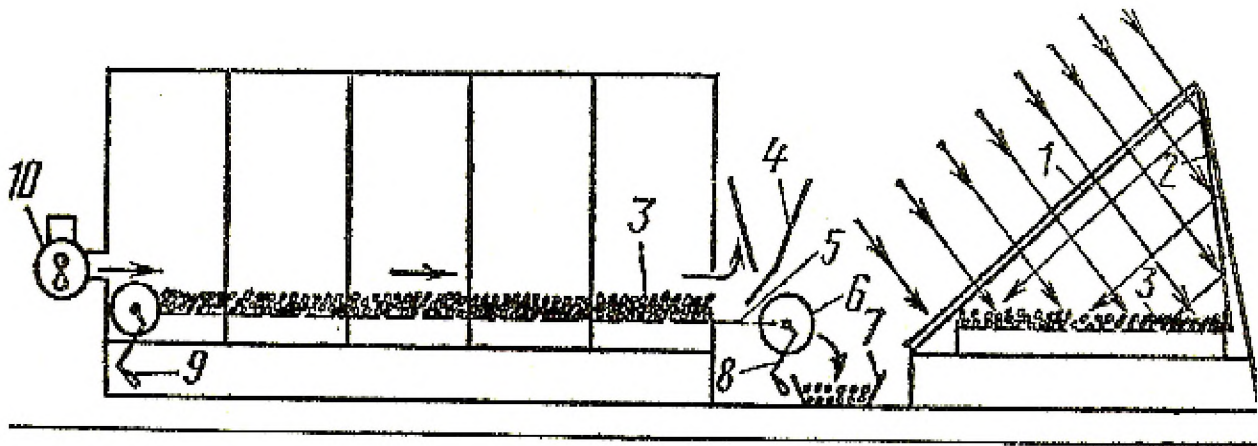


Рисунок 1.5 Схема сонячної сушарки фруктів

- 1 – світлопрозоре покриття; 2 – світловідбиваюче покриття; 3 – фрукти;
 4 – завантажувальний бункер; 5 – металева конвеєрна стрічка; 6 – барабан;
 7 – розвантажувальний бункер; 8, 9 – рукоятка; 10 – вентилятор.

Дана установка широко застосовується для сушки винограду і працює наступним чином. Фруктами заповнюють завантажувальний бункер, обертають рукоятку і розкручують металеву стрічку і фрукти завантажуються в сушильну камеру. Вивантажують установку в оберненому порядку і висушені фрукти потрапляють у вивантажувальний бункер [9].

1.3 Огляд теоретичних досліджень процесу приготування сушильного агенту

Процес сушіння зазвичай характеризують трьома типовими кривими: сушіння (відносної вологості матеріалу W), температури Θ та швидкості сушіння $\frac{dW}{dt}$, (рис.1.6).

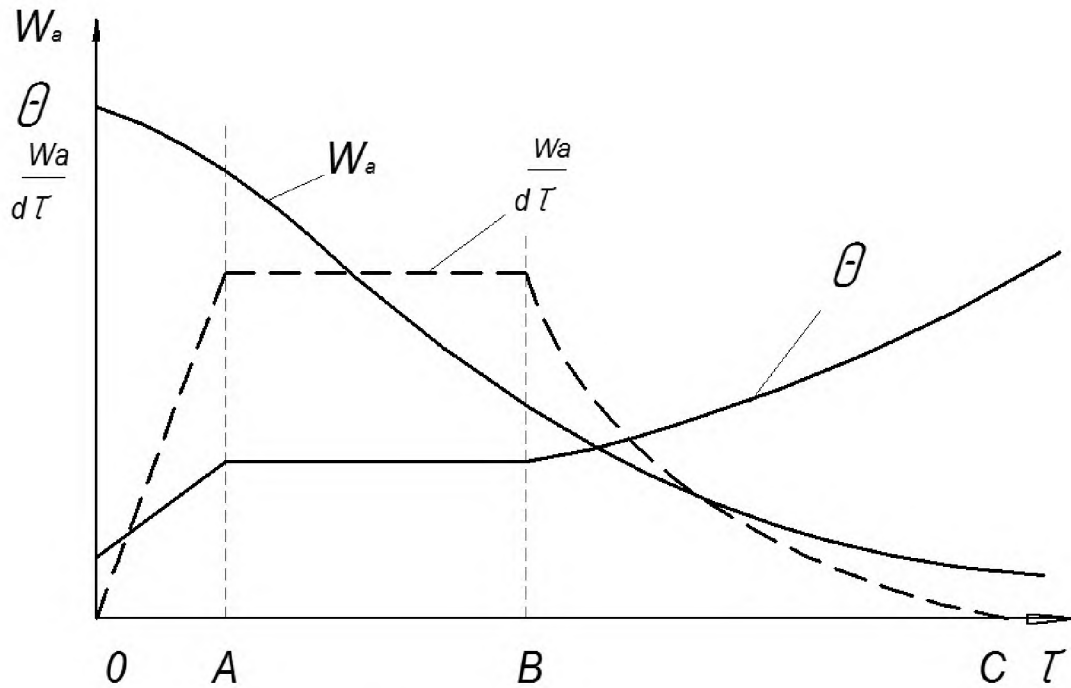


Рисунок 1.6 Криві сушіння рослинних матеріалів

Тривалість сушіння можна розділити на три періоди: $0A$, AB і BC . У перший період $0A$ матеріал прогрівається, і з його поверхні випаровується волога, його температура швидко зростає до температури мокрого термометра [1, 2].

Період AB характеризується сталою швидкістю сушіння, вологість W при цьому спадає по прямій, а температура θ не змінюється і залишається на рівні температури мокрого термометра; волога випаровується з поверхні матеріалу й уся теплота витрачається на це випаровування; матеріал при цьому не нагрівається, відбувається також міграція вологи з внутрішніх шарів матеріалу до поверхні. У період BC швидкість сушіння швидко спадає, вологість матеріалу W зменшується й наближається до рівноважної вологості W_p , а температура матеріалу – до температури агенту сушіння. В цей період зона випаровування вологи поширюється в середину матеріалу, при досягненні матеріалом рівноважної вологості швидкість сушіння стає такою, що дорівнює нулю [2].

Теоретичний опис конвективного сушіння сільськогосподарських матеріалів можна здійснити шляхом складання інтегральних рівнянь тепло- і масо-перенесення. Такий метод є складним і не дає можливості використовувати результати при інженерних розрахунках елементів сушарок та вдосконаленні методів сушіння.

Як показують результати експериментальних досліджень процеси зміни вологості $W = f(W_n, \tau, t)$ відбуваються по складним законам. Для розв'язку ряду практичних задач, як правило, достатньо отримати загальну характеристику процесу шляхом побудови кривих сушіння, швидкості і температури. Аналіз даних кривих дозволяє отримати рівняння кінетики сушіння [2].

$$-\frac{dW}{d\tau} = K(W - W_k), \quad (1.1)$$

де $\frac{dW}{d\tau}$ - похідна вологості по часу;

K - коефіцієнт сушіння, $хв^{-1}$;

W_k - кінцева вологість матеріалу при сушінні, %.

В свою чергу, коефіцієнт сушіння K прямопропорційний швидкості сушіння і обернено пропорційний початковій вологості матеріалу W_n . Він визначається за формулою:

$$K = N \cdot \chi \quad (1.2)$$

де N - швидкість сушіння в період сталої швидкості. Визначається, як тангенс кута нахилу відрізка кривої сушіння W_a (рис.1.6.) в період постійній швидкості сушіння:

$$N = \frac{dW}{dt} = \operatorname{tg} \sigma \quad (1.3)$$

$$\chi = \frac{1.8}{W_0} = \operatorname{tg} \sigma \quad (1.4)$$

де W_0 –початкова вологість матеріалу, %.

Сушіння матеріалу в кінцевому варіанті являє собою масообмін вологи між матеріалом і навколишнім середовищем. При цьому обов'язковим являється також перенесення вологи із середини матеріалу до його поверхні. Активізація вказаних процесів у період постійної швидкості сушіння, можлива при збільшенні рушійних сил, якими є градієнти перенесення вологи. При випаровуванні вологи з поверхні матеріалу створюється перепад її вмісту в зовнішньому і внутрішньому шарах. При цьому градієнт вмісту вологи, що виникає, зумовлює її випаровування. Особливу увагу необхідно звернути на градієнт температур, як рушійну силу в процесах при передачі тепла. Градієнт температури має великий вплив на переміщення вологи у матеріалі. Якщо температура матеріалу на поверхні вища, ніж всередині, тоді температурний градієнт гальмує випаровування, так як волога рухається від вищої до нижчої температури [1, 2].

Максимальне використання потенціалу сушильного агенту можна досягти шляхом його повного насичення вологою в процесі сушіння матеріалу, а це можливо в випадку збільшення загального шару, через який проходить сушильний агент.

Для конвективного теплообміну швидкість сушіння в період постійної швидкості для капілярно-пористих колоїдних тіл можна визначити по формулі Ньютона.

$$\alpha_q (t_{ca} - t_n) = \frac{N \cdot \rho_o \cdot R_v}{100}, \quad (1.5)$$

де α_q - коефіцієнт теплообміну;

t_{ca} - температура сушильного агенту;

t_n - температура поверхні матеріалу, що піддається сушінню;

ρ_o - густина сухого матеріалу;

R_v - відношення об'єму тіла до його поверхні.

На основі вищезазначеного можна зробити висновок, що проведені дослідження пов'язані з сушінням, зробили значний внесок у розуміння процесів, які при цьому мають місце, дали можливість встановити закономірності, що описують процес сушіння капілярнопористих колоїдних тіл, якими є сільськогосподарські матеріали, дозволили внести ясність у багатьох питаннях, які стосуються механізації процесу сушіння.

1.4 Постановка питання, мета та завдання дослідження

Зниження вологості насіння після збирання для більшості сільськогосподарських культур необхідне для тривалого зберігання. Під час сушіння важливо забезпечити мінімальну тривалість дії на насіння, дотримуючись температурного режиму.

Постійне зростання вартості енергоносіїв потребує використання відновних джерел енергії. Дослідження доводять, що за тиждень на земну поверхню поступає кількість сонячної енергії, яка перевершує кількість енергії від світових запасів усіх видів палива. Тому на сьогодні розробка сонячних теплових колекторів та сонячних сушарок є надзвичайно актуальним завданням.

Мета роботи – обґрунтування параметрів сонячного теплового колектору для приготування сушильного агенту.

Завдання роботи: дослідити процес приготування сушильного агенту у сонячному тепловому колекторі; розробити функціональну схему сонячної теплової сушарки; розробити конструкцію сонячного теплового колектору; розробити «цифровий двійник» сонячної теплового колектору; розробити лабораторну установку сонячного теплового колектору; провести дослідження процесу приготування сушильного агенту на дослідній установці з метою встановити вплив конструктивних та технологічних параметрів колектору на температуру сушильного агенту.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ СУШИЛЬНОГО АГЕНТУ

2.1. Проектування конструкції сонячної колектору

Для забезпечення тривалого якісного зберігання насіння ріпаку після збирання передбачається зниження його відносної вологості до 7-8 %. При цьому під час сушіння важливо забезпечити мінімально необхідний час дії на нього сушильного агента, температура якого не перевищувала б допустиму.

Процес завантаження вологого матеріалу, сушіння і вивантаження сухого матеріалу повинні бути максимально механізованими. Також важливо забезпечити ефективне використання сушильного агента, що забезпечило б мінімальні затрати енергії на сушіння [11].

Забезпечити вищевказані вимоги можливо, застосувавши для отримання сушильного агента сонячний тепловий колектор.

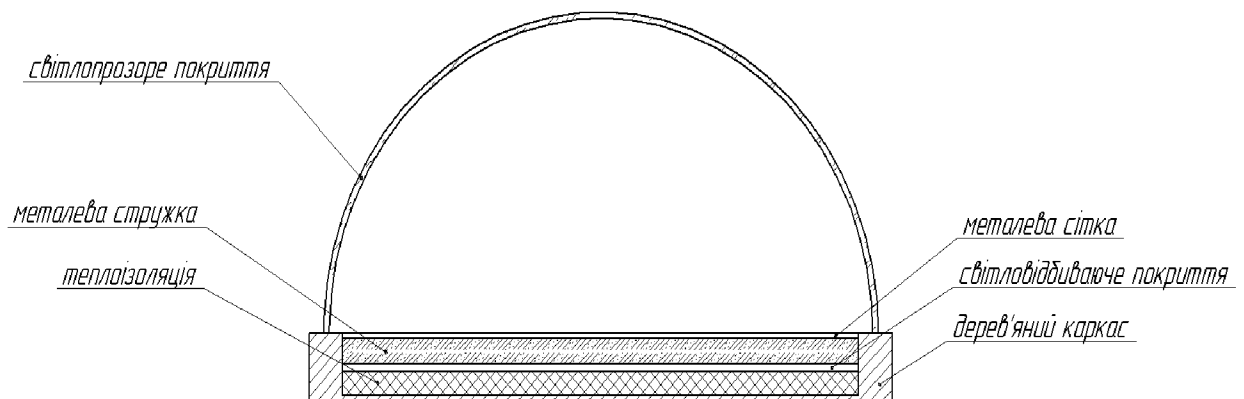


Рисунок 2.1 Поперечне сечення сонячного теплового колектора

Даний колектор складається з наступних елементів: дерев'яного каркасу, теплоізоляції, світловідбиваючого покриття, поглинаючого тіла, у вигляді металевих стружок, металевих сіток, що притискає стружку до дна колектора та світлопрозорого покриття, зверху колектора.

Теплова ізоляція, матеріалом для якої може бути пінопласт, мін вата, скловата, товщиною 50 – 100 мм. Вона вкладається в нижній частині корпусу, а зверху покривається світло відбиваючим покриттям для зменшення теплових



Рисунок 2.2 Загальний вигляд проєктованого теплового колектора втрат через нижню стінку і відбиття пропущеної сонячної енергії поглинаючим елементом, яким служить металева стружка, або матриця, утворена металевими сітками, смужками та іншими подібними матеріалами із селективним покриттям.

В конструкції колектора слід застосувати матеріали вираженого чорного кольору. В даній конструкції використано стружку з металу, оскільки метал характеризується високим рівнем тепловіддачі. Інша перевага такого матеріалу в тому, що металева стружка розкладена шарами. Повітря інтенсивно нагрівається оскільки легко проходить через шари стружки.



Рисунок 2.3 Регулювальна засувка теплового колектора



Рисунок 2.4 Поглинаюча поверхня теплового колектора

Принцип роботи сонячного теплового колектора полягає у тому, що електро-магнітне короткохвильове випромінювання проходить через зовнішнє покриття колектору, виготовлене із світлопроникного матеріалу, й потрапляє на поглинаючий матеріал. В цьому матеріалі енергія перетворюється в електромагнітне довгохвильове випромінювання. Утворене довгохвильове випромінювання – червоного спектрі через зовнішнє прозоре покриття не проходить. Поглинаючий матеріал, постійно оточений повітрям. Тому, відбувається інтенсивне підвищення температури повітря. Підігрите повітря за допомогою вентилятора нагнітають в камеру де здійснюється процес сушки [12].

Сушарки даної конструкції можна використати для зниження вологості зерна, сіна, насіння і ін. сільськогосподарської продукції.

2.2. Оптимізація сонячного теплового колектору із використанням технології «Цифровий двійник»

З метою оптимізації конструкції сонячного теплового колектору і режимів його експлуатації використаємо технологію «Цифровий двійник».

«Цифровий двійник» являється цифрова копія фізичного пристрою і процесу, яка моделює внутрішні процеси, технічні характеристики та поведінку реального об'єкта в умовах впливу перешкод та оточуючого середовища. З метою вплив умов оточуючого середовища, використовуємо дані експериментальних досліджень лабораторної установки сонячного теплового колектору. Технологія «цифровий двійник» також дає можливість порівняти інформацію із віртуальних датчиків з фізичними електронними компонентами експериментальної лабораторної установки (розділ 3). Це допомагає виявити розбіжності між цифровим двійником та експериментальною установкою сонячного теплового колектору. Реалізації технології «цифровий двійник» здійснювали за допомогою програмного комплексу Creo 7.0. із модулем

комп'ютерної симуляції FloEFD. В результаті було побудована тримірна модель сонячного теплового колектору. Інтерфейс програми FLOEFD 2020 має можливість провести експеримент із врахуванням багатьох факторів. Під час проведення комп'ютерної симуляції були задані такі параметри: час проведення експерименту, температуру навколишнього середовища, хмарність, місце розташування об'єкта дослідження та положення відносно вибраної системи координат (рисунок 2.5) [10].

| Physical Features | Value |
|---|-------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Radiation | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Radiation model | Discrete Transfer |
| Environment temperature | 30.05 °C |
| <input checked="" type="checkbox"/> Solar radiation | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Type | At Earth |
| Defined by | Location and Time |
| Location | Custom |
| Latitude | 50°45' N |
| Date | 06/22 |
| Time | 12:00:00 |
| Zenith direction | Y Axis of Global Coordinate System |
| Angle measured from North to | X Axis of Global Coordinate System |
| Angle | 60 rad |
| Cloudiness | n |

а)

| Parameter | Value |
|--|-------------------------------------|
| Parameter Definition | User Defined |
| <input checked="" type="checkbox"/> Thermodynamic Parameters | |
| Parameters | Pressure, temperature |
| Pressure | 101325 Pa |
| Pressure potential | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Refer to the origin | <input type="checkbox"/> |
| Temperature | 30.05 °C |
| <input checked="" type="checkbox"/> Velocity Parameters | |
| Parameter | Velocity |
| Velocity in X direction | 0 m/s |
| Velocity in Y direction | 0 m/s |
| Velocity in Z direction | 0 m/s |
| <input checked="" type="checkbox"/> Turbulence Parameters | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Solid Parameters | |
| Initial solid temperature | 30.05 °C |

б)

Рисунок 2.5 Інтерфейс програми FLOEFD 2020

а- задавання типу симуляції

б - початкові умови симуляції

Важливим фактором при підготовці тримірної моделі до проведення комп'ютерної симуляції являється усунення із моделі деталей, які мають незначний вплив на досліджуваний процес, та спрощення конструкції деталей. Так-як настил металевої стружки являється досить складним для побудови тримірної моделі то у тримірній моделі сонячного теплового колектору металева стружка замінена металевою пластиною з шипами висотою 100 мм (рисунок 2.6).

Повітря потрапляє у сонячний тепловий колектор через вхідний отвір прямокутної форми та рухається вздовж підлоги до задньої стінки із вихідним отвором де відбвається розподіл на два потоки: частина вже прогрітого повітря

поступає у вихідний отвір до сушильної установки, а інша частина рухається в зворотному напрямку. 3D симуляція роботи сонячного теплового колектору

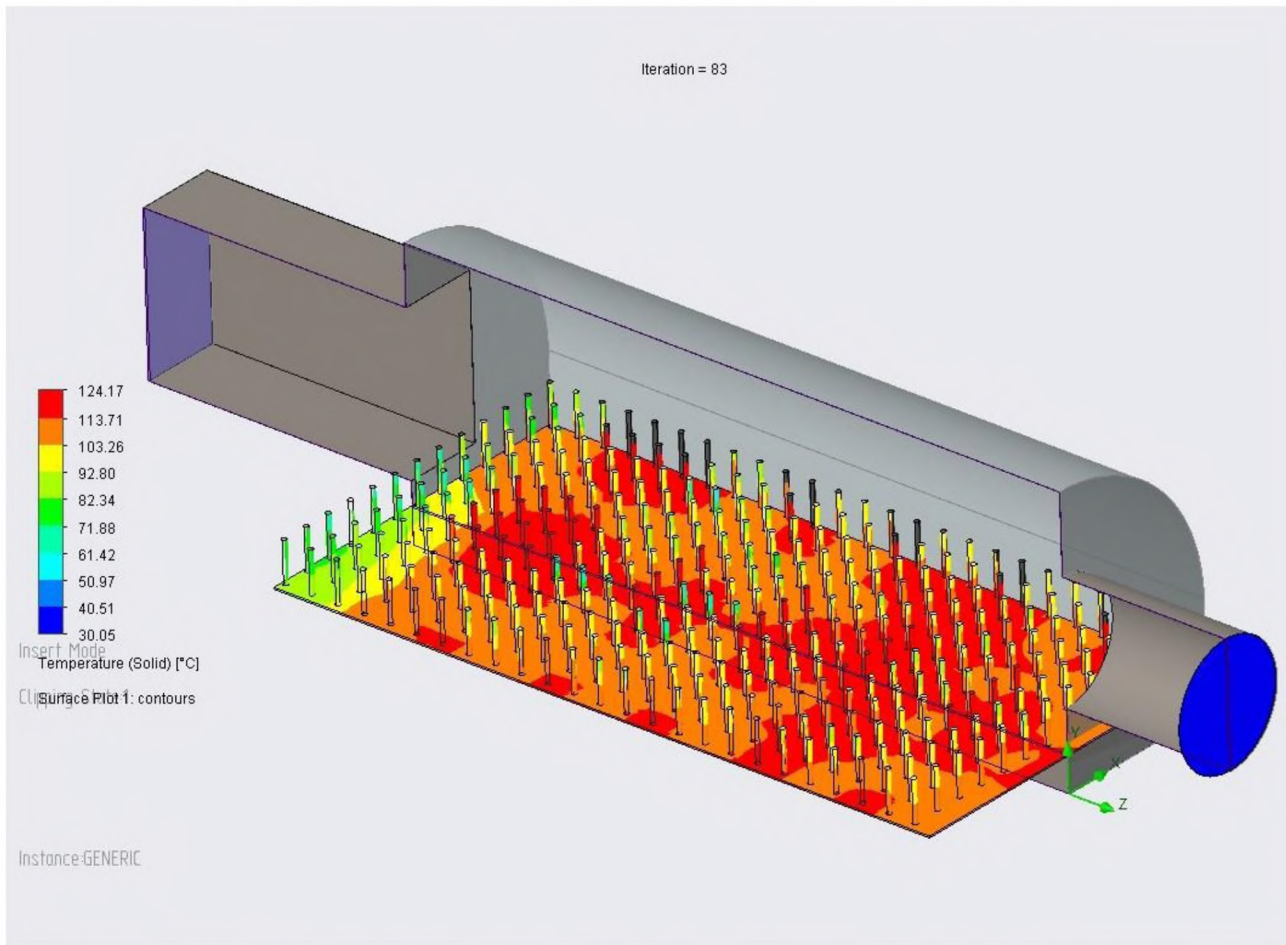


Рисунок 2.6 Спрощена модель світлопоглинаючого елемента

Загальний вигляд спрощеної моделі сонячного теплового колектору наведена на рисунку 2.7.

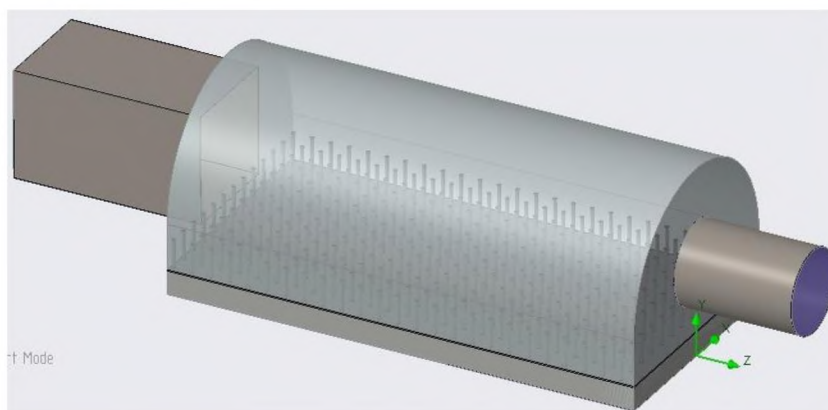


Рисунок 2.7. Тримірна модель сонячного теплового колектору для проведення комп'ютерної симуляції

наведена на рисунку 2.8. Аналіз рмунку 2.8 показує, що вихідний потік за розподілом температур являється не однорідним, що необхідно враховувати під час встановлення сенсорів.

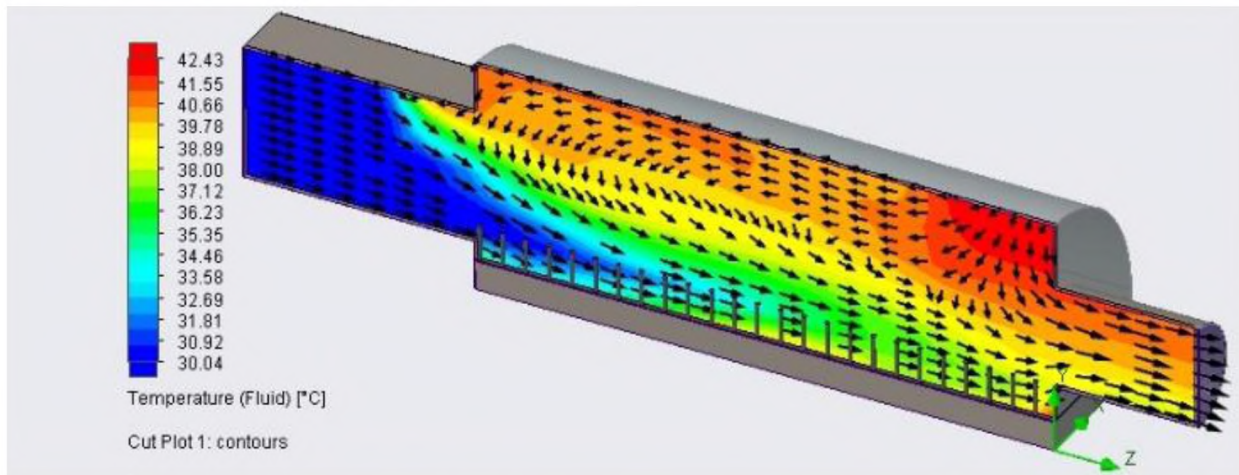


Рисунок 2.8 3D симуляція роботи сонячного теплового колектору площею 2 м²

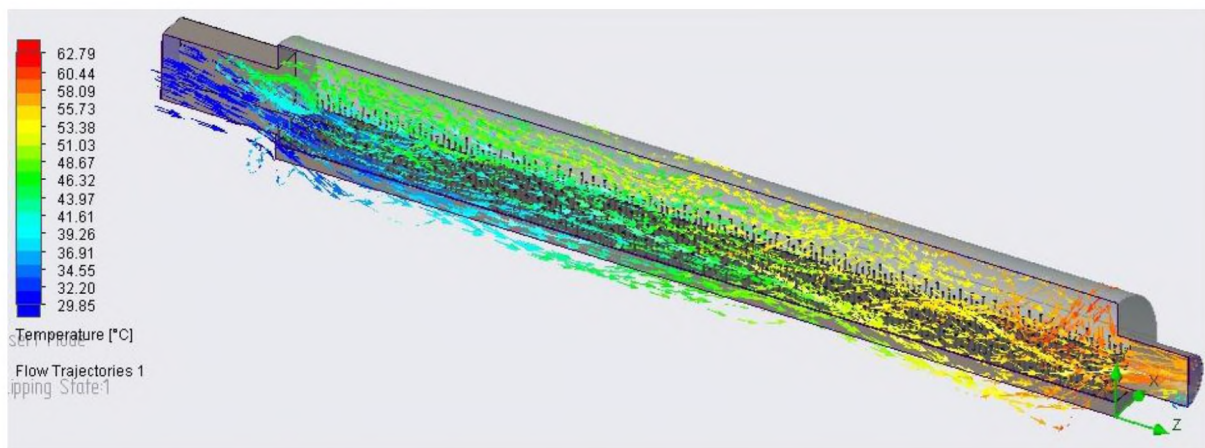


Рисунок 2.9 3D симуляція роботи сонячного теплового колектору площею 6 м²

Перепад температур на виході із колектору суттєво змінюється при збільшенні довжини сонячного теплового колектору до 6м (рисунок 2.9).

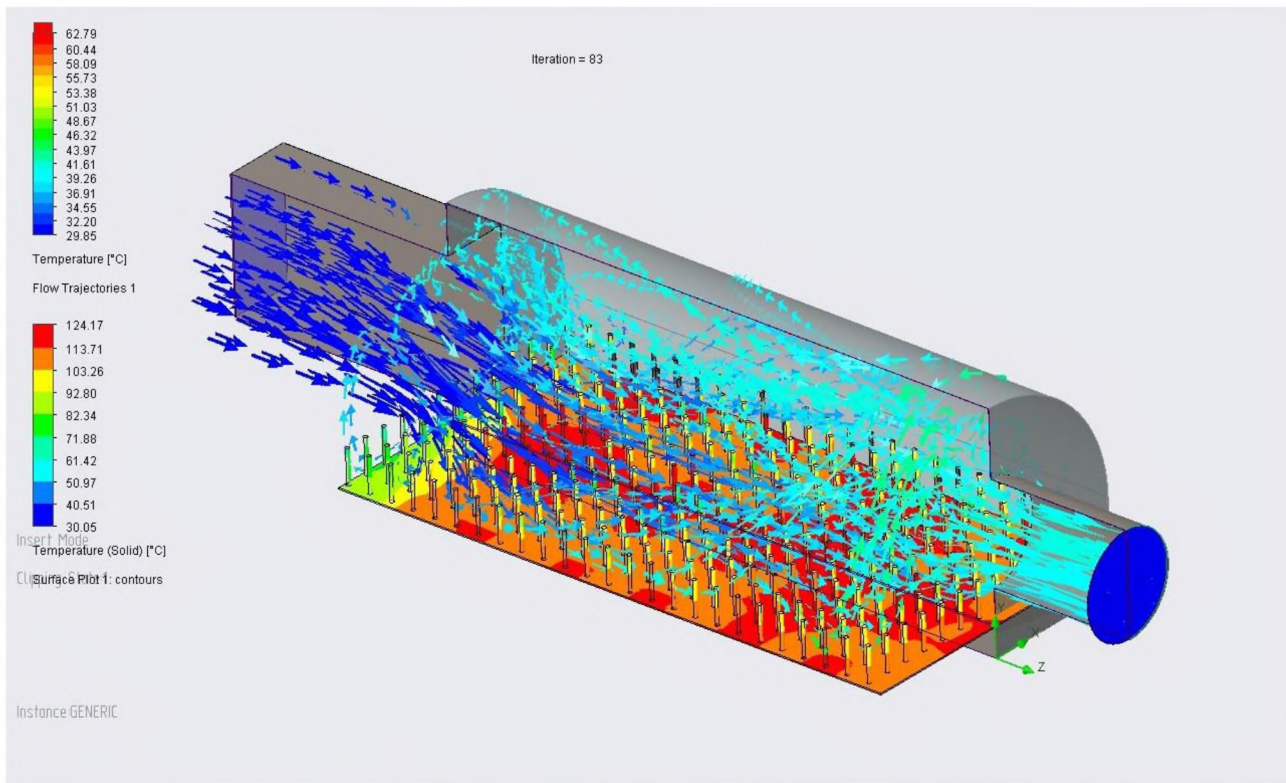


Рисунок 2.10 3D симуляція роботи сонячного теплового колектору за потоком сушильного агенту

Для зменшення завихрення повітря на виході із сонячного теплового колектору було проведено оптимізацію розташування і геометричних розмірів впускного колектору. Відповідно з метою зменшення застійної зони над вихідним колектором було змінено форму задньої стінки сонячного теплового колекторі (рисунок 2.11 та 2.12).

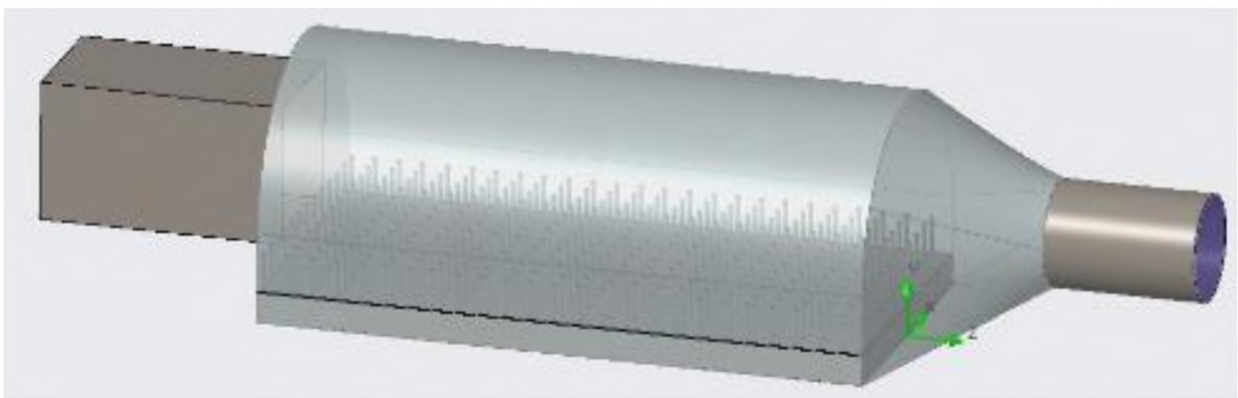


Рисунок 2.11 Сонячний тепловий колектор із оптимізованою формою

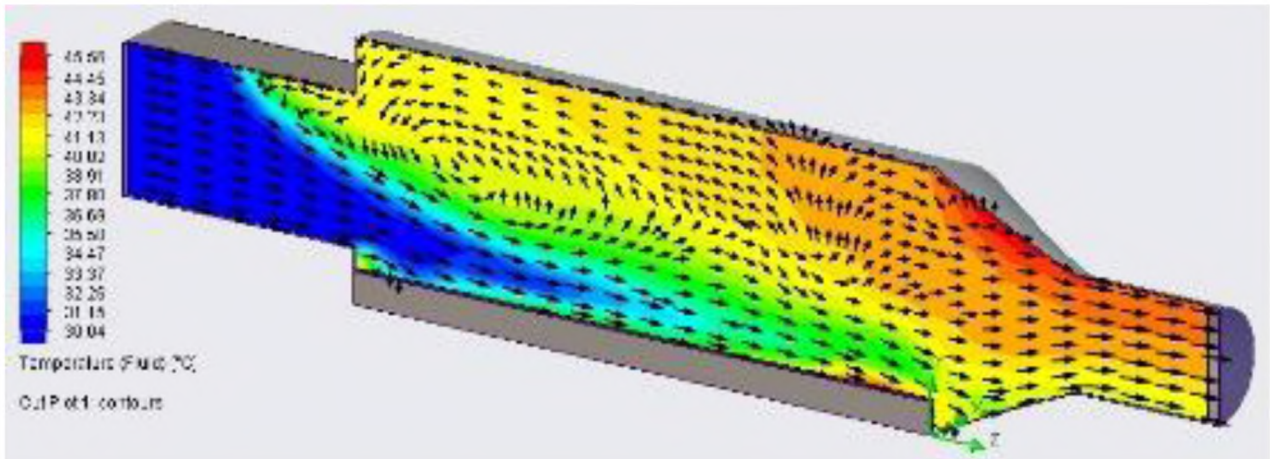


Рисунок 2.12 3D симуляція роботи сонячного теплового колектору площею 2 м^2 з оптимізованою формою

Використання цього програмного забезпечення є також дієвим для визначенні найбільш оптимального положення у місці встановлення сонячного теплового колектору для отримання максимальної потужності сонячного випромінювання.

2.3 Теоретичні дослідження процесу перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію

Сонячна радіація характеризується інтенсивністю. Інтенсивність залежить від тривалості світлового дня, рівня хмарності, положення Сонця відносно горизонту, показників атмосфери (вологість, прозорість), географічної широти.

Сонячну радіацію доцільно розглядати як суму прямої та розсіяної радіації. В багатьох джерелах, з цієї точки зору, прийнято назву сумарна сонячна радіація, в ін. наукових працях - позначають терміном абсолютна сонячна радіація.

Пряма сонячна радіація- радіація безпосередньо досягаюча поверхні Землі.

Розсіяна радіація - радіація, розсіяна у повітряних масах, атмосферних пилові та волозі.

Сонячна радіація вимірюється за допомогою піранометрів.

Піранометр фіксує рівень радіації за рахунок терморпари чорного кольору чи фотодетектора , захищеного від впливу навколишнього середовища прозорою герметичною капсулою.

Встановити рівень радіації можна за допомогою програмного забезпечення із Інтернету , вказавши географічні координат та дату.

Для динамічного визначення рівня сонячної радіації, що випромінюється на будь яку поверхню у просторі, у довільний момент часу для конкретно вказаного регіону існує метод, оснований на понятті сонячної константи(кількість енергії, яку земля отримує через космос від Сонця). Середнє значення константи рівне 1353 Вт/м^2 . Дана методика враховує, що 30...35% енергії відбивається і повертається в космічний простір [5].

Для розрахунку нагріву теплоносія сонячного колектора використовують сумарну сонячну радіацію(складається з прямої, розсіяної та відбитої). Потрібно встановити щільність потоку прямої сонячної радіації.

В площині колектору $H_{\text{пр}}$ на поверхні нахиленій під кутом до горизонту значення щільності обчислюємо за допомогою формули:

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{sc}} \cdot R_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ат}}, \quad (2.1)$$

де $R_{\text{пр}}$ – коефіцієнт приходу прямої сонячної радіації з горизонтальної площини на похилу площину;

$K_{\text{ат}}$ – коефіцієнт, враховуючий поправку на повітряну масу, через яку проникає сонячне випромінення.

Коефіцієнт приходу прямої сонячної радіації(на похилу площину) становить:

$$R_{\text{пр}} = \frac{\cos \theta_{\text{пох}}}{\cos \theta_{\text{гор}}} \quad , \quad (2.2)$$

де $\theta_{\text{пох}}$ – кут між лінією напрямку прямого сонячного випромінення та нормаллю до похилої площини;

$\theta_{\text{гор}}$ – кут між лінією напрямку прямого сонячного випромінення та нормаллю до горизонтальної площини.

$$\cos \theta_{\text{пох}} = \sin \delta \sin \phi \cos S - \sin \delta \cos \phi \sin S \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos S \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin S \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin S \sin \gamma \sin \omega \quad (2.3)$$

$$\cos \theta_{\text{гор}} = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega, \quad (2.4)$$

де S – кут, на який тепловий сонячний колектор нахилений до горизонту, град;

γ – азимутальний кут (відхилення нормалі до площини колектора від місцевого меридіана (початок відліку - південний напрям)), відхилення до сходу прийнято як позитивне значення; до заходу – прийнято як негативне значення);

ω – часовий кут, (опівдні становить 0); година становить 15° довготи; час до 12.00 приймаємо як позитивне значення, а після 12.00 приймаємо як негативне значення;

δ – кутове розташування Сонця 0 12.00 відносно до екватору, град);

ϕ – географічна широта (приймаємо позитивне значення для Північної півкулі);

Значення часового кута ω визначається за формулою:

$$\omega = \frac{\pi}{12}(12 - t), \quad (2.5)$$

де t – сонячний час, год.

Можна провести розрахунок схилу Сонця згідно з формулою:

$$\delta = 23 \cdot 45 \cdot \sin\left\{\frac{2\pi}{365}(284 + N)\right\}, \quad (2.6)$$

де N – порядковий номер дня (номер 1 це перше січня);

Необхідно встановити значення коефіцієнт $K_{ат}$. Коефіцієнт $K_{ат}$, враховує поправку на повітряну масу:

$$K_{ат} = 1.1254 - \frac{0.1366}{\sin h}, \quad (2.7)$$

де h – кут, для визначення висоти Сонця над горизонтом в певний момент, град., синус кута h обчислено за формулою:

$$\sin h = \cos \delta \cos \omega \cos \phi + \sin \delta \cos \phi. \quad (2.8)$$

Формула (2.1) розраховує величину потоку прямої сонячної радіації, направлений на будь яку площину. Однак, на сонячний колектор чинить дію розсіяна сонячна радіація.

Розрахунок розсіяної сонячної радіації, як складової енергії, отриманої колектором, здійснюємо таким способом:

Величина розсіяної сонячної радіації апроксимується як залежність:

$$H_{розс} = 137.1 - 14.82 \frac{1}{\sin h}. \quad (2.9)$$

Відбита сонячна радіація може визначатись виразом:

$$H_{від} = 0,5 \cdot \rho \cdot (1 - \cos S) \cdot (H_{пр} + H_{розс}), \quad (2.10)$$

де ρ – відбиваюча властивість Землі.

$\rho = 0,2$ для літнього періоду

$\rho = 0,7$ для зимового періоду(при наявності снігу).

Загальний потік енергії, внаслідок дії сонячної радіації на довільно розташовану у просторі похилу поверхню на L- широті:

$$H_T = H_{пр} + H_{розс} + H_{від}. \quad (2.11)$$

Значення приймаємо враховуючи, що день - ясний. Інакше потрібно слід використати коефіцієнт враховуючий хмарність. Встановлені розрахункові значення потоків для різного часу практично дорівнюють нормативним значеннями СНіП й атласі клімату.

Сонячні системи розрізняють активні та пасивні.

Пасивні системи (використовуються архітектурні елементи) - запроєктовані і підібрані так, щоб максимально використати сонячну енергію . Вони дешевші і не потребує додаткового устаткування.

Активні створюють на базі сонячних колекторів (СК), в яких за допомогою обладнання відбувається циркуляція теплоносія .

Пласкі сонячні колектори ловлять як пряму, так і розсіяну енергію і дозволяють прогріти повітря до 40...60 °С. В простих пасивних геліосистемах сезонна ефективність може виявитись не нижчою чим у складніших системах сонячного теплопостачання.

Недолік пасивних систем – складність регуляції температури повітря, і через те виникає потреба застосовувати автоматичні регулюючі пристрої.

Активні сонячні системи як теплоносій можуть використовувати не замерзаючі речовини (антифризи). Перевага активних систем – інтеграція з існуючими тепло системами; можливість автоматизації керування. Підбір і компоновка складових активної системи визначається у конкретному варіанті т факторами клімату, типу споруди, режиму теплового постачання, економності. Підтримка перпендикулярного положення поверхні колектора до сонячного проміння за допомогою системи слідкування складна і дорога, колектори

монтують нерухомими, або змінюють орієнтацію тільки по сезону. Тому доцільно орієнтувати колектор у південному напрямі [5].

Оптимальна встановка колектору:

під кутом до горизонту $S = \varphi + 12^\circ$, - в літній період експлуатації
 під кутом до горизонту - $S = \varphi - 12^\circ$, - якщо експлуатація триває цілий рік,
 де φ - географічна широта.

Найпростіша модель - плоский сонячний колектор, який теплоізований знизу і з боків. В середині колектора розміщена панель уловлююча тепло з каналами, де відбувається циркуляція теплоносія.

Тепловий потік потрапляє на пластину, що нагріваючись, перетворює сонячне випромінення у теплову енергію, яка відбирається за допомогою теплоносія. Для ефективнішого відбору сонячної радіації абсорбери виготовляють із селективним покриттям (тонка плівка фільтру (нікель, титан), нанесена на металеву теплопровідну основу (мідь, алюміній)) та має високу поглинаючу здатність у видимій області спектру і малим коефіцієнтом випромінення в інфрачервоній області.

Режим роботи сонячного колектора можна описати рівнянням енергетичного балансу, розділяючим енергію сонячної радіації на акумульовану корисну енергію і втрати.

Енергетичний баланс теплового колектора можна показати в такому вигляді:

$$A \{ [HR(\tau\alpha)]_b + [HR(\tau\alpha)]_d \} = Q_u + Q_L + Q_s, \quad (2.12)$$

де H – щільність потоку сонячного випромінення (прямого або розсіяного), падаючого на одиницю площі горизонтальної площини;

R – коефіцієнт перерахунку щільності потоку прямого або розсіяного випромінення з горизонтальної на похилу площину;

$(\tau\alpha)$ – приведена поглинаюча властивість системи покриттів відносно прямого або розсіяного випромінення;

A – площа поверхні колектору;

Q_u – корисне тепло - тепловий потік, переданий робочій речовині колектора;

Q_L – теплові втрати колектора в навколишнє середовище шляхом випромінення конвекції, а також шляхом теплопровідності по опорах поглинаючого матеріалу і т.п.;

Q_s – потік тепла, акумульованого колектором.

Показником оцінюючим ефективність даного колектора є коефіцієнт корисної дії (ККД). ККД – в даному випадку, співвідношення корисної теплової енергії Q_u до отриманої сонячної енергії.

Для випробовувань даного сонячного колектора застосовуємо методику Національного бюро стандартів США. За даною методикою випробовування відбуваються в стаціонарних умовах на експериментальному стенді, коли сонячна радіація, швидкість вітру, температура середовища і температура матеріалу на вході змінюються слабо протягом деякого часового періоду.

Випробування проводять опівдні у сонячні дні, або використовуючи сонячний імітатор.

Корисну енергію, що відводиться з колектору, можна визначити використавш формулу:

$$Q_u = F_R A [I_T (\tau\alpha) - U_L (T_i - T_a)], \quad (2.13)$$

де F_R – коефіцієнт відводу тепла з колектора;

I_T – щільність потоку сумарної сонячної радіації в площині колектору, Вт/м²;

$\tau\alpha$ – приведена поглинальна здатність (враховується частина випромінення, пройшовше через скло покриття, досягнуло адсорбера, і знову повернулось до зовнішнього покриття колектору);

U_L – коефіцієнт, враховуючий повну тепловтрату колектору Вт/(м²К);

T_i – температура, яку має повітря на вході в колектор, °С;

T_a – температура на зовні колектора, °С;

Згідно результатів отриманих при випробуванні проводимо розрахунок ефективності даного колектору.

$$\eta = \frac{Q_u}{AI_T} \quad (2.14)$$

Теплову продуктивність колектора визначаємо враховуючи температуру теплоносія на вході і виході колектора:

$$Q_u = GC_p(T_o - T_i), \quad (2.15)$$

де G – масова витрата теплоносія, кг/с;

C_p – питома масова теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К);

T_o, T_i – температури теплоносія на виході та вході в абсорбер колектора, °С.

Коефіцієнт корисної дії становить за формулою:

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L(T_i - T_a) / I_T, \quad (2.16)$$

де $F_R(\tau\alpha)$ – складовий коефіцієнт, що показує максимальне теоретичне значення ККД даного колектора;

$F_R U_L$ - складовий коефіцієнт, характеризуючий втрати тепла у даній конструкції колектора.

Коефіцієнт, обчислений по формулі (2.16) значною мірою характеризує конструктивну і теплотехнічну досконалість конструкції сонячного колектора.

У стані рівноваги (відсутня циркуляція теплоносія) при наявній інтенсивності випромінювання Сонця та температури навколишнього середовища колектор нагрівається до максимальної температури. Температура рівноваги в деякій мірі є характеристикою теплової ефективності колектора (теплових втрат колектора).

Великий вплив на значення ККД сонячного колектора має температура теплоносія на вході в колектор: чим нижча температура, тим менші теплові

втрати і вище ККД. За досвідом експлуатації плоских сонячних колекторів, підвищення густини потоку сонячного випромінювання від 300 до 1000 Вт/м² призводить до підвищення ККД від 32 до 59%, а при підвищенні температури зовнішнього повітря від 20 до 30 °С ККД збільшується від 41 до 55%.

Густина поглиненої перетвореної енергії розраховується за формулою:

$$q = \frac{E}{A}, \quad (2.17)$$

де A – робоча площа поверхні колектору, м².

2.4 Висновки

На основі теоретичних досліджень запропонована конструкція сонячної конвективної сушарки для насіння ріпаку із сушильною камерою циліндричної форми, яка дає можливість значної економії енергоносіїв. Електроенергія використовується лише на привід вентилятора. Конвективна сушарка є екологічно чистою, не здійснює шкідливих викидів в атмосферу.

Розроблено комп'ютерну модель із застосуванням технології «цифровий двійник» сонячної теплової сушарки. «Цифровий двійник» дозволяє дослідити режими роботи сонячного теплового колектору на різних умовах та геометричних параметрах колектору, дослідити ефективність застосування різних матеріалів у конструкції колектору.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Лабораторне обладнання, прилади та апаратура для проведення досліджень

При проведенні досліджень по визначенню залежності зміни температури сушильного агенту на виході із колектору від вхідних параметрів: температури повітря оточуючого середовища, площі колектору та швидкості повітряного потоку у колекторі використовували наступне лабораторне обладнання.

- анемометр ручний, чашковий типу МС-13;
- термометр;
- сушильна шафа типу СНОЛ-3; 5,3; 5,3; 5/3 – з термометром зі шкалою від 0 до 400°C та ціною поділки 5°C;
- електронні ваги ТВЛ-0,5 з класом точності 4;

3.2. Пристрій вимірювання витрати повітря та методика проведення дослідження

Вимірювання швидкості руху повітря здійснювали чашковим анемометром МС-13 (рисунок 3.1). на вісь посаджена крильчатка з пустотілими півсферами, в чашкового анемометра і вертушка млинчастого типу з алюмінієвої фольги в крильчатого. Під дією повітряного потоку вертушки приладів обертаються і через систему зубчастих коліс приводять у рух стрілки лічильника. Прилади вмикаються і вимикаються важільним-арретиром, який розміщений на боковій частині корпусу



Рисунок 3.1 Чашковий анемометра МС-13

анемометра. Вимірювання починають з запису показів всіх трьох циферблатів анемометра (чотири значна цифра).

Одночасно із ввімкненням важеля вмикають секундомір. Після проходження 100 сек. (беруть для зручності розрахунку) анемометр вимикають і знову записується його покази. Різниця між показами до і після досліду, поділена на час (100 сек.), дає швидкість повітряного потоку в поділках за секунду.

За спеціальними графіками (рисунок 3.2) визначається дійсна швидкість руху повітря у кожній точці.

Секундна витрата повітря у вихідному рукаві:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.1.)$$

де d - діаметр рукава, м;

V - швидкість руху повітря, м/с.

Підставивши значення в дану формулу, отримаємо значення секундної витрати повітря в колекторі.

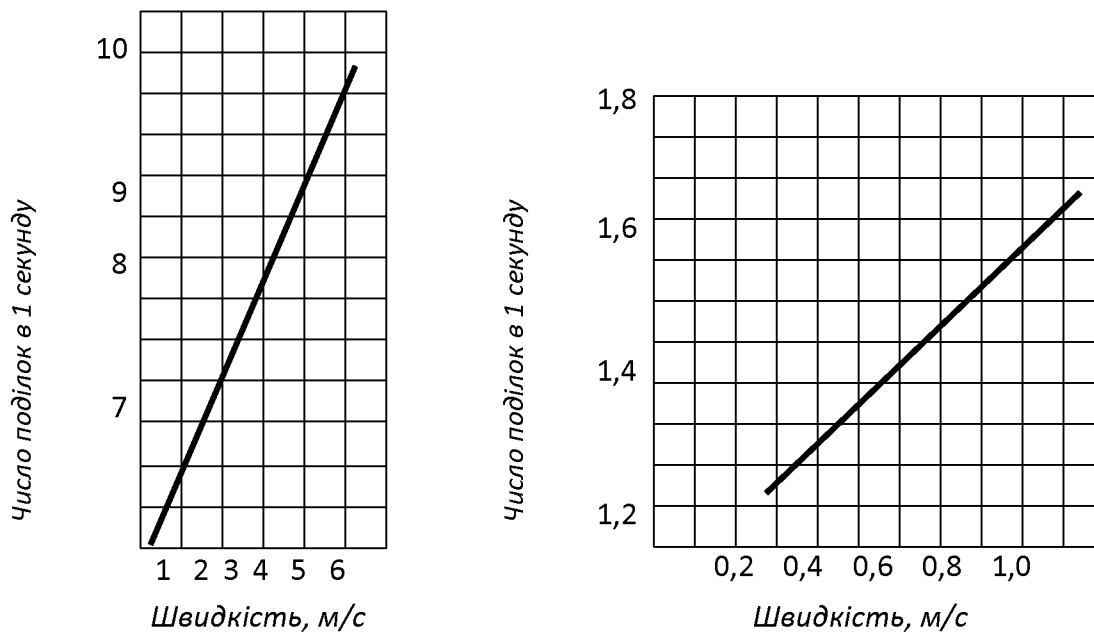


Рисунок 3.2 Номограма перекладу лічильника анемометра у покази швидкості руху повітря

3.3 . Методика вимірювання температури сушильного агенту

В енергетичних установках і системах теплотехнічні вимірювання служать для безперервного виробничого контролю за роботою устаткування. При проведенні робіт з енергетичного аудиту різних систем, у яких основним об'єктивним показником відповідності їхніх експлуатаційних характеристик з нормативними вимогами або вимогами технологічних умов є температура, точність її вимірювання буде обумовлювати прийнятність подальших заходів щодо впровадження енергозберігаючих заходів. Як правило, величина температури найбільш значима в системах з потужними енергетичними потоками, в яких головним чином проводяться вимірювання ряду основних величин (тиску, температури, витрати та ін.) [14].

Температурою називається ступінь нагріву речовини. Це ствердження про температуру засновано на теплообміні між двома тілами, що перебувають у тепловому контакті. Тіло, більше нагріте, що віддає тепло, має і більше високу температуру, чим тіло, що сприймає тепло. При відсутності передачі тепла від одного тіла до іншому, тобто в стані теплової рівноваги, температури тіл рівні.

При проведенні дослідів, вимірювання температури повітря проводилося ртутним термометром.

Ртутні термометри за призначенням розділяються на промислові (технічні), лабораторні і зразкові. Основна похибка ртутних термометрів залежить від діапазону показань і ціни поділу шкали, зі збільшенням яких вона зростає. Внаслідок невеликого відхилення видимого коефіцієнта розширення ртуті в склі при зміні температури ртутні термометри мають майже рівномірну шкалу. Ртутні термометри виготовляються двох видів; із вкладеною шкалою і паличні.



Рисунок 3.3 Вимірювання температури сушильного агенту у колектору за допомогою ртутного термометра

Термометр із вкладеною шкалою має заповнений ртуттю резервуар, капілярну трубку 2, циферблат 3 з молочного скла зі шкалою і зовнішньою циліндричною оболонкою 4, у якій укріплений капіляр і циферблат. Зовнішня оболонка з одного кінця щільно закрита, а з іншого - припаяна до резервуара.

Недоліками ртутних термометрів є їхня крихкість, неможливість дистанційної передачі і автоматичного запису показань, більша інерційність і труднощі відліку через нечіткість шкали і поганої видимості ртуті в капілярі. Все це значною мірою обмежує їхнє застосування, залишаючи за ними головним чином область місцевого контролю і лабораторні вимірювання.

При вимірюванні температури в трубопроводі термометр установлювали в положення, при якому вісь труби проходить посередині резервуара. Занурення кінця термометра до центра труби, тобто в зону найбільшої швидкості потоку, поліпшує теплообмін між середовищем, що рухається.

Експериментальні дослідження процесу приготування сушильного агенту у сонячному тепловому колекторі здійснювали за допомогою лабораторної установки загальний вигляд якої наведений на рисунку 3.4



Рисунок 3.4 Загальний вигляд експериментальної установки сонячного теплового колектору

3.4. Методика лабораторно-виробничих випробувань процесу приготування сушильного агенту у сонячному колекторі

Для встановлення впливу температури навколишнього середовища, робочої площі колектору та швидкості руху повітря у сонячному тепловому колекторі на температуру сушильного агенту, було проведено лабораторно-виробничі випробування із застосуванням математичного методу планування експерименту.

Для дослідження процесу нагріву повітря і зменшення числа дослідів нами було проведено трьох факторний експеримент. Для варіювання факторів за основу було взято симетричні некомпозиційні плани Бокса-Бенкена, що являють собою комбінації дворівневих (-1,+1) повнофакторних експериментів з неповно-блоковими збалансованими планами [15].

Проведення повнофакторного експерименту вимагає проведення N дослідів:

$$N = m^k, \quad (3.1)$$

де m – кількість рівнів дослідження;

k – кількість факторів у серії дослідження.

Проведення повного факторного експерименту по трьох факторах на трьох рівнях вимагає проведення 15 дослідів. Враховуючи трудомісткість та вартість проведення дослідів, важливо було зменшити їх кількість до оптимально-необхідного значення. Цю задачу дозволяє розв'язати використання симетричного некомпозиційного плану реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку, що і було сказано вище. Для проведення трьохфакторного експерименту, згідно з вищезгаданим планом, необхідно провести 15 дослідів [15].

Планування експериментального дослідження включало такі етапи:

- кодування факторів;
- складання таблиці факторів і рівнів варіювання;
- складання матриці планування;

- реалізація плану експерименту згідно з матрицею планування;
- складання рівняння регресії для визначення коефіцієнтів;
- оцінка значущості коефіцієнтів регресії;
- перевірка адекватності отриманої математичної моделі.

Фактори та рівні варіювання наведені в таблиці таблиці 3.1.

Дослідження проводили, використовуючи матрицю планування. У розкодованому вигляді матриця планування експерименту і порядок проведення дослідів представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 - Фактори і рівні варіювання

| Рівні варіювання | Фактори | | |
|------------------------------------|--|---|------------------------------------|
| | Вхідна температура $t, ^\circ\text{C},$ | Витрата повітря $Q, \text{м}^3/\text{с}$ | Площа колектора $S, \text{м}^2$ |
| | $x_1,$ | X_2 | x_3 |
| Верхній (+1) | 30 | 0,062 | 6 |
| Нульовий (0) | 24 | 0,044 | 4 |
| Нижній (-1) | 18 | 0,026 | 2 |
| Інтервал варіювання, ε | 6 | 0,008 | 2 |

Зв'язок між кодованими і натуральними значеннями факторів встановлювався залежностями:

$$x_1 = \frac{t - t_0}{\varepsilon_1}; \quad x_2 = \frac{Q - Q_0}{\varepsilon_2}; \quad x_3 = \frac{S - S_0}{\varepsilon_3} \quad (3.2)$$

де $x_1, x_2, x_3,$ – кодові значення факторів, відповідно, вхідна температура; швидкість руху повітря та робоча площа колектора, яка безпосередньо бере участь у нагріві;

Таблиця 3.3 – Планування експерименту і порядок проведення дослідів

| Номер дослідів | Порядок проведення | Фактори | | |
|----------------|--------------------|---|--|---------------------------------|
| | | Вхідна температура $t, ^\circ\text{C},$ | Витрата повітря $Q, \text{м}^3/\text{с}$ | Площа колектора $S, \text{м}^2$ |
| 1 | 6 | 30 | 0,062 | 4 |
| 2 | 13 | 18 | 0,062 | 4 |
| 3 | 3 | 30 | 0,026 | 4 |
| 4 | 8 | 18 | 0,026 | 4 |
| 5 | 15 | 30 | 0,044 | 6 |
| 6 | 11 | 18 | 0,044 | 6 |
| 7 | 1 | 30 | 0,044 | 2 |
| 8 | 4 | 18 | 0,044 | 2 |
| 9 | 10 | 24 | 0,062 | 6 |
| 10 | 2 | 24 | 0,026 | 6 |
| 11 | 5 | 24 | 0,062 | 2 |
| 12 | 12 | 24 | 0,026 | 2 |
| 13 | 7 | 24 | 0,044 | 4 |
| 14 | 9 | 24 | 0,044 | 4 |
| 15 | 14 | 24 | 0,044 | 4 |

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати випробувань сонячного теплового колектору

З метою отримання математичної моделі процесу нагріву сушильного агенту у сонячному тепловому колекторі був проведений повітря, трьохфакторний експеримент за відомою методикою згідно з методикою [15]

Мета проведення багатфакторного експерименту полягала у встановленні температури сушильного агенту приготуваного у сонячному тепловому колекторі при зміні таких факторів як робоча площа колектору, витрата повітря сонячного колектору та температура навколишнього середовища, та .

Обробка на результатів дослідження у програмі Mathcad 14 дозволила отримати рівняння регресії вихідної температури сушильного агенту із колектору:

$$Y = 42.556 + 7.646 \cdot x_1 - 2,958 \cdot x_2 + 6.771 \cdot x_3 - 0.542 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0.181 \cdot x_1^2 + 0.472 \cdot x_2^2 - 0.319 \cdot x_3^2 \quad (4.1)$$

де x_1 – кодоване значення вхідної температури повітря;

x_2 – кодоване значення швидкості руху сушильного агенту на виході із колектору;

x_3 – кодоване значення робочої площі колектору;

Перевірка адекватності математичної моделі (4.1) проводили за допомогою критерію Фішера F_ϕ .

Розрахункове значення F_ϕ – критерію Фішера рівне : $F_\phi = 21.1$ за дисперсії неадекватності $S_{неад2} = 0.195$ та дисперсії відтворюваності досліджу $S_y^2 = 9.259 \cdot 10^{-3}$.

Табличне значення критерію Фішера за 5%- рівні значущості:

$$F_{\phi}(0,05;f_2;f_1) = 3,023 \quad (4.2)$$

де f_2 – число ступенів вільності дисперсії неадекватності ($f_2 = 5$);

f_1 – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності ($f_1 = 2$).

Так як виконується умова $F_{\phi} = 21,1 \geq F_{\phi}(0,05;f_2;f_1) = 3,023$, то модель адекватна.

Критерій Стюдента за при 5%-го рівня значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_1 = 2$ $t(0,05;2) = 4,3$.

Довірчі інтервали становлять:

$$\Delta b_0 = 0.239, \Delta b_j = 0.146, \Delta b_{jr} = 0.207, \Delta b_{jj} = 0.215 \quad (4.3)$$

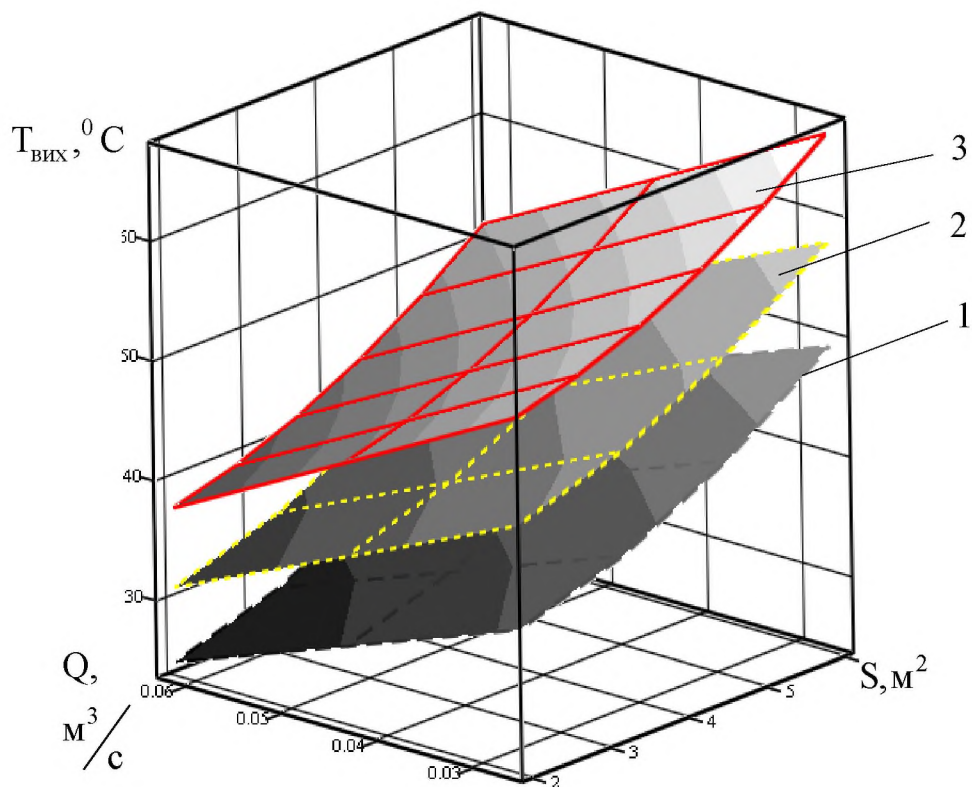
Остаточне рівняння із факторами в натуральному вигляді:

$$y(S,Q,T) = 73.75 \cdot Q^2 - 11.29 \cdot Q \cdot T - 105.24 \cdot Q + 0.48 \cdot S^2 - 0.45 \cdot S + 0.005 \cdot T^2 + 1.53 \cdot T + 13.49 \quad (4.4)$$

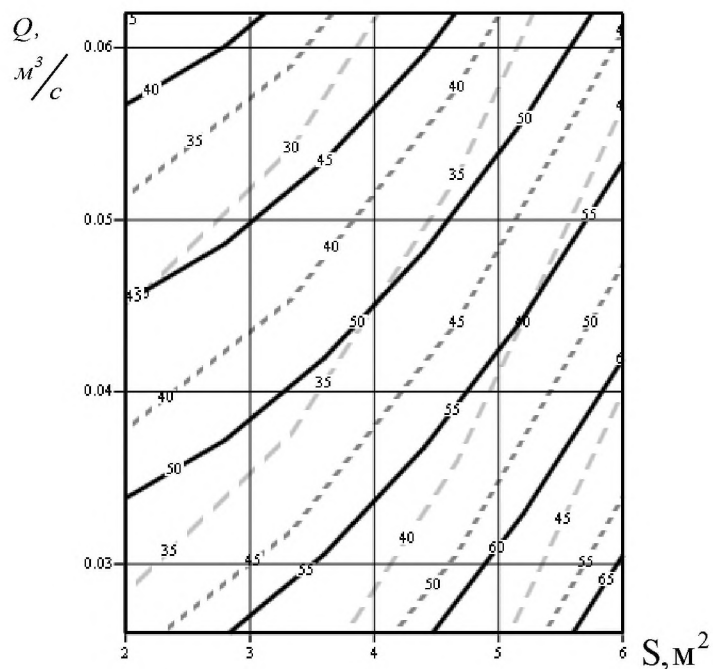
За отриманим рівнянням регресії побудовано поверхні відгуку та їх двомірні січення (рисунок 4.1).

4.3. Висновки

В результаті проведення багатофакторного дослідження встановлено, що суттєвий вплив на температуру нагріву сушильного агенту в сонячному тепловому колекторі має робоча площа колектору та витрата повітря, про що свідчать значення відповідних коефіцієнтів. Використання даних експериментальних досліджень буде використано для побудови моделі «Цифровий двійник».



а)



б)

Рисунок 4.1 Графічні залежності зміни температури сушильного агента за зміни факторів: площа колектору S , витрата сушильного агента Q при температурі

оточуючого середовища T : 1- $T=18^\circ\text{C}$; 2- $T=24^\circ\text{C}$, 3- $T=30^\circ\text{C}$

а- поверхня відгуку; б – двомірні січення

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Насіння ріпаку має дуже малі розміри та дуже чутливе до високих температур. Тому для якісного його сушіння необхідно забезпечити температуру сушильного агенту, яка не перевищувала 60°C , що є можливо забезпечити за використання сонячного теплового колектору.

На основі проведених теоретичних досліджень запропонована конструкція сонячної конвективної сушарки із сушильною камерою циліндричної форми, яка дає можливість значної економії енергоносіїв: не потребує спалювання традиційного палива для приготування сушильного агенту. Електроенергія використовується лише на привід вентилятора. Запропонована сонячна сушарка являється екологічно чистою та не здійснює шкідливих викидів в атмосферу.

Розроблена експериментальна установка сонячного теплового колектору із габаритними розмірами: довжиною 6000 мм, шириною 1000 мм, і висотою 800мм.

Розроблено комп'ютерну модель із застосуванням технології «цифровий двійник» сонячної теплової сушарки. «Цифровий двійник» дозволяє дослідити режими роботи сонячного теплового колектору на різних умовах та геометричних параметрах колектору, дослідити ефективність застосування різних матеріалів у конструкції колектору.

Найбільший вплив із розглянутих факторів на вихідну температуру сушильного агенту має робоча площа колектору та витрата повітря, про що свідчать значення коефіцієнтів при даних факторах у отриманому рівнянні регресії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Boyarchuk, V., Korobka, S., Babych, M., Krygul, R. (2019). Results of research into efficiency of a flat solar air heliocollector with a wavy absorbing surface.
2. Parrott, A., Warshaw, L. (2017). Industry 4.0 and the digital twin. Manufacturing meets its match. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>.
3. Боярчук, В. М., Коробка, С. В. (2010). Огляд і оцінка ефективності використання сонячної енергії в аграрному виробництві. Вісник Львівського національного аграрного університету, 14, 578 – 586.
4. Все про вирощування ріпаку або як підвищити його врожайність
Режим доступу: https://tetra-agro.com.ua/news/vse_pro_viroshhuvannya_ripaku_abo_yak_pidvishhiti_iogo_vroza_inist
5. Eastern-european journal of enterprise technologies. 8(97), 24-36. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154550
6. Інтенсивна технологія вирощування ріпаку - Режим доступу: <https://agro-business.com.ua/agro/item/8146-intensyvna-tekhnohohiia-vyroshchuvannia-ripaku.html>
7. Кваліфікаційна робота магістра [Текст] : методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого (магістерського) рівня освітньо-професійної програми «Агроінженерія» галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство спеціальності 208 Агроінженерія денної та заочної форм навчання / уклад. В.В. Сацюк, Р.В. Кірчук, Л.Ю. Забродоцька. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. - 60 с.

8. Коробка, С.В. (2016). Обґрунтування параметрів та режимів роботи геліосушарки фруктів [Дисертація к-та техн. наук]. Львівський національний аграрний університет, Львів, 295.
9. Мусій, Р.Й., Демчина, О.І., Сиротюк, С.В., Гальчак, В.П. (2015). Сонячні повітряні теплові колектори для екологічно чистої сушки продуктів харчування. Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій], 47 (2), 219-221.
10. Сацюк В.В, Булік Ю.В, Малянтович І.Є. Застосування технології «цифровий двійник» для моделювання сонячного теплового колектору: матеріали XIV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» 8-10 листопада 2023 року Україна, Кропивницький
11. Сацюк В.В., Малянтович І.Є. Використання сонячної енергії у сільському господарстві. Тези VII міжнародної науково практичної конференції «Енергетична безпека навколишнього середовища», м.Луцьк, ЛНТУ 2-3 жовтня 2023 року. С.10-11
12. Сацюк, В.В. (2012) Використання нетрадиційних джерел енергії у сільському господарстві. Тези XXVI науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу «Актуальні проблеми та перспективи науки і виробництва (Технічний напрямок). 152-154.
13. Супіханов Г. Б. Ріпак та продукти його переробки // Економіка АПК. — 2000. — № 1 — С. 44—46.
14. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – Київ: Вид-во УСГА. 1992. - 240с.
15. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. – К.: НМК ВО, 1992. - 320 с.

ДОДАТКИ

| Формат | Зона | Поз. | Позначення | Найменування | Кільк. | Примітка |
|--------|------|------|---------------------------|---------------------------|--------|----------|
| | | | | <u>Документація</u> | | |
| A1 | | | КАІ. ССК. 01.00.00.00 СК | Складальне креслення | | |
| A4 | | | КАІ. ССК. .00.00.00.00 ПЗ | Пояснююча записка | | |
| | | | | <u>Складальні одиниці</u> | | |
| | | 1 | КАІ. ССК. .01.01.00.00 СК | Каркас | 1 | |
| | | | | <u>Деталії</u> | | |
| | | 2 | КАІ. ССК. 01.00.00.02 | Вхідний рукав | 1 | |
| | | 3 | КАІ. ССК. 01.00.00.03 | Вихідний рукав | 1 | |
| | | 4 | КАІ. ССК. 01.00.00.04 | Дуга | 8 | |
| | | 5 | КАІ. ССК. 01.00.00.05 | Вентилятор | 1 | |
| | | 7 | КАІ. ССК. 01.00.00.07 | Направляючі полозки | 2 | |
| | | 8 | КАІ. ССК. 01.00.00.08 | Регульовальна засувка | 1 | |
| | | 9 | КАІ. ССК. .01.00.00.09 | Решітка | 1 | |
| | | | | <u>Матеріали</u> | | |
| | | 6 | КАІ. ССК. 01.00.06.00 | Світлопрозоре покриття | 1 | |
| | | 10 | КАІ. ССК. 01.00.10.00 | Металева стружка | 1 | |
| | | 11 | КАІ. ССК. . 01.00.11.00 | Світловідбиваюче покриття | 1 | |
| | | 12 | КАІ. ССК. 01.00.12.00 | Теплоізоляція | 1 | |
| | | | | <u>Стандартні вироби</u> | | |
| | | | | Шуруп 4x30 | 34 | |
| | | | | ГОСТ 1145-80 | | |
| | | | | Шуруп 5x60 | 8 | |
| | | | | ГОСТ 1145-80 | | |

| | | | | | | | | |
|-----------|------------|----------|--------|------|--|-------|---------|--|
| | | | | Т | КАІ.ССК.01.00.0000.СК | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | Малянтович | | | | Літ. | Аркуш | Аркушів | |
| Перевір. | Сацюк | | | | М | 1 | 1 | |
| Н. контр. | Юхимчук | | | | ЛНТУ, каф АІ гр. АІм -21 | | | |
| Затверд. | Сацюк | | | | | | | |
| | | | | | Сонячний тепловий колектор Складальне креслення | | | |