

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

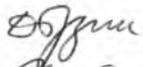
Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння
сировини в лабораторних умовах

Виконав: студент 4 курсу,
групи 401 НТ
спеціальності
144 Теплоенергетика

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Іщенко М.О. 
(прізвище та ініціали)

Керівник Гузик Д.В.  25.06.24р.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Горобець М.Т. 
(прізвище та ініціали)

Зав.кафедрою Голік Ю.С. 
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 року

Навчальний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
факультет, відділення Навчально-науковий інститут нафти і газу
спеціальність теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики
кваліфікаційний рівень бакалавр
спеціальність 144 - Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри, голова циклової
 комісії Голік Ю.С.
"13" 04 2024 року

**ЗАВДАННЯ
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Іщенко Максим Олегович

Тема проекту Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах

Керівник проекту Гузик Д.В. к.т.н. кафедри ТГВ

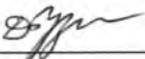
Затверджені наказом вищого навчального закладу №1481/1 -фа від "08" серпня року 2023

Строк подання студентом роботи 14.06. 2024 р.

Вхідні дані до роботи

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1) Основні способи сушіння сировини; 2 Основні поняття теорії сушки сировини; 3 Типи та
струкції сучасних сушильних агрегатів Томати та процес сушки томатної сировини;
Технологія сушки томатної сировини;

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
—	—		

6. Дата видачі завдання 13.04. 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Сучасні способи та види тепловологісної обробки сировини	13.04 – 27. 04 2024 р.	
2	Технологія тепловологісної обробки томатної сировини	28.04 – 10. 05 2024 р.	
3	Визначення енергоефективних режимів сушіння	11.05 – 1.06 2024 р.	

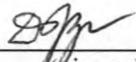
Студент


(підпис)

Іщенко М.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту


(підпис)

Гузик Д.В.

(прізвище та ініціали)

**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
бакалавра**

на тему: «Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння
сировини в лабораторних умовах».

Полтава– 2024 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота (бакалаврського) рівня вищої освіти на тему: «Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах»: пояснювальна записка на 66 с., 29 рис., 27 табл., 14 бібліографічних найменувань.;

Мета роботи – підвищення енергоефективності процесу сушіння томатної сировини, дослідження найбільш оптимального з точки зору тривалості та енерговитрат режиму сушіння в лабораторних умовах, що є актуальною задачею.

Сушіння - це тепловий процес, при якому волога видаляється з матеріалу шляхом випаровування і дифузії.

Сушіння - це комбінований тепловий і дифузійний процес.

Проблема втрати частини врожаю особливо актуальна для томатів.

Томати відносяться до найбільш швидкопсувних овочів, що вимагають особливих умов зберігання і характеризуються нестабільними умовами зберігання.

Він вимагає особливих умов зберігання і характеризується нестабільністю під час транспортування.

Характеризується нестабільністю під час транспортування. Сушіння не є поширеним методом переробки томатів.

Ключові слова: повітря, сушильний агент, сушка, сировина, температурний режим, вентилятор, калорифер, повітрообмін, температура.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ СПОСОБИ ТА ВИДИ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ СИРОВИНИ	11
1.1 Сучасні способи сушіння сировини	11
1.2 Основні поняття теорії сушки сировини	19
1.3 Типи та конструкції сучасних сушильних агрегатів	22
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ ТОМАТНОЇ СИРОВИНИ	33
2.1 Томати та процес сушки томатної сировини	33
2.2 Технологія сушки томатної сировини	38
РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ СИРОВИНИ	41
3.1 Огляд лабораторного стенду	41
3.2 Результати проведення дослідів №1	49
3.3 Результати проведення дослідів №2	51
3.4 Результати проведення дослідів №3	54
3.5 Результати проведення дослідів №4	56
3.6 Результати проведення дослідів №5	58
3.7 Порівняльний аналіз за даними проведених дослідів	61
ВИСНОВКИ	64
ЛІТЕРАТУРА	65

					401НТ-20117.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Іщенко М.О.				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Гузик Д.В.				4	6	66
Реценз.	Горобець М.Г.				НУПП ім Ю.Кондратюка		
Н. Контр.	Гузик Д.В.						
Затверд.	Голік Ю.С.						

Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах

ВСТУП

Сушіння фруктів та овочів відоме здавна в Україні сушіння овочів набуло значного поширення як сільський промисел наприкінці 19-го та на початку 20-го століть.

Сушіння картоплі, овочів і фруктів має велике значення для національної економіки.

Приблизно 75-90% свіжих овочів і фруктів містять воду.

Це призводить до того, що овочі та фрукти швидко в'януть і гниють. Якщо вміст води у фруктах можна зменшити до 18-25%, а в картоплі та овочах - до 12-14%,

Вони стають більш стійкими до мікроорганізмів, менш схильними до псування і можуть зберігатися довше за відповідних умов.

Об'єм сушених фруктів і овочів у 3-5 разів більший, ніж у свіжих фруктів і овочів, Вага від 1/5 до 1/17 від ваги сировини.



Рис.1 Загальний вид готової продукції

									Арк.
									5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401НТ-20117.ДП				

Об'єм сушених фруктів і овочів можна значно зменшити шляхом пресування або брикетування.

Сушіння овочів і фруктів під час транспортування та зберігання зменшує їхню вагу та об'єм.

Як наслідок, значно зменшуються витрати на робочу силу. Значна економія на пакуванні, складських приміщеннях і транспорті.

Раціональний підбір сортів сировини і правильна організація виробничого процесу покращує якість овочів і фруктів.

Зберігаються смакові якості та поживна цінність сушених фруктів і овочів.

Смакові якості та поживна цінність сушених фруктів і овочів залишаються високими, а трудові та часові витрати на їх підготовку та переробку

На підготовку та переробку потрібно менше праці та часу, ніж для свіжих продуктів.

Сушені овочі, картопля та фрукти використовуються у виробництві концентрованих продуктів харчування.

Використовуються у виробництві харчових концентратів, у постачанні експедиційних пунктів, а також у громадському та приватному харчуванні. Також використовуються для громадського та приватного харчування.

Сушіння овочів і фруктів виробляє наступні продукти:

Сушена картопля, сушені овочі морква, цибуля, буряк, капуста та білокачанна капуста, томати, білий корінь, пряні овочі, зелений горошок, часник тощо, сушене картопляне пюре, картопляні панірувальні сухарі. Багато овочеконсервних заводів виробляють овочеві та фруктові консерви, харчові центри, в'ялену яловичину, сушений фарш, картопляні сухарі, консерви, сушений фарш, крохмаль та інші харчові продукти.

Новим перспективним напрямком у сушінні та зневодненні фруктів є виробництво сухих пюреподібних продуктів.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це виробництво сухих пореподібних продуктів у вигляді пластівців, гранульованих і порошкоподібних продуктів а також у вигляді крупи, пластівців, гранул і порошку.

Широко використовується у виробництві дитячого харчування, дієтичного харчування, на підприємствах громадського харчування та у приватних споживачів.

Даний продукт широко використовується у виробництві дитячого та дієтичного харчування, громадському харчуванні та індивідуальними споживачами. Спеціалізується на виробництві продуктів з картоплі. Картопляна продукція: картопля заморожена для гарнірів, картопля хрустка, картопляні скибочки, картопляна соломка, картопляні котлети тощо.

Передові методи зневоднення харчових продуктів в індустрії зневоднення овочів.

Методи зневоднення харчових продуктів (сублімаційне сушіння, сушіння в киплячому шарі, сушіння у вібраційному псевдозрідженому шарі і вібраційна сушка в псевдозрідженому шарі, теплове випромінювання, мікрохвильова піч, розпилення і конденсація).

(Методи розпилення та кондукції для покращення якості та довговічності висушених продуктів).

Покращення якості та розширення асортименту сушених продуктів.

У процесі сушіння вода видаляється з сировини різними методами (механічними, фізичними, хімічними, хімічними і т.д.).

Механічні методи використовують прес або центрифугу для витискання води.

Фізико-хімічні методи - це обладнання для вилучення вологи. В основному використовується в лабораторіях.

До зневоднювачів відносяться сірчана кислота, хлорид кальцію і силікагель.

При термічних методах волога випаровується з поверхні матеріалу, дифундує в навколишнє повітря і видаляє вологу з сушарки. і дифундує в навколишнє повітря, видаляючи вологу з сушарки.

					401НТ-20117.ДП	Арк.А
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	ПідписПід	Дата		7

Сушіння - це тепловий процес, при якому волога видаляється з матеріалу шляхом випаровування і дифузії.

Сушіння - це комбінований тепловий і дифузійний процес.

Волога дифундує з середнього шару матеріалу до поверхні, через прикордонну плівку і граничну плівку.

Вона дифундує через граничну плівку і в проміжний шар газової фази.

Під час цього процесу з матеріалу виділяється значна теплова енергія. За експертними оцінками, в Україні

В Україні на сушіння витрачається близько 15% палива. Енергоефективність більшості сушильних установок становить 30-50 %. Тому підвищення технічної та енергетичної ефективності процесу сушіння має велике економічне значення.

Розрізняють природне і штучне сушіння. Природне сушіння не передбачає штучного сушіння і відбувається на відкритому повітрі.

Природне сушіння не передбачає штучного нагрівання або видалення осушувача (повітря) і відбувається на відкритому повітрі.

Осушувач (повітря) видаляється. Приклад природного сушіння: сушіння кухонної солі, прикладом природного сушіння є сушіння кухонної солі в морській воді. Цей метод полягає в тому, що

Цей спосіб сушіння характеризується тим, що він займає значну кількість часу процес не регламентований, а кінцевий матеріал досить вологий.

Штучне сушіння майже повсюдно використовується в харчових технологіях.

Зокрема, сушіння за допомогою нагрітих абсорбентів (нагріте повітря, відпрацьовані гази), абсорбція абсорбентів (нагріте повітря, відпрацьовані гази) використовуються для сушіння

Для сушіння застосовують абсорбцію осушувачів (нагріте повітря, відпрацьовані гази).

Використовуються спеціальні витяжні системи (вентилятори). Сушіння є одним з основних процесів на більшості підприємств харчової промисловості.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Його мета - підвищити стабільність під час зберігання. Якісне маркування, консервування, зниження ваги. Транспортні цілі. У бурякоцукровому виробництві сушінню підлягають наступні продукти. Цукор, цукор-рафінад і жом.

У лікєро-горілчаній промисловості відходами є сушена барда, пивні дріжджі та лікер.

Пивні дріжджі та кормові дріжджі. Сушіння відіграє важливу роль у пивоварній промисловості.

У пивоварній промисловості сушать солод і відходи виробництва. Крохмаль, основний продукт, сушать у крохмальній промисловості. Сушка використовується у виробництві сухого молока.

Сушіння використовується у виробництві сухого молока, сухофруктів, сушених овочів і фруктів, а також у виробництві сушених овочів і фруктів. і овочів, а також використовується при сушінні овочів. У хлібопекарській, макаронній і кондитерській промисловості хліб сушать для виробництва панірувальних сухарів.

У хлібопекарській, макаронній і кондитерській промисловості хліб сушать для отримання панірувальних сухарів, макаронних виробів і деяких кондитерських виробів.

Спосіб сушіння вологих матеріалів залежить в основному від способу підведення тепла і визначається фізико-хімічними властивостями цих матеріалів.

Спосіб сушіння вологих матеріалів залежить в основному від способу підведення тепла і визначається фізико-хімічними властивостями цих матеріалів. Найбільш поширеним методом є конвекція.

Найбільш поширеним методом є конвективне сушіння, яке характеризується тим, що матеріал сушиться безпосередньо (відпрацьованими газами), що характеризується прямим контактом з матеріалом. Тепло для випаровування вологи подається одночасно з газами, з яких волога поглинається.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплова енергіє передається від газів, які одночасно поглинають і видаляють водяну пару з сушарки.

Водяна пара з сушарки використовується рідше, але також у харчовій промисловості.

Контактний (кондуктивний) спосіб сушіння - передача тепла від матеріалу (зазвичай водяної пари) до матеріалу відбувається через металеву стінку, що розділяє їх. Використовується для сушіння різноманітних металевих, пофарбованих, гофрованих і картонних виробів.

Терморадіаційні методи сушіння використовуються для тонкого сушіння різних металевих, пофарбованих, картонних і харчових виробів. Тепло передається за допомогою інфрачервоного випромінювання. Товсті листи матеріалу і деякі фрукти зберігають свою форму при сушінні на місці.

Для збереження форми використовують струми високої частоти. Цей метод сушіння відомий як високочастотне сушіння.

Високочастотні струми використовуються для сушіння матеріалів, які дуже чутливі до тепла.

Сублімаційне сушіння використовується для сушіння матеріалів, які дуже чутливі до тепла. Волога оминає рідку фазу і переходить у парову фазу (сублімація). Цей процес відбувається в глибокому вакуумі.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ СПОСОБИ ТА ВИДИ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ СИРОВИНИ

1.1 Сучасні способи сушіння сировини

Сушінням називають процес видалення вологи з твердих і пастоподібних матеріалів шляхом її випаровування. Матеріалам, які висушуються при цьому вдається надати необхідні властивості:(наприклад,зменшити злежуваність добрив або поліпшити розчинність барвників), здешевити їх транспортування, а також зменшити корозію апаратури і трубопроводів при зберіганні або подальшій обробці цих матеріалів.

У хімічних виробництвах, як правило, застосовують штучну сушку матеріалів в спеціальних сушильних установках, так як природна сушка на відкритому повітрі - занадто тривалий процес.

Сушіння - складний дифузійний процес, швидкість якого визначається швидкістю дифузії вологи з глибини висушуємого матеріалу. Оскільки цей процес супроводжується підведенням тепла, він є тепломасообмінним. Вологу можна видаляти з матеріалів механічними способами (віджиманням, відстоюванням, фільтруванням, центрифугуванням).

Під час сушіння харчові продукти піддаються термічному впливу, у результаті якого відбуваються фізичні та біохімічні перетворення, що можуть впливати на властивості продукту: структуру, колір, хімічний склад, харчову цінність тощо. Як результат термічного впливу є отримання сухих продуктів, що відповідають попередньо встановленим заданим вимогам.

За способом підведення тепла до матеріалу, який сушиться розрізняють наступні види сушіння:

- 1) Конвективний - шляхом безпосереднього зіткнення матеріалу, що висушується, з сушильним агентом;
- 2) Контактне - шляхом передачі тепла від теплоносія до матеріалу через розділяючу стінку;
- 3) Радіаційне- шляхом передачі тепла інфрачервоними променями;

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

4) Діелектричне - шляхом нагрівання в полі струмів високої частоти;

5) Сублімаційне - сушка в замороженому стані в вакуумі.

6) Природне сушіння – сушка на відкритому повітрі в умовах природного освітлення, без впливу людини на фактори

1. Конвекційна сушка - це процес видалення вологи з матеріалу або виробу з використанням конвекційного тепла. Метод заснований на передачі тепла від нагрітого повітря до сухих предметів за допомогою конвекції.

Конвективний спосіб сушіння полягає у переносі теплоти у середовищі з неоднорідним розподіленням температури. При цьому способі сушіння передача тепла продукту, що висушується, здійснюється за рахунок енергії нагрітого сушильного агента – повітря чи парогазової суміші. Сушіння продуктів відбувається шляхом омивання продукту нагрітим газом, повітрям, перегрітою парою та іншими теплоносіями, що мають температуру, яка відрізняється температури продукту, що висушується. За рахунок теплової енергії, що надходить до продукту, відбувається випаровування вологи з продукту, а винос парів вологи здійснюється сушильним агентом. Перенос вологи всередині матеріалу здійснюється за рахунок неізотермічної масопровідності (вологопровідності, термовологопровідності) як у вигляді рідини, так й у вигляді пари. Конвективне сушіння може відбуватися в шарі, коли використовуються сушарки з омиванням матеріалу – продукту сушильним агентом (тунельні, камерні, петльові, валкові, турбінні, стрічкові, шахтні сушарки. Також відоме конвективне сушіння з сопловим обдуванням плоских матеріалів, у зваженому чи напівзваженому стані, яке здійснюється у сушарках. Також відоме конвективне сушіння з сопловим обдуванням плоских матеріалів, у зваженому чи напівзваженому стані, яке здійснюється у сушарках барабанного типу, установках з киплячим шаром, у пневматичних турбосушарках, у вихровому потоці та шляхом розпилення.

Однак конвективний спосіб сушіння має суттєві недоліки, які полягають у нераціональному використанні енергії сушарок, оскільки відбуваються втрати

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

тепла на нагрівання обладнання та навколишнього середовища. Зокрема, проведеним аналізом роботи конвективних сушарок виявлено високі енерговитрати, які складають від 5 МДж/кг до 8 МДж/кг, та викид відпрацьованого теплоносія в атмосферу, тепломісткість якого всього лише на 10 % – 15 % менша, ніж гарячого повітря, що подається в сушильну камеру. Недоліком також є взаємно протилежний напрямок градієнтів температури й вологовмісту, що значно зменшує швидкість процесу. Коефіцієнт тепловіддачі від сушильного агента до поверхні матеріалу має незначну величину, що призводить до неефективного використання підведеної енергії. З метою інтенсифікації конвективного способу сушіння необхідно підвищувати температуру теплоносія, що, у свою чергу, провокує перегрів продукту, особливо під час його досушування. Також при цьому способі сушіння випаровування вологи відбувається тільки з поверхні, що призводить до утворення плівки, яка ускладнює сушіння та знижує якість продукту. При цьому погіршується колір, смак та запах сушеного продукту, знижується його відновлюваність та не виключається збереження первинної мікрофлори. Висока температура та значна тривалість процесу сушіння спричиняє окислювальні процеси, спрямовані на втрату вітамінів і біологічно активних речовин, що також знижує якість продукту.

2. Кондуктивна сушка-це безпосередня взаємодія продукту з поверхнею сушильної камери, в результаті такої взаємодії відбувається інтенсивний теплообмін, який сприяє втраті вологи.

Під час кондуктивної сушки тепло передається матеріалу нагрітою поверхнею, з якою він знаходиться в безпосередньому контакті. Випаровується волога видаляється рухомим повітрям або перепадами тиску штучно генерується водяної пари (з використанням конденсаторів і вакуумних насосів). Висушений матеріал наноситься тонким шаром на гладку поверхню обертового порожнього барабана, нагрітого паром, і, коли він висихає, видаляється з нього за допомогою скребку. (2,3,4).

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Він передається безпосередньо з поверхні через провідний канал і продовжує нагріватися без будь-якого проміжного термостійкого ефекту. Процес сушіння здійснюється з високою інтенсивністю і низьким споживанням тепла. Недоліком кондуктивної сушки є ризик перегріву матеріалу, що контактує з нагрітою поверхнею і об'ємом сушарки.

Провідна сушка в м'ясній промисловості застосовується для сушіння рідких матеріалів, таких як кров (під вакуумом), желатин і клейкий сік. Це особливо корисно при сушінні липкого бульйону, оскільки немає необхідності в попередній желатинізації бульйону. При ліофілізації зазвичай використовується кондуктивний нагрів (5,6).

Фактори, що визначають швидкість і механізм кондуктивної сушки, продуктивність сушарки і якість готової продукції: температура поверхні нагріву, товщина шару, Контактна щільність і параметри повітря.

Кондуктивна сушка здійснюється в 3 етапи: нагрівання, постійна швидкість і спадна швидкість, аналогічно конвекційної сушці. Період прогріву займає близько 7-10% від загального часу висихання. Період постійної швидкості є кращим, оскільки він визначає інтенсивність і тривалість всього процесу. (Середня суха інтенсивність становить 55-80% від інтенсивності першого періоду).

Температура матеріалу коливається в залежності від товщини матеріалу і є найвищою в контактному шарі (прилеглому до поверхні нагріву) і може перегрітися.

Механізм провідного сушіння полягає в тому, що випаровування вологи відбувається на поверхні (або поблизу) шару в залежності від температури шару, оскільки волога випаровується вздовж поверхні (або поблизу) шару або по всій його товщині, коли температура шару змінюється при змінних низьких температурах (у випадку атмосферного сушіння близько 65-80°C, залежно від

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

товщини). Перенесення вологи відбувається в основному в рідкій формі. Зменшення потоку вологи в період уповільнення залежить від теплопровідності матеріалу. Динаміка вологості являє собою градієнт температури і вологості повітря (2,4).

Щільність вологого потоку визначається за формулою. При цьому температурний градієнт спрямований від поверхні нагріву до поверхні шару, в результаті чого волога переноситься на контактний шар за рахунок теплопровідності і теплопровідності теплопровідності. В результаті перенесення вологи виходить, що градієнт вологості спрямований в протилежну сторону, що перешкоджає її переміщенню з контактної поверхні шару. У зв'язку з цим волога в контактному шарі переміщується з низькою інтенсивністю у вигляді пари. У шарах, розташованих поблизу поверхні, обидва градієнта безпосередньо збігаються, збільшуючи інтенсивність припливу вологи.

3. Інфрачервона (радіаційна) сушка-це метод обробки виробів, який використовує інфрачервоні лампи як випромінювачі. Він полягає у використанні випромінювання певної довжини, перетворенні його в тепло і подачі продукту з метою сушіння.

Переваги інфрачервоної сушки:

Низькі температури розжарювання при збереженні високих коефіцієнтів перетворення енергії. Коли звичайна лампа нагрівається до 2920 К, інфрачервона лампа нагрівається до 2500 К.

Інфрачервона сушка краще конвекційних і кондуктивних методів обробки продуктів. Інфрачервона сушка значно скорочує час обробки продукту, тому волога видаляється набагато швидше. Після того, як тепла енергія проникає в капілярно-пористу структуру продукту, вона опускається на певну глибину, зазвичай 0,1-2 мм. відбувається інтенсивний теплообмін, в результаті якого видаляється великий відсоток вологи.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

У текстильній промисловості інфрачервона сушка використовується для сушіння тонких тканин. За допомогою такого обладнання часто обробляються пофарбовані металеві вироби, пофарбоване дерево, картонні та пластмасові вироби.

Існує 2 типи інфрачервоного сушильного обладнання: лампове і газове.

Лампове обладнання є найбільш енергоємним. В процесі нагрівання витрачається велика кількість енергії, вартість якої компенсується скороченням часу сушіння. Протягом певного періоду часу інфрачервона сушильна установка окупить себе.

Газове обладнання має більш просту і зручну конструкцію і низьке енергоспоживання. Коли такий пристрій увімкнено, інфрачервоне світло починає діяти, нагріваючи газ, який згорає під дією променів синхротронного випромінювання. При використанні димових газів вони не згорають, а проходять всередину випромінювача. Сухий продукт інтенсивно нагрівається, підтримуючи високий температурний поріг і викликаючи високу концентрацію вологи. Внутрішній шар продукту перешкоджає осушенню. Щоб усунути це явище, сушка запрограмована на переривчастий режим-процес сушіння розділений на кілька періодів. Перший-2-4 секунди, наступний - 20-80 секунд. Протягом короткого проміжку часу відбувається інтенсивний теплообмін з подальшим осушенням.

4. Діелектрична сушка-це метод зневоднення діелектричних матеріалів, що знаходяться в електричному полі, при якому волога видаляється за рахунок розсіюється енергії, що витрачається на їх нагрівання.

Діелектрична сушка відбувається, коли матеріал, що підлягає сушінню, не складається з частинок (наприклад, тканини) або являє собою об'єкт з великим розміром частинок (сантиметри або Дециметри) Подача тепла за рахунок конвекції, теплопровідності або інфрачервоного випромінювання в цих

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

випадках не має ефекту. Нагрівання діелектриків має унікальну здатність генерувати тепло всередині продукту. При сушінні діелектриків в якості джерела енергії використовується електрична мережа, а діелектричні пристрої генерують електромагнітні хвилі того ж типу, що і системи зв'язку. Тому в деяких західних країнах деякі частоти зарезервовані для нагрівання діелектриків.

Щоб використовувати діелектричний нагрів, повинна бути передбачена можливість передачі тепла висушується матеріалу (тобто матеріал повинен бути чутливим). Це означає, що матеріал повинен мати проміжну провідність між провідником та ізолятором (тобто він повинен бути напівпровідником). Напівпровідники також називають діелектричними матеріалами. Зв'язок між електромагнітним полем і оброблюваним матеріалом може виникати за двома механізмами: (1) орієнтація диполів і (2) орієнтація іонів (тобто нагрівання опором).² Якщо центр позитивного заряду не збігається з центром негативного заряду, то молекула має диполь. Відомим прикладом цього є молекули води. Молекули з диполями керуються електромагнітними полями, і цей рух генерує тепло при терті з сусідніми молекулами. Орієнтація іонів полягає у впливі змінного електричного поля на вільно рухомі іони. При мікрохвильовій сушці орієнтація диполя зазвичай важливіша, ніж іонна орієнтація. Діелектрики (такі як Скло та тефлон) прозорі для радіохвиль та мікрохвиль ближнього світла; провідники (наприклад, нержавіюча сталь) відбивають їх, тому їх можна використовувати для збудження мікрохвиль.

5. Сублімаційна сушка є самим передовим методом переробки продуктів. Метод сублімації був розроблений на початку 20 століття, але отримав широке застосування в останні роки через високу вартість деталей обладнання.

В основі цього методу лежить вплив низького атмосферного тиску, при якому рідина в продукті складається тільки в твердій формі і виділяється у вигляді газу без стадії рідкої фази.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В процесі сублімації заморожений продукт у вакуумному середовищі отримує температуру 0 ° С.у цих умовах лід випаровується без втрати вітамінів і мікроелементів, що містяться в продукті.

Основною галуззю застосування ліофілізації на сьогоднішній день є фармацевтика. Тут представлені лікарські препарати, ферменти, екстракти лікарських рослин, ензими і т.д. обробляється сублімацією. Завдяки сублімації вдається зберегти максимально можливий відсоток корисних властивостей цих речовин протягом тривалого часу.

Збереження роду грампозитивних факультативних анаеробних або мікроеластичних бактерій найвищої якості досягається в умовах сублімації. Ліофілізація дозволяє висушувати делікатні, нестабільні або чутливі до нагрівання лікарські засоби і біопрепарати при низьких температурах без пошкодження їх фізичної структури.

Цей тип пристроїв користується великим попитом у фармацевтичних компаній через те, що кінцевий продукт на виході має мінімальний відсоток вологості. Всього близько 5%. Такі продукти можуть зберігатися тривалий час навіть при кімнатній температурі.

Звичайні методи сушіння мають суттєві недоліки, оскільки використовувана висока температура може спричинити хімічні або фізичні зміни продукту. У разі лікарських засобів і біопрепаратів це призведе до зниження біологічної активності і виведе їх з ладу.

Продукти, сублімовані в харчовій промисловості, можуть зберігатися до 5 років. При цьому смак також залишається корисним, а ароматичні властивості не втрачаються. Варто відзначити, що усадка продуктів при ліофілізації мінімальна. При приміщенні в рідину структура продукту відновлюється. В процесі сублімації структура набуває пористий вигляд.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Сублімаційну сушарку можна використовувати не тільки в промислових умовах. Існують види обладнання, які можна легко використовувати в домашніх умовах і які не займають багато місця.

Насправді сушити можна практично все. Ліофілізовані фрукти, овочі та м'ясо мають приємний смак. Сюди входять помідори, яблука, банани, полуниця, персики, квасоля, перець, цибуля, картопля, шпинат, креветки, свинина, яловичина, індичка і навіть молочні продукти.

Сублімаційну сушку можна використовувати для обробки вже приготованих улюблених страв. Такі продукти, як лазанья, страви з рису, макарони, сир, Чилі, тушкована яловичина, курка, запіканка, креветки, омари, тушкована свинина, соус для макаронних виробів та яєчня, ідеально підходять для цього процесу.

1.2 Основні поняття теорії сушки сировини

Вологість - величина, що показує вміст вологи в матеріалі, визначений по відношенню до маси сухого матеріалу і виражена у відсотках.

Волога в матеріалі пов'язана: Пов'язана волога може існувати у таких формах:

- Хімічно пов'язана волога, що утворюється в результаті хімічної реакції;
- Фізико-хімічно пов'язана волога, що утворюється при адсорбції молекул газу через напівнепроникну оболонку;
- фізико-механічно пов'язана волога, що виникає при поглинанні пар мікрокапілярами ($r < 10^{-7}$), макрокапілярами ($r > 10^{-7}$), а також при утворенні гелю. Найбільш легко видаляється поверхнева волога і найважче – хімічно пов'язана волога. Хімічно пов'язана волога являє собою воду гідроксиду, що увійшла в результаті реакції гідратації до складу гідроксидів і структури типу

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

кристалогідратів. Цю вологу можна видалити внаслідок прожарювання. Форми фізико-хімічного зв'язку різноманітні.

Адсорбційно-пов'язана волога утримується біля поверхні розділу колоїдних частинок з навколишнім середовищем. Маючи велику площу поверхні, колоїдні структури мають велику адсорбційну здатність. Адсорбційна волога утримується молекулярним силовим полем. Адсорбція вологи супроводжується виділенням теплоти, яка називається теплотою гідратації.

Осмотично зв'язана волога, або волога набухання, знаходиться всередині скелета матеріалу та утримується осмотичними силами. Капілярно-пов'язана волога знаходиться всередині макро-і мікрокапілярів. Ця волога механічно пов'язана з матеріалом і відносно легко видаляється. Тиск пари над поверхнею матеріалу тим менше, чим міцніший зв'язок між водою та матеріалом. Найбільш міцний цей зв'язок у гігроскопічних речовин. Рівноважна вологість матеріалів. - Це здатність матеріалу утримувати вологу. Рівноважним називається вміст вологи, при якому тиск пари над матеріалом дорівнює парціальному тиску пари в навколишньому просторі. Якщо позначимо R_p – парціальний тиск водяної пари у суміші з повітрям, R_m – тиск водяної пари у суміші з повітрям.

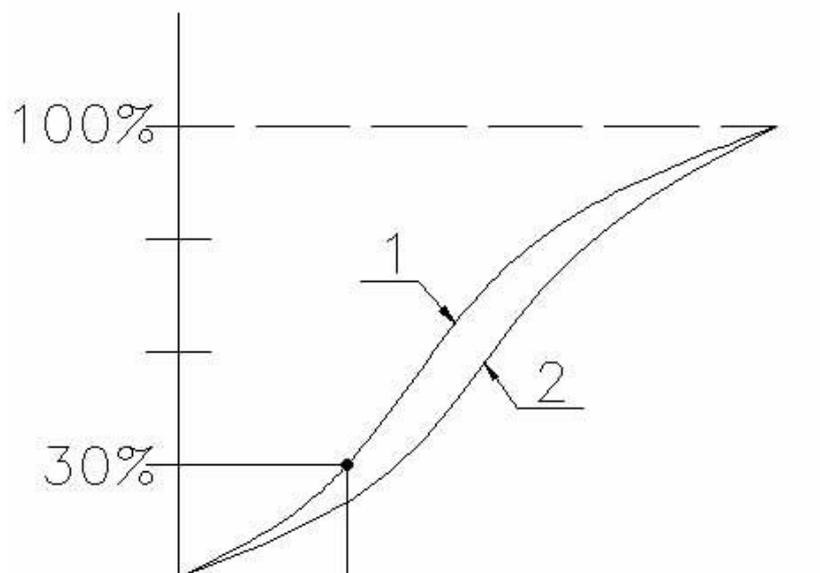
При контакті матеріалу з вологим повітрям можливі 3 стани:

$R_m < R_p$ – десорбція вологи з матеріалів довкілля, тобто. сушіння.

$R_m > R_p$ - сорбція, тобто. поглинання матеріалом вологи із довкілля, тобто зволоження.

$R_m = R_p$ - динамічна рівновага, яка характеризується рівноважним вмістом вологи. Площа між ізотермами сорбції та десорбції характеризує гістерезис, який залежить від кількості повітря сорбованими капілярами. Чим менше площа гістерези, тим ближче якісні та кількісні характеристики досліджуваного матеріалу. Перший – це тривалий метод, а другий потребує складної апаратури.

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401НТ-20117.ДП				



де: 1 - ізотерна рівноважної вологості при сорбції; 2 - ізотерна рівноважної вологості при десорбції;

Рис.2 Крива процесу сушіння

Розбіжність кривих 1 та 2 має назву сорбційний дестерезис.

Для різних темпів криві сорбції зображені на рис.1

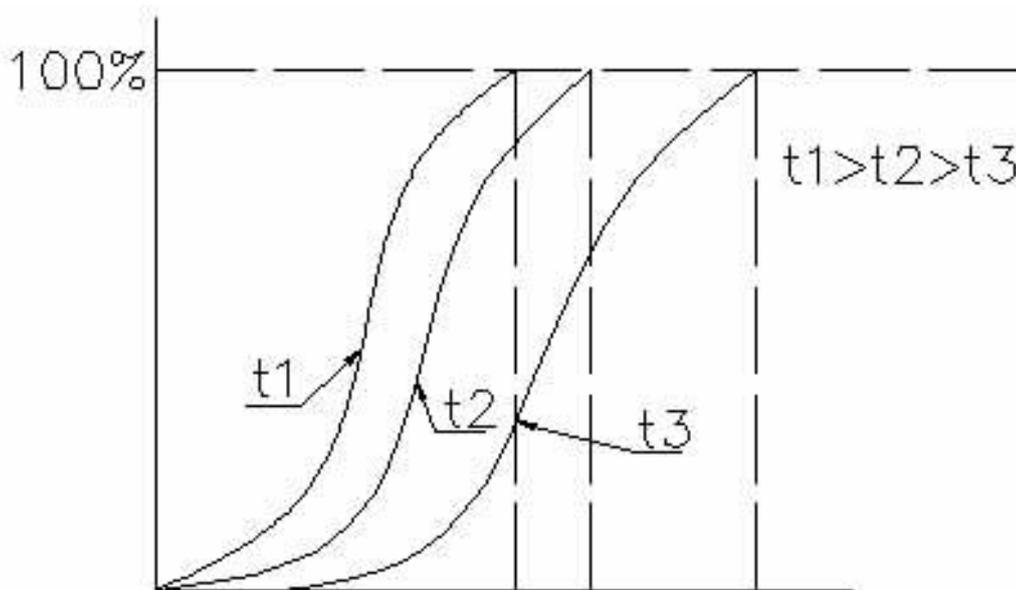


Рис.2 Характер процесу сушіння за різних умов

Рівноважна вологість матеріалу соотв. $\phi = 100\%$ називається рівноважною гідроскопічною вологістю

Розділ 1.3 Типи та конструкції сучасних сушильних агрегатів

1. Інфрачервона промислова сушильна шафа-це шафа універсального типу, призначена для виробництва високоякісних продуктів екологічної сушки, який є необхідним обладнанням для переробки сільськогосподарської продукції в харчовій промисловості, ресторанному бізнесі, хімічній промисловості або будівництві. Технологія характеризується низькими експлуатаційними витратами і високою швидкістю сушіння, а також стабільною якістю кінцевого продукту, в порівнянні з іншими видами сушіння.



Рис.3 Інфрачервона сушильна шафа

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

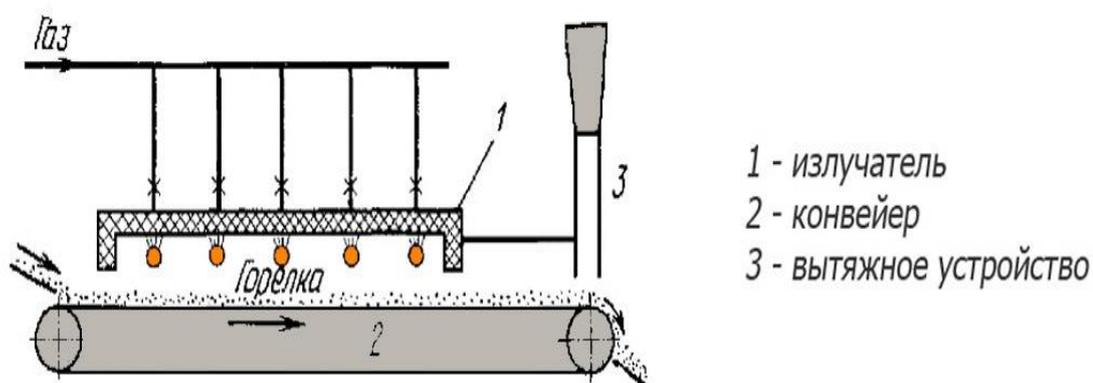


Рис.4 Схема роботи інфрачервоної сушильної шафи

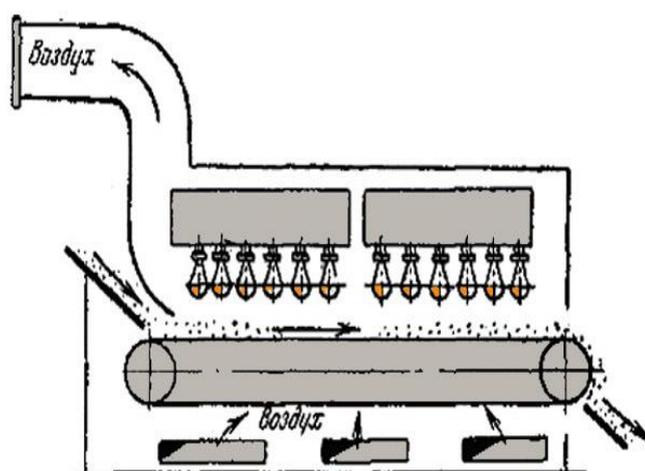


Рис. 5 Технологічна схема інфрачервоної сушильної шафи

Технологія зневоднення заснована на інтенсивному видаленні вологи з продукту шляхом впливу інфрачервоного випромінювання, при цьому висушується сам продукт, а не навколишнє повітря. Молекули води в кілька разів міцніше, ніж при конвективному осушенні, залишають тканину або матеріал, виділяються з виробу і переходять в повітря, який видаляється з камери.

При такій технології волога поступово видаляється з виробу, не руйнуючи тканинну структуру виробу.

Особлива цінність даного типу сушильного обладнання полягає в тому, що при ІЧ-сушінні немає необхідності нагрівати повітря до високої температури, а вітаміни, корисні і смакові властивості максимально зберігаються.

Для ІЧ-сушки підходять продукти як з високим, так і з нормальним вмістом вологи.

Інфрачервона сушильна шафа (дегидратор) ідеально підходить для сушіння яблук, яблучної та іншої фруктової пасти, яблучних чіпсів, груш, хурми, дині, винограду, чорносливу, бананів, цитрусових, ягід, часнику, помідорів, перцю, зелені, пряних і лікарських трав, грибів, м'ясних продуктів (снеків, чіпсів, сушене м'ясо і т.д.). рибопродукти, а також корми для тварин, фармацевтичні препарати, брикети і різні будівельні матеріали.

Інфрачервоні трубчасті випромінювачі-нагрівальні елементи встановлені на декількох рівнях в спеціальній герметичній камері сушильного шафи. Вони прогривають висушені продукти на потрібну глибину, і з них активно видаляється волога.

В середньому для вилучення 1 літра води витрачається 1 кВт електроенергії.

Особливістю ІЧ-сушки є можливість глибокого або поверхневого нагріву за рахунок регулювання спектра інфрачервоного випромінювання.

Піддон для продуктів рівномірно обдувається повітрям, що подається вентилятором. Повітря, насичене водяними парами, виводиться через повітропровід.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Рівень вологості і температура постійно контролюються датчиками.

За допомогою контролера Індивідуальна стадія сушіння складається з необхідних технічних параметрів температури і вологості в сушильній шафі.

Переваги сушильної шафи з інфрачервоним обігрівом для сушіння різних продуктів:

- 1.Отримання продуктів найвищої якості;
- 2.Скорочення часу процесу завдяки конвекційної сушці;
- 3.Низьке енергоспоживання для вилучення 1 літра вологи з продукту;
- 4.Помірний температурний діапазон;
- 5.Стерильність і відсутність патогенних мікроорганізмів;
- 6.Регульований режим і програмування процесу сушіння;
- 7.Ви отримаєте більше корисних продуктів зі збереженням смаку і аромату;
- 8.Зберігає до 90% вітамінів і поживних речовин;
- 9.Продукт ідеально підготовлений для тривалого зберігання.

2. **Барабанні сушарки** - це безперервно діючі установки з прямим теплообміном, в яких прямий або протитечійний потік газу і сировини приводить вугілля в безпосередній контакт з гарячим газом. Барабанні сушарки найчастіше використовуються на збагачувальних фабриках для сушіння будь-якої сировини, незалежно від її розміру (до 250-300 мм) і початкової вологості.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час сушіння вугілля становить 15-40 хвилин. Для запобігання вимивання висушеного матеріалу швидкість газів на виході з барабана не перевищує 2-3 м/с для тонких концентратів і 0,5-1 м/с для флотаційних концентратів. Розрідження в топці становить 19,6-29,4 Па перед барабаном, 294-392 Па після барабана, 883-981 Па перед димососом і 294-392 Па після димососа.

Питомі витрати тепла в барабанних сушарках становлять 4000-6300 кДж/кг на тонну випареної води, з них 6% - на нагрівання вугілля, 72% - на випаровування води і 22% - на втрати з димовими газами і випромінюванням. Споживання електроенергії на тонну випареної води коливається від 20 до 75 кВт-год/т.



Рис.7 Зовнішній вигляд барабанної сушарки

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

повітря подається вентилятором через канал в бічній стінці печі. Верхня частина печі також слугує камерою змішування.

Підвищення температури і швидкості потоку осушувача, а також максимальна герметизація сушильних каналів для запобігання витоку повітря покращує процес сушіння і підвищує ефективність роботи сушарки. Перевагами барабанних сушарок є висока продуктивність, ефективне використання тепла та електроенергії, висока надійність, простота конструкції та зручність експлуатації. До недоліків барабанних сушарок відносяться: громіздкість, високі капітальні витрати, подрібнення матеріалу в процесі сушіння, тривалий час контакту матеріалу з охолоджувальною водою (до 40 хвилин), наявність золи в продукті (0,2-0,7%), вологий матеріал на внутрішній поверхні барабана і насадці, пожежонебезпека і вихлопні газы. Барабанні сушарки зазвичай використовуються в згущувачах великої продуктивності.

Для кращого заповнення та перемішування сухого матеріалу всередині барабана встановлені форсунки. Лопаті встановлені на внутрішній стороні барабана (рисунок). При обертанні барабана лопаті захоплюють сировину і розподіляють її тонкими паралельними каскадами (струменями), які займають весь простір барабана. Гарячі газы між каскадами падаючої сировини безпосередньо контактують зі зволженими поверхнями частинок. Частина матеріалу залишається на дні барабана і піддається теплообміну, відмінному від матеріалу, що викидається каскадом. Кількість каскадів, що утворюються в сушильному барабані, залежить від кількості та форми лопатей. При проектуванні внутрішньої конструкції сушильного барабана необхідно враховувати щільність і об'ємні властивості матеріалу, а також рівномірно розподіляти його по перерізу барабана.

На роботу сушильного барабана суттєво впливають:

- Герметичність системи під час завантаження та вивантаження матеріалу;
- Використання відповідних форсунок.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Початкова температура газу (осушувача).
- Швидкість, з якою газ обтікає матеріал в сушарці.

Режим роботи барабанної сушарки багато в чому залежить від розміру і вологості матеріалу, що висушується. Коефіцієнт заповнення матеріалу в сушильному барабані становить від 0,15 до 0,25. Температура сушильного агента до 1100 °С, швидкість сушильного агента на виході з барабана не більше 5 м/с, 0,5-1 м/с для дрібних матеріалів, щоб уникнути знесення, температура сушильного агента на виході з сушарки 70-150 °С, час сушіння 15-40 хв, швидкість обертання барабана 1-6 об/хв (відповідна частота обертання). (Час сушіння матеріалу в барабані підбирається таким чином, щоб він відповідав встановленому часу сушіння).

Технічний розрахунок барабанної сушарки полягає у визначенні загального необхідного об'єму.

Переваги барабанної сушарки:

- Висока швидкість випаровування води
- Висока продуктивність зі стабільним кінцевим вмістом вологи
- Простота обслуговування
- Низьке енергоспоживання.

Недоліки барабанної сушарки:

- Шум від роботи обладнання. Кінцевою сировиною після барабанної сушарки є морська сіль.

Конвекційні сушарки - найпоширеніший варіант цього обладнання. Принцип роботи полягає в наступному. Гаряче повітря постійної температури нагнітається вентилятором від нагрівального елемента для зневоднення продукту.

						401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			30

Електричний нагрівач призначений для сприяння нагріванню продуктів у шафі та досягнення заданого режиму роботи. Після досягнення заданого режиму роботи електронагрівач вимикається.

Тепловий насос перекачує теплову енергію в герметичній камері, не випускаючи її в атмосферу. Це забезпечує високу ефективність установки. Конденсація і видалення зібраної вологи також відбувається всередині промислових сушарок. Ця волога, вилучена з продукту в умовах низькотемпературного сушіння (до 80°C), є біологічно активною рідиною (БАЛ) і має самостійну цінність.

Галузь застосування:

1. Харчова промисловість. Сушіння продуктів харчування (ягоди, фрукти, овочі; м'ясо, птиця, риба; гриби, горіхи; крупи, макарони, снеки, чіпси, нарізка).

Сушіння продуктів харчування (риби, м'яса, фруктів, овочів).

Виробництво готової продукції та напівфабрикатів для харчової промисловості.

2. Сільське господарство. Сушіння комбікормів, зернових, висівок, шротів тощо.

3. Фармацевтична промисловість. Сушіння лікарських рослин (коріння, трави, квітів, листя). Сировина для біологічно активних добавок. Отримання біологічно активних рідин. Збори, рослинні чаї.

Переваги конвекційної сушарки: поєднання практичності та доступності. Деякі моделі мають як два нагрівачі, так і один.

Недоліки конвекційної сушарки: Немініатюрні пристрої, які займають багато місця і складні в транспортуванні. Тепло, яке потрапляє в сушарку з повітрям, швидко розсіюється і не встигає повністю віддаватися, оскільки повітря циркулює з великою швидкістю.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ ТОМАТНОЇ СИРОВИНИ

2.1 Томати та процес сушки томатної сировини

Томати - найпопулярніша овочева культура в усьому світі. Томати характеризуються широким асортиментом сортів та їхньою чутливістю до методів вирощування. Наразі відомо багато сортів томатів, Волове серце, гібрид Ларрі F1, Гном, Дубрава, Енігма, Ляна, Кримсон Лампа, Томатний рожевий, Хурма та Сифомандра. Вони мають високі органічні характеристики та хороші технічні властивості. Характеристики томатів: Томати містять 4-6% сухої речовини, 0,6-1,6% білка і 0,84% клітковини, 0,84% клітковини, 0,03-0,23% пектину, вітамін С (20-40 мг). Незрілі плоди томатів містять глікозиди соланін і томатин. Томатин. Також присутні вітаміни К, РР, В, В2 і В3. До складу шкірки і м'якоті томатів входять М'якоть томатів містить хлорофіл і каротиноїди. Червоний пігмент лікопін, оранжево-жовтий β -каротин і ксантофіли. Мінерали включають калій, натрій, магній, фосфор, залізо, кобальт і цинк, кобальт, цинк тощо.

Однак, незважаючи на величезну популярність томатних продуктів серед населення, термін їх зберігання в натуральному вигляді дуже обмежений.

Незважаючи на популярність продуктів з томатів, термін їх зберігання в натуральному вигляді дуже обмежений.

Проблема втрати частини врожаю особливо актуальна для томатів.

Томати відносяться до найбільш швидкопсувних овочів, що вимагають особливих умов зберігання і характеризуються нестабільними умовами зберігання.

Він вимагає особливих умов зберігання і характеризується нестабільністю під час транспортування.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Характеризується нестабільністю під час транспортування. Сушіння не є поширеним методом переробки томатів.

Однак потреба у виробництві сушених томатів постійно зростає. Томати з більшості основних країн-виробників - сушені томати.

Сушені томати широко використовуються в громадському харчуванні як інгредієнт піци, супів, салатів, соусів і харчових концентратів для перших і других страв.

Як інгредієнт піци, супів, салатів, соусів і харчових концентратів для перших і других страв.

Сушені томати використовують як інгредієнт харчових концентратів для перших і других страв. Останні роки.

В останні роки томатні продукти привертають велику увагу як об'єкт досліджень завдяки своїй високій біологічній цінності, антиоксидантним властивостям і функціональності.

В останні роки томатні продукти привертають увагу як об'єкт досліджень завдяки своїй високій біологічній цінності, антиоксидантній активності та функціональним властивостям.

Функціональні властивості. Особливий інтерес викликають сушені томати.

Томати містять біологічно активні антиоксиданти (лікопін, β -каротин, вітамін С, поліфеноли та флавоноїди),
вітамін С, поліфеноли і флавоноїди), оскільки вони містяться в концентрованому вигляді.

Найбільшу цінність має лікопін не тільки завдяки своїм антиоксидантним властивостям, але й лікувально-профілактичним.

Може використовуватися у виробництві

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Може використовуватися у виробництві функціональних продуктів харчування та біологічно активних добавок до харчових продуктів продуктів харчування.

Зростаючий інтерес споживачів до здорових і зручних продуктів харчування сприяє підвищенню попиту на якісну продукцію сприяє зростанню попиту на якісну продукцію. Тому для того, щоб отримати сушені помідори високої якості, їх треба правильно висушити.

Вони повинні бути правильно висушені. Помідори чутливі до тепла і при сушінні томати чутливі до тепла і при сушінні втрачають свій колір і аромат, що призводить до втрати цінних поживних речовин і скорочення терміну зберігання.

Скорочення терміну зберігання Промислове сушіння – це процес повинен бути налагоджений на основі знань про хімічний склад і термін зберігання томатів.

Він повинен бути встановлений на основі знання хімічного складу томатів і деталей змін, що відбуваються в процесі переробки. Він повинен бути встановлений на основі знання хімічного складу томатів та особливостей їх перетворень під час переробки. В даний час найбільш поширеним видом сушіння для сушіння овочевої продукції є сушарка. Найбільш поширеним видом сушіння для сушіння рослинної продукції є сушарка. Конвекційні сушильні установки характеризуються простотою конструкції та експлуатації, а також можливістю працювати від різних джерел енергії. Вони прості в експлуатації і можуть працювати від різних джерел енергії.

В той же час, вони мають ряд недоліків, серед яких:

- Значні тепловтрати через відпрацьоване повітря,
- Залежність продуктивності сушарки від вологості повітря.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Залежність ефективності сушарки від вологості повітря, негативний вплив гарячого повітря на якість кінцевого продукту.

Зазначені вище недоліки конвективного сушіння обумовлені специфікою взаємодії гарячого повітря з продуктом, що сушиться.

Недоліки конвективного сушіння обумовлені специфікою взаємодії гарячого повітря з продуктом, що висушується, на різних етапах процесу сушіння. Початкові стадії сушіння на початкових стадіях процесу сушіння взаємодія дуже ефективна, енергоємність низька, а швидкість сушіння досить висока.

Однак у міру висихання продукту і, відповідно, зниження тепло- і масообмінних властивостей, взаємодія посилюється.

Зі зменшенням тепло- і масообмінних властивостей швидкість теплової енергії використовується менш ефективно. Енергоємність процесу зростає, значно збільшується час сушіння і відбувається локальний перегрів продукту (в першу чергу його поверхні).

Відбувається локальний перегрів продукту (в першу чергу його поверхневого шару). Це безпосередньо безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту. Тому у випадку з харчовими продуктами

Збільшення часу і температури процесу сушіння призводить до втрати харчової цінності продукту (скорочується термін зберігання поверхневого шару).

Втрата поживної цінності продукту (скорочується термін зберігання корисних речовин і вітамінів у продукті); і

Втрата харчової цінності продукту (скорочення терміну зберігання корисних речовин і вітамінів у продукті); погіршення органічних властивостей

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продукту (локальна зміна кольору, злипання).

Погіршення органічних властивостей продукту (локальна зміна кольору, злипання окремих частинок тощо).

(наприклад).

Конвективне сушіння характеризується досить складним одночасним процесом масо- і теплообміну.

Характеризується одночасним масо- і теплообміном. Конвективне сушіння передбачає

Неізотермічне перенесення вологи, тобто режим нагріву вологого матеріалу створює градієнт вологості у вологому матеріалі, а також тепловий градієнт у вологому матеріалі.

У разі неізотермічного перенесення вологи, тобто коли режим нагріву вологого матеріалу викликає в ньому не тільки градієнт вологості, але і градієнт температури

Якщо режим нагріву вологого матеріалу викликає в ньому не тільки градієнт вологості, але і градієнт температури, то перенесення вологи в матеріалі відбувається за градієнтом вологості (як градієнтом температури, так і градієнтом температури) шляхом перенесення за градієнтом вологості (явища вологопровідності або концентраційної дифузії) і перенесення за градієнтом вологості (явища вологопровідності або концентраційної дифузії) і перенесення концентраційна дифузія) і перенесення за градієнтом температури. (явища теплової вологопровідності або теплової дифузії)

Теплова провідність вологи призводить до того, що волога переміщується вздовж напрямку теплового потоку.

У випадку конвективного сушіння виникає градієнт температури, протилежний градієнту вологості, перешкоджає міграції вологи з внутрішньої

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частини матеріалу на поверхню.

Це запобігає перенесенню вологи з внутрішньої частини матеріалу на поверхню.

Враховуючи вищевикладене, з метою удосконалення технології. З метою удосконалення технології переробки томатів нами було проаналізовано можливість сушіння томатів за щадним технологічним режимом.

Нами було проаналізовано можливості сушіння томатів за м'яким технологічним режимом з метою збереження цінних компонентів сировини.

У зв'язку з цим були удосконалені наступні питання:

- Актуальним є питання вдосконалення способів сушіння, що дозволяють зберегти максимальну кількість фізіологічно цінних компонентів.
- Завдання полягає в удосконаленні способів сушіння, які максимально зберігають речовину.

2.2 Технологія сушки томатної сировини

Щоб приготувати в'ялені помідори в дегідраторі, необхідно 8-12 годин. Кількість томатів залежить від потужності сушарки, її конструкції сорту томатів.

Оскільки томати мають до 90% вологи по масі їх об'єм та вага можуть зменшитись в результаті сушки до 10 разів

У більшості випадків з 4-5 кг свіжих помідорів виходить 400-500 г сушених томатів.

Якщо потрібно зібрати більше, вправні господині перекладають сушені плоди на інші піддони для пресування. Порожні піддони заповнюють тонко нарізаними свіжими помідорами і виймають їх по одному в міру нагрівання. Ви можете зробити це самостійно.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Процес сушки томатної сировини не є лінійним і потребує постійного контролю, параметрів процесу сушіння, в харчовій промисловості цей процес поділяють на етапи:

1. Частки розкласти на піддонах зрізаною частиною нагору. Укласти максимально щільно. Скласти піддони на сушарку та закрити кришкою.
2. Виставити температуру та таймер. Найкраще починати з 40 градусів. Поступово збільшувати до 50-70°C, але не більше.
3. Періодично перевіряти стан плодів. Якщо сушарка з вертикальним обдуванням, необхідно час від часу змінювати лотки місцями. Щоб помідори стали в'яленими, потрібно від 8 до 12 години.
4. Дістати помідори із сушарки. Дати їм охолонути.
5. У цей час підготувати заправку. У олію додати спеції та трохи нагріти суміш, не доводячи до кипіння. Потрібно лише трохи підігріти, під дією температури аромат приправ краще розкриється.
6. Порізати або подрібнити часник. Додати до пряної олії.
7. Взяти банку, якщо плануєте зберігати довго, обов'язково стерилізовану. На дно покласти трохи часнику, зверху шар в'ялених томатів. Утрамбувати. Присолити (якщо не робили цього спочатку). Кожен шар залити запашною олією, заповнивши під зав'язку і щільно закривати кришкою.
В середньому 8-10 годин. Чим соковитіший плід, тим більше знадобиться часу для повного висушування.

В таблиці 1 наведено стадії процесу сушіння томатної сировини

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Таблиця 1 Стадії процесу сушіння томатів

Час, год	Температура, °С	Стан
2-3 год	30-40°С	Лише трохи підсушився зріз, можна збільшувати температуру
6-8 год	40-50°С	Томати втрачають більшу частину вологи, але ще трохи зменшуються у розмірі
10-12 год	60-70°С	До готовності
12-14 год	40 -50°С	До готовності

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ СИРОВИНИ

3.1 Огляд лабораторного стенду

Для дослідження процесу сушіння в лабораторії кафедри "Теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики" Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» була використана конвективна сушарка камерного типу. Загальний вигляд стенду показано на (рис. 11).

Основним компонентом сушарки є камера (рис. 12), в яку поміщається сировина і залишається нерухомою протягом усього процесу сушіння [1].

Для регулювання повітряного потоку в камері використовувався вентилятор Systemair KV 160 M на базі частотно-регульованого приводу. Для отримання необхідної температури повітря використовувався електричний нагрівач AeroStar SEN 50-25/22,5. Цей нагрівач має дев'ять нагрівальних елементів загальною потужністю 22,5 кВт. У даному дослідженні використовувалися тільки три ТЕНи по 2,5 кВт кожен. Основний корпус сушильної камери виготовлений з дерева, а зсередини покритий фольгою, щоб зменшити втрати тепла через випромінювальні компоненти.

Двері камери мають вікно для візуального спостереження за процесом і фіксації температури всередині камери. Стенд також оснащений трьома спиртовими термометрами для контролю температури, щоб вона не виходила за межі температурного режиму [6].

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



Рис. 11. Загальний вид стану: 1 – сушильна камера, 2 - повітряний нагнітач, 3 - електричний калорифер,
4 – спиртовий термометр, 5 – частотний регулятор обертів, 6 – оглядове віконце



Рис. 12. Камера сушіння: 1 – лампа «холодного світла», 2 – спиртовий термометр, 3 – решітка для сировини

Метою даного дослідження температурного режиму є визначення можливостей регулювання кількісних та якісних параметрів роботи сушарки, а саме температури та витрати повітря.

Температурний режим під час проведення натурних вимірювань

Другий параметр - швидкість повітря (за рахунок зміни швидкості повітря), яка змінювалася за допомогою частотного перетворювача.

На кожному етапі вимірювали температуру при зміні швидкості повітря. Сам експеримент проводився в три етапи з увімкненими одним, двома і трьома нагрівальними елементами відповідно. За результатами випробувань було побудовано графік зміни температури в камері в залежності від витрати осушувача (рис. 13). [6]

Крім того, сушильні камери були перевірені за допомогою термографічного пристрою, щоб перевірити рівномірність роботи сушильних камер.

Розподіл температури на поверхні робочої секції випробувального стенду. Фотофіксація цих випробувань показана на рис. 13.



Рис. 13. Знімок стенду з тепловізора

Аеродинамічні дослідження. На другому етапі було перевірено аеродинамічні характеристики стенду та визначено "зони застою".

Наприклад, були проведені лабораторні випробування для візуалізації руху повітря в камері, щоб дослідити розподіл повітряного потоку в сушильній камері. Для дослідження розподілу потоку в різних площинах по висоті камери, короткі пасма були рівномірно прикріплені до сушильної рами. Сушильну

										Арк.
										43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401НТ-20117.ДП					

рамку розміщували по всій висоті сушильної камери, вмикали вентилятор і проводили візуальні спостереження через оглядове вікно для виявлення "застійних зон" (рис. 14). Результати експерименту підтвердили наявність таких зон. Для запобігання утворенню "застійних зон" та забезпечення рівномірного потоку повітря в камері були встановлені шибери для вирівнювання напрямку потоку повітря по всій висоті камери, щоб всі секції стенду могли сушитися одночасно [6].



Рис. 14. Зображення «Застійних зон»

Дослідження процесу сушіння. Було проведено серію експериментів для визначення ступеня впливу об'єму та температури повітря на процес сушіння. Умовами для кожного експерименту були постійна теплова потужність, постійна температура абсорбенту (повітря) протягом усього експерименту і однаковий час сушіння. Основними факторами, на яких ґрунтувалися польові випробування, були якість продукції та її вага з часом. За основу було прийнято дві з половиною години для проведення кожного дослідження. Для сушіння були використані помідори тепличні (рис. 15).

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Для початку експерименту сировину (томати) потрібно зняти з них плодоножку, промиваємо помідори під проточною водою і витираємо рушником насухо. Це потрібно для того, щоб не залишилося води. Нарізаємо помідори кружальцями товщиною 0,6-0,7 мм.

Дослід був проведений при сталій тепловій потужності та температурі протягом експерименту за включенням цього без зміни швидкості повітря цих трьох експериментів.



Рис.15 Підготовка сировини для сушіння

До початку кожного експерименту заздалегідь вмикався стенд для встановлення в сушильній камері сталого температурний режиму, на першому етапі досліду було обрано температуру 40 °С а на другому 50 °С. Перед розміщенням в камері порції сировини її було попередньо зважено (рис.8). В ході досліджень проводилось вимірювання маса сировини через встановлений

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проміжок інтервалу сушіння, а саме кожні півгодини проведення експерименту. Сировину на решітку було розкладено тонким шаром для більш рівномірного висушування по всій площі решітки (рис.17)



Рис.16 Розміщення сировини на решітку



Рис.17 Зважування сировини

Після підготовки та зважування сировини ми кладемо підніс в сушильну камеру де і настає етап експерименту сушіння (рис.11). Через заданий проміжок часу ми маємо перевіряти стан томатів та на стан температури в середині сушильної камери та зовні (рис.12-13) , температура не повинна

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

падати нище заданної тобто (30-40°) .Сировина як правило втрачає свою масу при сушінні а отже ми маємо кожного разу її зважувати та записувати данні в таблицю.

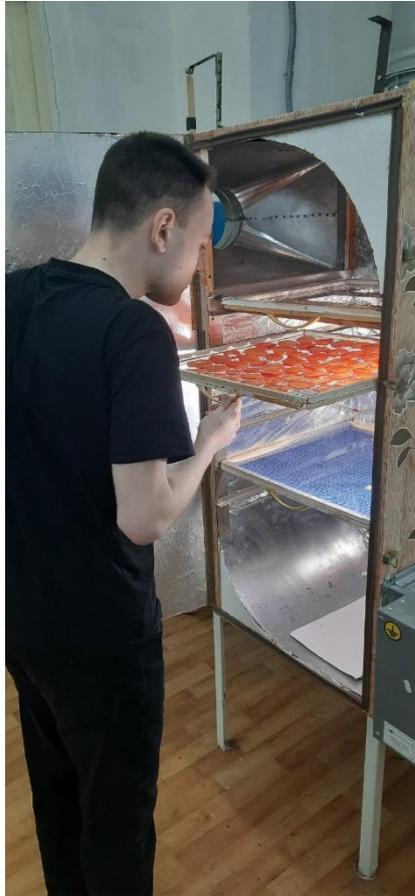


Рис.18 Розміщення підносу з сировиною в сушильну камеру

					401НТ-20117.ДП	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 19 Забір температури в сушильній камері.



Рис.20 Забір температури ззовні сушильного апарату

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.2 Результати проведення досліду №1

Перший варіант досліду був проведений наступним чином:

Сушіння було проведене в сушильному апараті на протязі 3 годин (180 хв) з температурою 35-40 градусів із включеним третім ТЕНОм з потужністю (2,5кВт),



Рис. 21 Підготовка томатної сировини до сушіння

Кожні 30 хвилин ми діставали та зважували сировину для нових даних. Потім під кінець процесу сушіння процес був вимушено перерваний а дослід був продовжений на гравітаційну сушку на декілька днів. Після повернення до досліду сировина втратила більшість своєї маси за рахунок високої природньої температури, після чого було вирішено досушити сировину ще 2 години (120 хв) до повної втрати своєї маси під температурою 50°C та при включеними

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

другим та третім ТЕНами з сумарною потужністю (5 кВт). Щоб визначити скільки було витрачено електроенергії за весь дослід треба , 2,5 кВт помножити на 270 хвилин або 4,5 год.

Таблиця 2 Дані дослід №1

№ З/П	t хв	m рамки (const)	m помідорів	t кам	t зовн	V м/с	L м ³ /год
1	0	0,595	0,787	35	38	3,5	252
2	30	0,595	0,706	35	39	3,5	252
3	60	0,595	0,619	36	41	3,5	252
4	90	0,595	0,540	36	41	3,5	252
5	120	0,595	0,457	38	42	3,5	252
6	150	0,595	0,384	38	42	3,5	252
7	180	0,595	0,076	50	48	3,5	252
8	210	0,595	0,056	50	50	3,5	252
9	240	0,595	0,047	50	50	3,5	252
10	270	0,595	0,037	50	50	3,5	252

Таблиця 3 Розрахунок кількості та вартості спожитої енергії на процес сушки у сушильній камері під час проведення дослід №1

Споживач	Потужність N, кВт	Час, t хв	Енерговитрати E, кВт год	Вартість спожитої енергії, грн
Електричний нагрівач (ТЕН)	2,5	180	7,5	60
Електричний нагрівач (ТЕН)	5,0	120	10	80
Вентилятор SYSTEMAIR KV 160	0,029	270	0,14	1,12
			Разом	141,12

До переваг можна віднести тільки відсутність затрати електроенергії на сушку сировини на протязі гавітаційної сушки, що є добре для економії та збереження коштів. До недоліків можна віднести те що більша частина сировини може бути непридатною до вживання та покритися пліснявою через те що крім високої температури ще є волога яка прискорює розмноженню бактерій. За результатами цього досліді було побудовано графік який вказаний на рис.21.

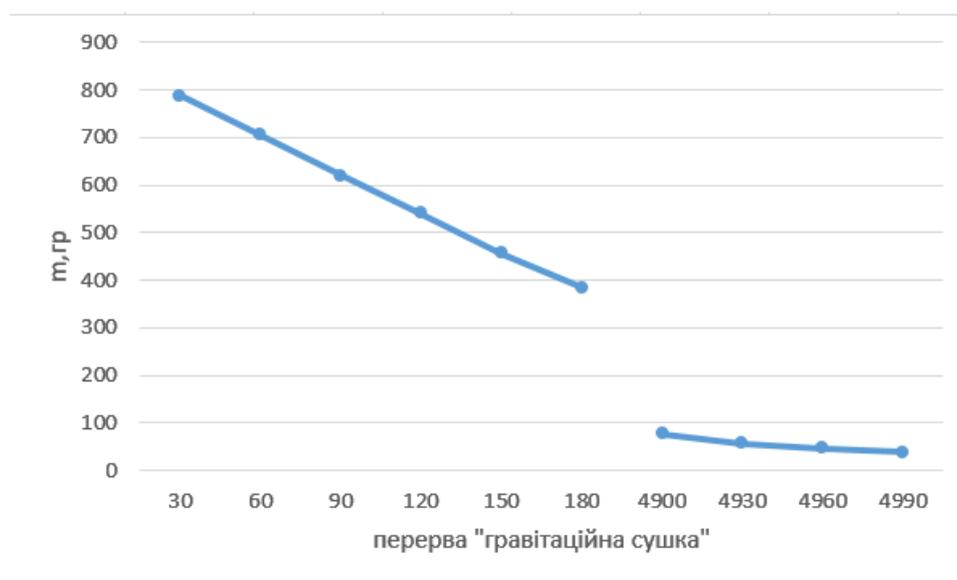


Рис.22 Графік процесу сушіння сировини досліді №1

3.3 Результати проведення досліді №2

Витрачено 4,5 годин часу (270хв). На протязі усього експерименту було включено другий та третій ТЕН з потужністю (2,5 кВт).



Рис.23 Включення електричних ТЕНів для розігріву

Таблиця 4 Дані досліду №2

№ З/П	t хв	m рамки (const)	m помідорів	t кам	t зовн	V м/с	L м ³ /год
1	0	0,595	0,706	50	49	5,0	360
2	30	0,595	0,546	51	51	5,0	360
3	60	0,595	0,405	53	52	5,0	360
4	90	0,595	0,289	51	52	5,0	360
5	120	0,595	0,192	51	53	5,0	360
6	150	0,595	0,123	51	52	5,0	360
7	180	0,595	0,076	51	51	5,0	360
8	210	0,595	0,053	52	53	5,0	360
9	240	0,595	0,040	52	54	5,0	360
10	270	0,595	0,036	53	55	5,0	360

Таблиця 5 Розрахунок кількості та вартості спожитої енергії на процес сушки у сушильній камері під час проведення досліду №2

Споживач	Потужність N, кВт	Час, t хв	Енерговитрати E, кВт год	Вартість спожитої енергії, грн
Електричний нагрівач (ТЕН)	2,5	270	12,5	100
Електричний нагрівач (ТЕН)	2,5	270	12,5	100
Вентилятор SYSTEMAIR KV 160	0,042	270	0,189	1,51
			Разом	201,51

На протязі усього експерименту ми тримали включеними два ТЕНи , якщо один ТЕН має поужність 2,5 кВт то два ТЕНи мають сумарну потужність 5 кВт що тягне за собою збільшення експлуатаційних витрат електроенергії. Зрештою отримавши високоякісну сушку де не було плісняви та яку можна вживати не хвилюючись за своє здоров'я що є великим плюсом. Графік даного досліду було представлено на рис.14

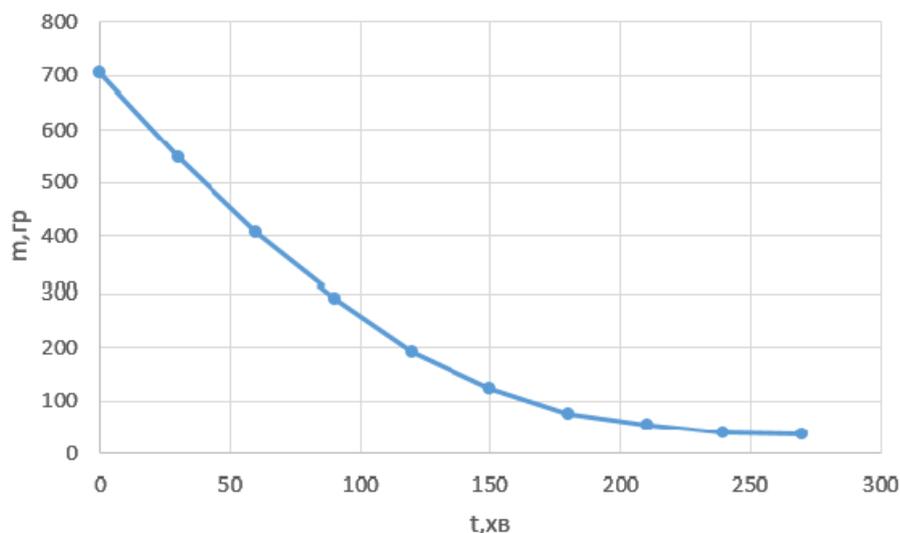


Рис.24 Графік процесу сушіння сировини дослідів №2

3.4 Результати проведення дослідів №3

Даний варіант дослідів було виконано з метою визначення за кількості маси що втратить сировина якщо її приправити харчовою сіллю та висушити при температурі 30°C, для дослідів була взята харчова сіль. На початку експерименту нам треба підготувати сушильну сировину (помідори 1кг), зняти з них плодоножку, і ретельно їх вимити та витерти рушником, далі необхідно нарізати помідори товщиною (0,6-0,7мм) , розмістити їх на сушильну рамку та додати харчову сіль. Перед початком сушіння сировини треба ввімкнути сушильний апарат в даному експерименті був використаний лише один ТЕН під номером 2 з потужністю 2,5 кВт і отримати 30 градусів °C в сушильній камері .

Після підготовки сушильного апарату і отриманої заданої температури ми можемо покласти сушильну рамку з сировиною в сушильну камеру.



Рис.24 Процес зняття показників температури

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Після чого кожні 30 хвилин ми повинні витягувати сушильну рамку з сировиною і робити заміри. Заданий час було 4,5 годин і наша задача була в'яснити, чи зможе посолена сушильна сировина втратити свою масу до кінця.

З впевненістю можливо сказати що сушильна сировина не змогла витратити свою масу шляхом сушіння за 4,5 годин, через додавання харчової солі що поглинула в себе всю вологу що стало великою перешкодою до повного зневоднення томатів за заданий проміжок часу.

Таблиця 6 Дані дослідів №3

№ З/П	t хв	m рамки (const)	m помідорів	t кам	t зовн	V м/с	L м ³ /год
1	0	0,595	0,750	30	31	5,0	360
2	30	0,595	0,637	30	31	5,0	360
3	60	0,595	0,543	31	33	5,0	360
4	90	0,595	0,465	31	34	5,0	360
5	120	0,595	0,388	31	37	5,0	360
6	150	0,595	0,325	32	40	5,0	360
7	180	0,595	0,265	32	40	5,0	360
8	210	0,595	0,218	32	40	5,0	360
9	240	0,595	0,175	32	40	5,0	360
10	270	0,595	0,140	32	40	5,0	360

Таблиця 7 Розрахунок кількості та вартості спожитої енергії на процес сушки у сушильній камері під час проведення дослідів №3

Споживач	Потужність N, кВт	Час, t хв	Енерговитрати E, кВт год	Вартість спожитої енергії, грн
Електричний нагрівач (ТЕН)	2,5	270	12,5	100
Вентилятор SYSTEMAIR KV 160	0,042	270	0,189	1,51
			Разом	101,51

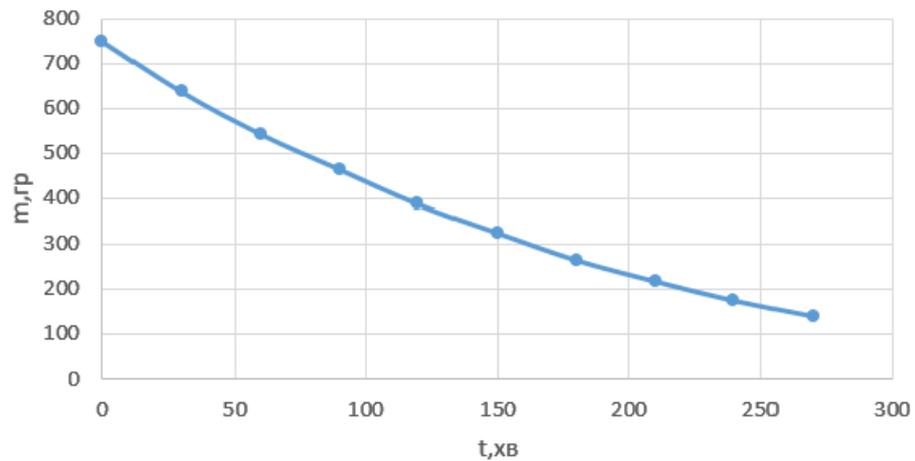


Рис. 23 Графік процесу сушіння сировини дослід №3

За аналізами цього експерименту можна зазначити що великим недоліком було використання харчової солі яку використовували на початку експерименту, і завдяки неї ми не змогли за 4,5 годин повністю висушити помідори. А що на раунок електроенергії , було включено один ТЕН з потужністю (2,5кВт) , і щоб визначити вартість витратили грошей та електроенергії необхідно виконати розрахунок.

3.5 Результати проведення дослід №4

Даний варіант дослід було виконано з метою визначення за кількості маси що втратить сировина висушити при температурі 30°C на протязі 6 годин. На початку експерименту нам треба підготувати сушильну сировину (помідори 1кг), зняти з них плодоножку, і ретельно їх вимити та витерти рушником, далі необхідно нарізати помідори товщиною (0,6-0,7мм) , розмістити їх на сушильну рамку. Перед початком сушіння сировини треба ввімкнути сушильний апарат в даному експерименті був використаний лише один ТЕН під номером 2 з потужністю 2,5 кВт і отримати 30 градусів в сушильній камері .

Після підготовки сушильного апарату і отриманої заданої температури

ми можемо покласти сушильну рамку з сировиною в сушильну камеру, після чого кожні 30 хвилин ми повинні витягувати сушильну рамку з сировиною і робити заміри. Заданий час було 6 годин і наша задача була в'янути, чи зможе посушена сушильна сировина втратити свою масу до кінця.

Таблиця 8 Дані дослідів №4

№ З/П	T хв	m рамки (const),г	m помідорів,г	t _{кам} °C	t _{зовн} °C	V м/с	L м ³ /год
1	0	0,595	0,765	30	36	5,0	360
2	30	0,595	0,652	30	36	5,0	360
3	60	0,595	0,557	30	36	5,0	360
4	90	0,595	0,479	30	37	5,0	360
5	120	0,595	0,410	30	37	5,0	360
6	150	0,595	0,350	30	38	5,0	360
7	180	0,595	0,297	30	38	5,0	360
8	210	0,595	0,250	30	38	5,0	360
9	240	0,595	0,208	30	38	5,0	360
10	270	0,595	0,172	30	38	5,0	360
11	300	0,595	0,141	30	38	5,0	360
12	330	0,595	0,121	30	38	5,0	360
13	360	0,595	0,105	30	38	5,0	360

Таблиця 9 Розрахунок кількості та вартості спожитої енергії на процес сушки у сушильній камері під час проведення дослідів №4

Споживач	Потужність N, кВт	Час, t хв	Енерговитрати E, кВт год	Вартість спожитої енергії, грн
Електричний нагрівач (ТЕН)	2,5	360	15,0	120
Вентилятор SYSTEMAIR KV 160	0,042	360	0,189	1,51
			Разом	121,51

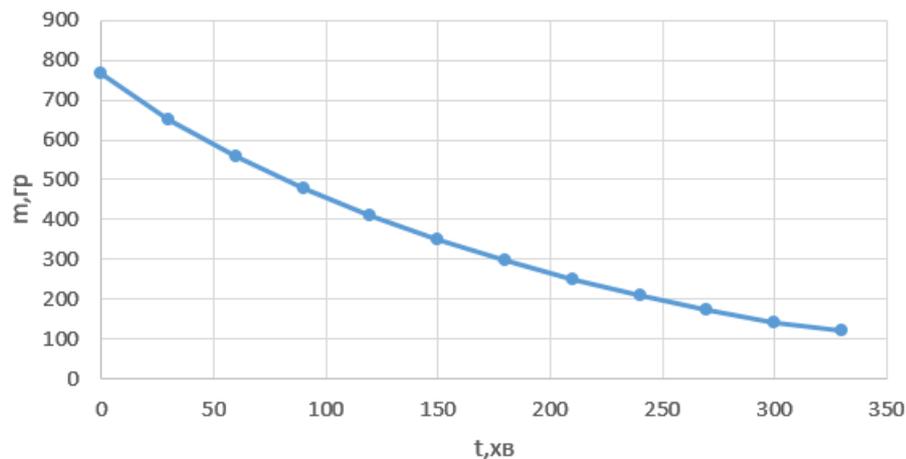


Рис. 24 Графік процесу сушіння сировини досліді №4

3.6 Результати проведення досліді №5

Даний варіант досліді було виконано з метою визначення за кількості маси що втратить сировина висушити при температурі 40-45°C на протязі 4,5 годин. На початку експерименту треба підготувати сушильну сировину (помідори 1кг), зняти з них плодоножку, і ретельно їх вимити та витерти рушником, далі необхідно нарізати помідори товщиною (0,6-0,7мм) , розмістити їх на сушильну рамку. Перед початком сушіння сировини необхідно ввімкнути сушильний апарат в даному досліді був використаний один ТЕН під номером 2 та з потужністю 2,5 кВт зменшили продуктивність вентилятора на 30% і отримали температуру повітря 40 °C в сушильній камері .

Після підготовки сушильного апарату і нагріву до заданої температури була розміщена сушильна рамка з сировиною в сушильну камеру, після чого кожні 30 хвилин ми повинні витягувати сушильну рамку з сировиною і робити заміри. Заданий час було 4,5 годин і метою даного досліді було визначення енергоефективного режиму процесу сушіння сировини



Рис.25 Готова продукція після сушки

Таблиця 10 Дані досліду №5

№ З/П	t хв	m рамки (const)	m помідорів	t кам	t зовн	V м/с	L м ³ /год
1	0	0,595	0,700	40	43	3,5	252
2	30	0,595	0,559	40	45	3,5	252
3	60	0,595	0,457	40	45	3,5	252
4	90	0,595	0,358	40	45	3,5	252
5	120	0,595	0,301	40	45	3,5	252
6	150	0,595	0,213	40	45	3,5	252
7	180	0,595	0,162	40	45	3,5	252
8	210	0,595	0,139	40	45	3,5	252
9	240	0,595	0,109	40	45	3,5	252
10	270	0,595	0,087	40	45	3,5	252

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

401НТ-20117.ДП

Арк.

59

Таблиця 11 Розрахунок кількості та вартості спожитої енергії на процес сушки у сушильній камері під час проведення досліду №5

Споживач	Потужність N, кВт	Час, t хв	Енерговитрати E, кВт год	Вартість спожитої енергії, грн
Електричний нагрівач (ТЕН)	2,5	270	12,5	100
Вентилятор SYSTEMAIR KV 160	0,029	270	0,13	1,04
			Разом	101,04

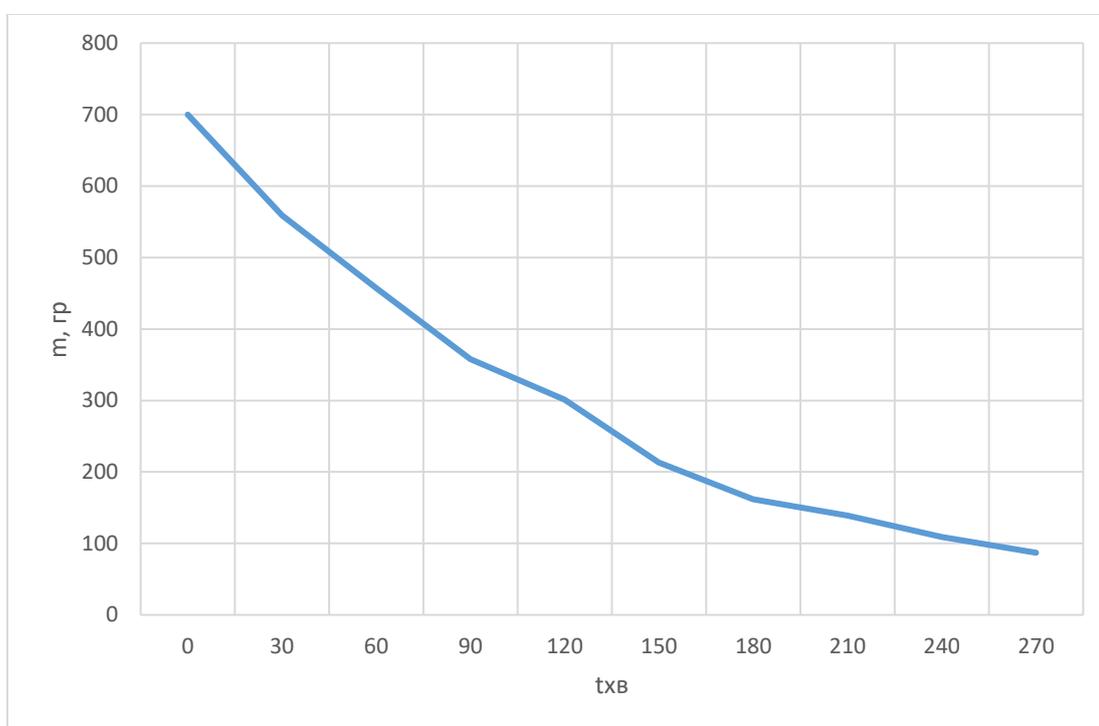


Рис. 26 Графік процесу сушіння сировини дослідів №5

3.7 Порівняльний аналіз за даними проведених дослідів

Для визначення найбільш енергоефективного режиму процесу сушіння сировини за результатами проведених досліджень на рис.1 зображено суміщений графік процесу сушки томатів

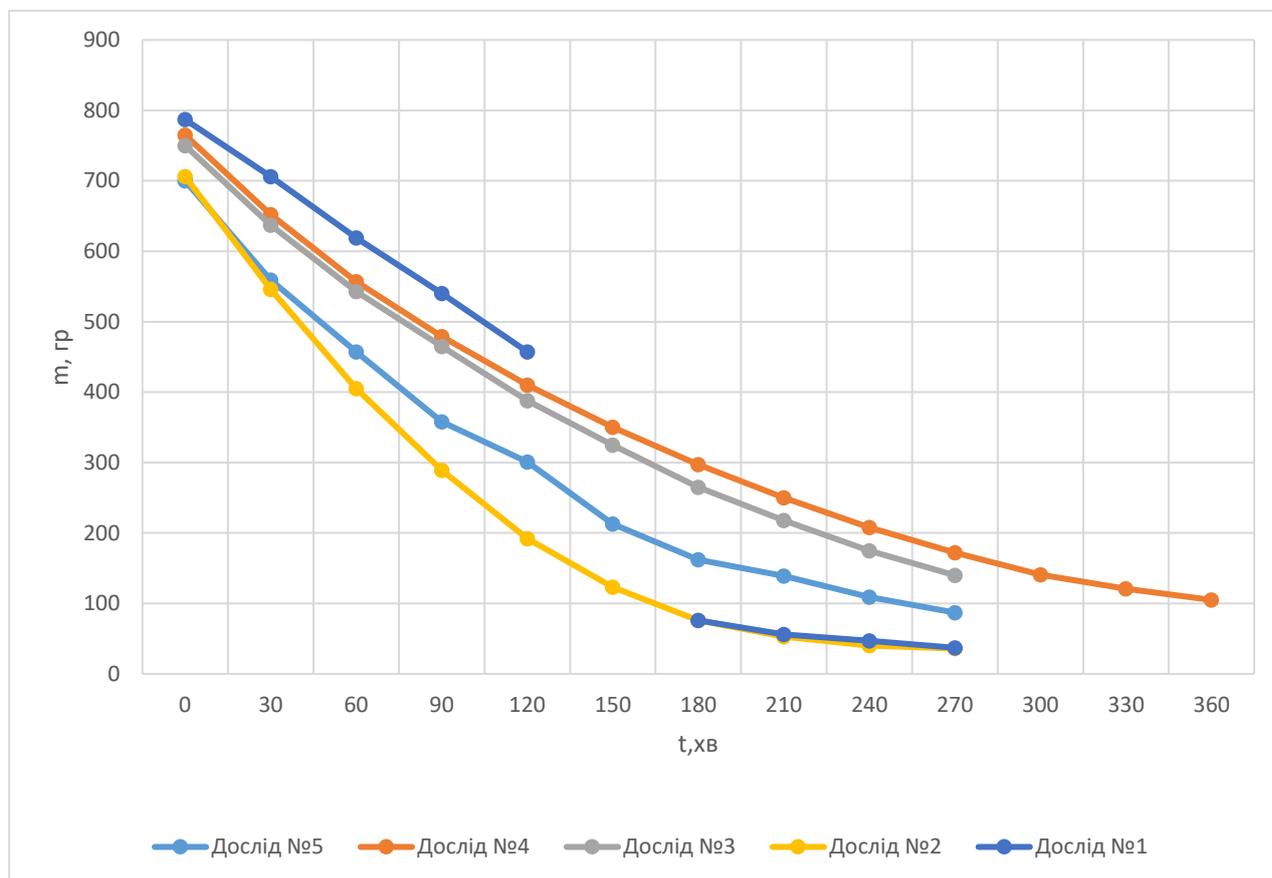


Рис.27 Суміщений графік процесу сушіння сировини дослідів №1-№5

Наведені лінії на графіку процесу сушіння характеризують ступінь та динаміку сушки сировини. Оскільки в досліді №1 був перерваний процес сушки через що продукція була не придатна до вживання брати його до порівняння з іншими дослідями – не доцільно.

Як показує характер кривих процесу сушіння не є рівномірним де основна кількість вологи висушується в перші 3 години і для подальшої оптимізації процесу сушки необхідно використовувати кількісно-якісне регулювання температури та кількості сушильного агента.

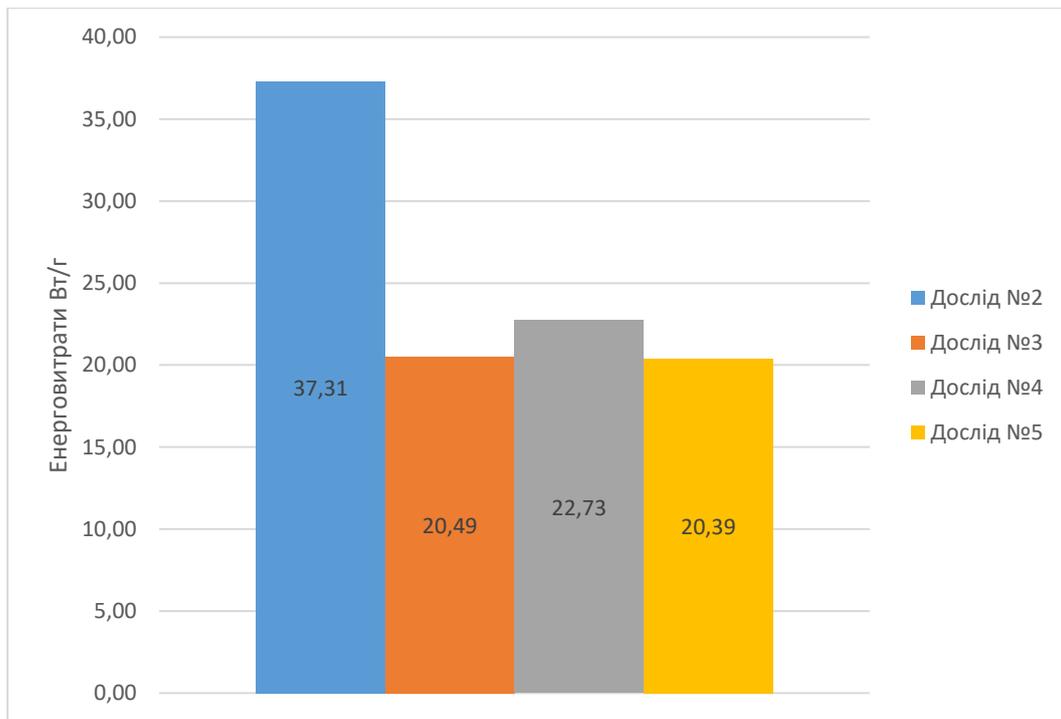


Рис.28 Питомі енерговитрати на видалення вологи з томатної сировини

За результатами проведених досліджень можна зробити попередні висновки, що найбільш енергоефективним є режим сушіння томатів був отриманий за умов дослідів №3 та №5, а саме: при температурі 30°C та 50 °C відповідно (рекомендована 30-50°C), різна температура досягається шляхом регулювання продуктивності вентилятора та швидкості руху сушильного агенту для дослідів №5 - 3,5м/с а для дослідів №3 - 5,0м/с . При таких параметрах агента сушки втрачається найбільше вологи, а з точки зору технології сушіння ми не вийшли за рамки рекомендованого температурного режиму.

Також при проведенні дослідів була затрачена однакова кількість теплової енергії, і дивлячись на графік (рис. 8) де наведено кількість витраченої електричної енергії та її вартість.

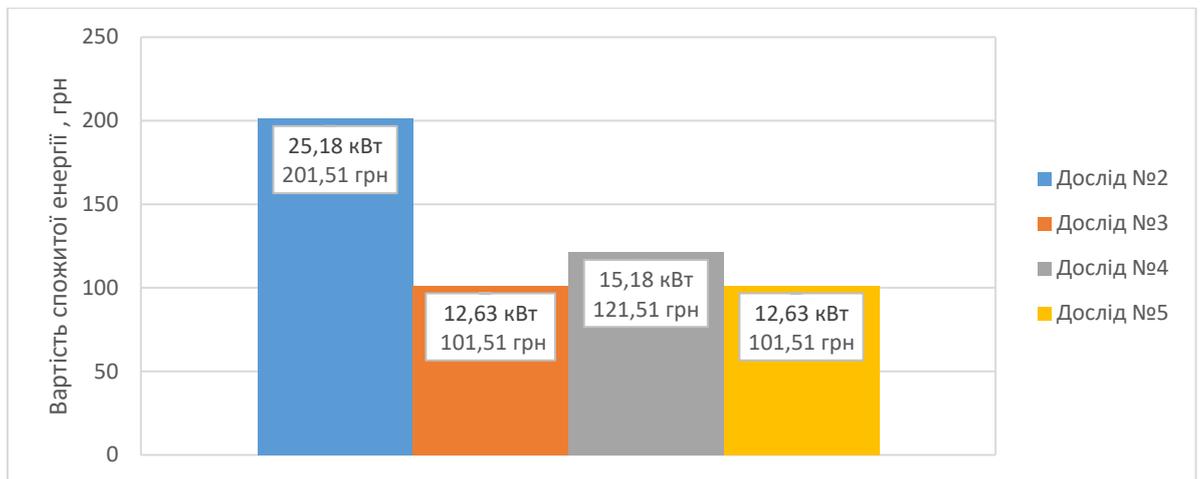


Рис.29 Діаграма кількості та вартості спожитої електричної енергії

Єдиним недоліком досліду №3 є довготривалість у порівнянні з дослідом №5.

ВИСНОВКИ

За результатами проведених дослідів можна зробити наступні висновки:

- Аналіз способів сушіння з точки зору тривалості отримання кінцевого продукту дає перевагу на користь збалансованого режиму сушіння між температурою та кількістю агента сушіння, в рамках технології процесу сушіння.
- Для оптимізації процесу сушіння необхідно використовувати кількісно-якісного регулювання параметрів (температура та кількість повітря) агента сушіння.
- Процес сушіння має бути безперервним за для уникнення псування сировини
- Процес сушіння при максимальних температурах, в рамках технології процесу сушіння, призводить до збільшення енерговитрат.
- Конвективно-примусова сушка дає можливість скоротити тривалість сушки сировини

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ЛІТЕРАТУРА

1. С.Й.Ткаченко, О.Ю.Співак «Сушильні процеси та установки»
2. О.С. Бессараб , В.В Шутюк «Технологія сушіння плодів та овочів»
3. Б. А. Левченко «Тепломасообмінні апарати та установки»
4. А. С. Гинзбург «Розрахунок та проектування сушильних установок харчової промисловості»
5. А. С. Гинзбург, М.А Громов, Г.И Красовская «Тепло физические характеристики пищевых продуктов»
6. А. С. Гинзбург. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1985. –
7. Г. А. Меджидовна , М.М. Салманович , К.Г. Иванович «Теоретическое обоснование и разработка технологии щадящей сушки томатного сырья с максимальным сохранением исходных полезных свойств»
8. Ломейко О.П , Стручаев М.І. , Ялпачик В.Ф. «Вивчення класифікації, конструкції та дії сушарок»
9. Тарасенко Т. А , Євлаш В. В , Неміріч О. В. «Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів»
10. Дяченко Э.П., Алексанян И.Ю., Разин О.А. ,Иванова М.И., «Исследование влияния конвективного энергоподвода на интенсивность инфракрасной сушки плодов томата»
11. Бурич О., Берки Ф. «Сушка плодов и овощей»
12. Сажин Б.С. «Основы техники сушки»
13. Гузик Д.В. Експериментальні дослідження процесів сушіння фруктів / Д.В. Гузик, А.В. Рибалка / Збірник наукових праць матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми сучасної теплоенергетики»

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

присвяченої 100-річчю професора Бориса Харлампієвича Драганова, 10-11 грудня 2020, р., за організацією Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, 2020. С. 155-170.

14. Ткаченко С. Й. Сушильні процеси та установки : навч. пос./ С. Й.Ткаченко, О. Ю.Співак. – Вінниця: ВНТУ, 2009.

					401НТ-20117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Національний університет полтавська політехніка імнеі
Ю.Кондратюка
Факультет нафти і газу

Графічні матеріали

Кваліфікаційної роботи на тему :Визначення енергоефективних режимів процесів
сушіння сировини в лабораторних умовах

Виконав студент групи 401-НТ

Іщенко Максим

В даній роботі буде розглянуто питання:

Актуальність сушіння сировини

Досліджені фактори що впливають на процес сушки сировини

Визначення енергоефективних режимів сушіння

					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Виконав		Іщенко М.О.					2	17
Перевір.		Гузик Д.В.						
Н. контр.		Гузик Д.В.						
Затверд.		Голік Ю.С.						
						НУПП ім Ю.Кондратюка		

Мета роботи – підвищення енергоефективності процесу сушіння томатної сировини, дослідження найбільш оптимального з точки зору тривалості та енерговитрат режиму сушіння в лабораторних умовах, що є актуальною задачею.

Загальний вид готової продукції



Сушіння - це тепловий процес, при якому волога видаляється з матеріалу шляхом випаровування і дифузії.

Сушіння - це комбінований тепловий і дифузійний процес.

Проблема втрати частини врожаю особливо актуальна для томатів.

Томати відносяться до найбільш швидкопсувних овочів, що вимагають особливих умов зберігання нестабільними умовами зберігання.

					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Виконав		Іщенко М.О.					3	17
Перевір.		Гузик Д.В.				НУПП ім Ю.Кондратюка		
Н. контр.		Гузик Д.В.						
Затверд.		Голік Ю.С.						

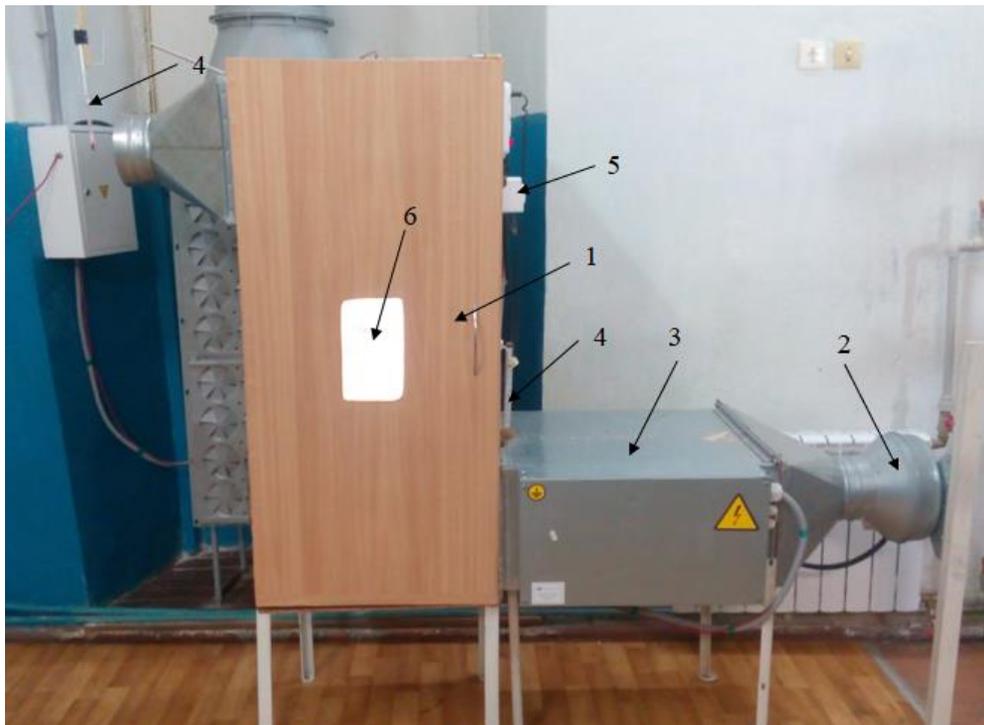
Актуальність питання

- Враховуючи вищевикладене, з метою удосконалення технології переробки томатів нами було проаналізовано можливість сушіння томатів за щадним технологічним режимом.
- Нами було проаналізовано можливості сушіння томатів за м'яким технологічним режимом з метою збереження цінних компонентів сировини.
- У зв'язку з цим були удосконалені наступні питання:
- Актуальним є питання вдосконалення способів сушіння, що дозволяють зберегти максимальну кількість фізіологічно цінних компонентів.
- Завдання полягає в вдосконаленні способів сушіння, які максимально зберігають речовину.

					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Виконав		Іщенко М.О.					4	17
Перевір.		Гузик Д.В.						
Н. контр.		Гузик Д.В.						
Затверд.		Голік Ю.С.						
						НУПП ім Ю.Кондратюка		

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ СИРОВИНИ

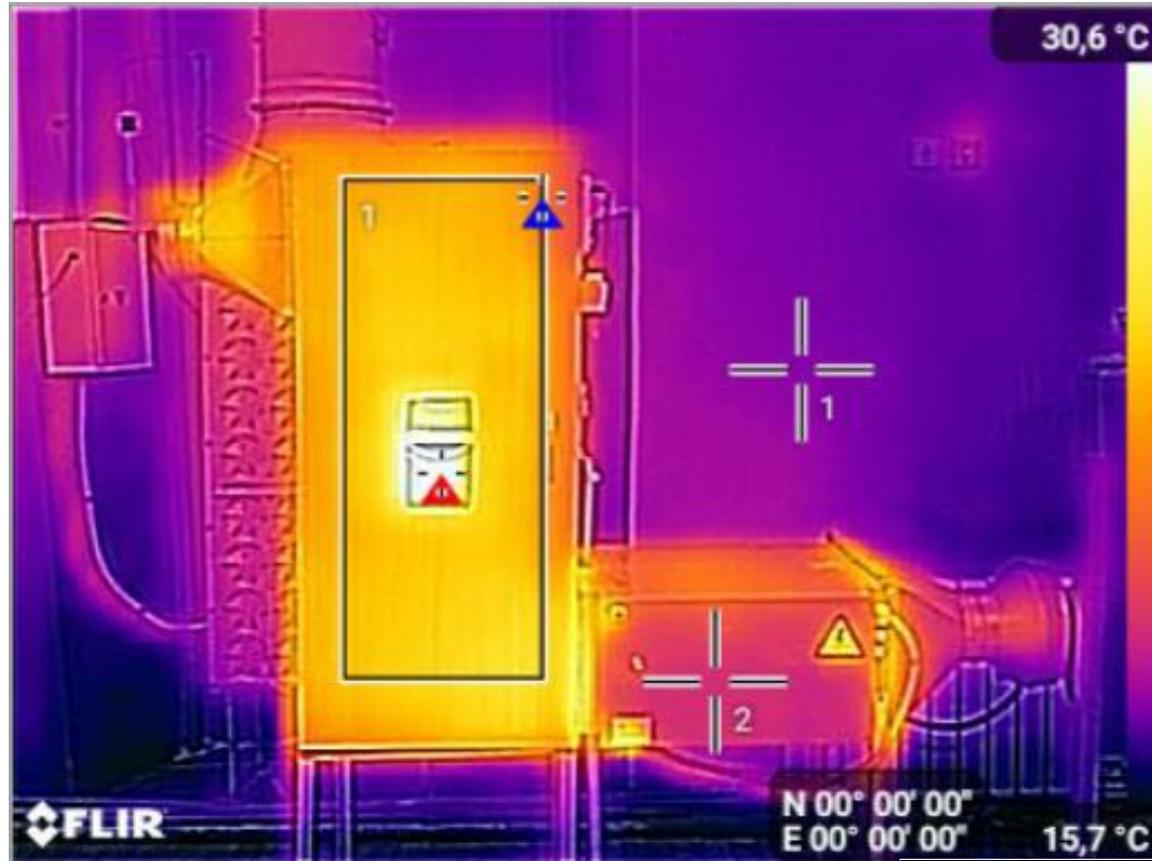
Загальний вид стенду



- 1 – сушильна камера, 2 - повітряний нагнітач, 3 - електричний калорифер, 4 – спиртовий термометр, 5 – частотний регулятор обертів, 6 – оглядове віконце
- Дослідження процесу сушіння. Було проведено серію експериментів для визначення ступеня впливу об'єму та температури повітря на процес сушіння.

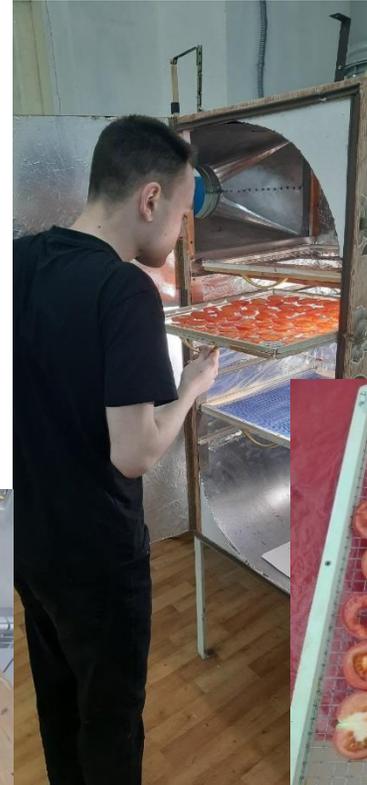
					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Виконав		Іщенко М.О.					5	17
Перевір.		Гузик Д.В.				НУПП ім Ю.Кондратюка		
Н. контр.		Гузик Д.В.						
Затверд.		Голік Ю.С.						

Дослідження роботи стенду



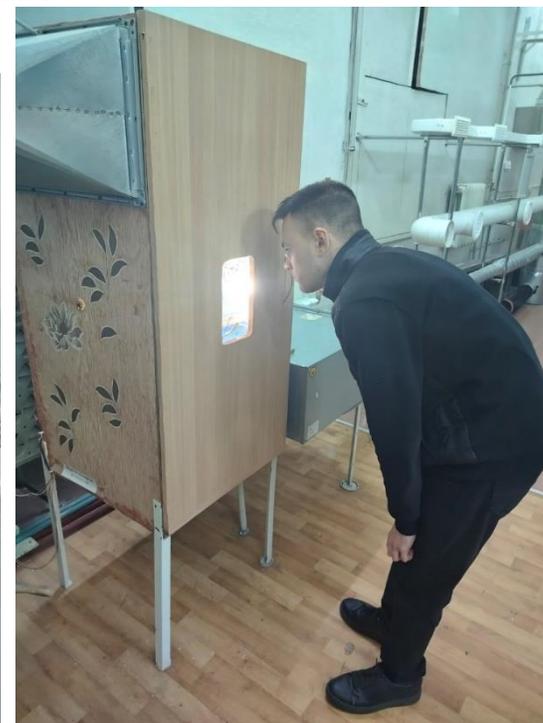
					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Виконав		Іщенко М.О.					6	17
Перевір.		Гузик Д.В.				НУПП ім Ю.Кондратюка		
Н. контр.		Гузик Д.В.						
Затверд.		Голік Ю.С.						

Процес підготування томатної сировини до процесу сушіння



					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Виконав		Іщенко М.О.					7	17
Перевір.		Гузик Д.В.						
Н. контр.		Гузик Д.В.						
Затверд.		Голік Ю.С.						
						НУПП ім Ю.Кондратюка		

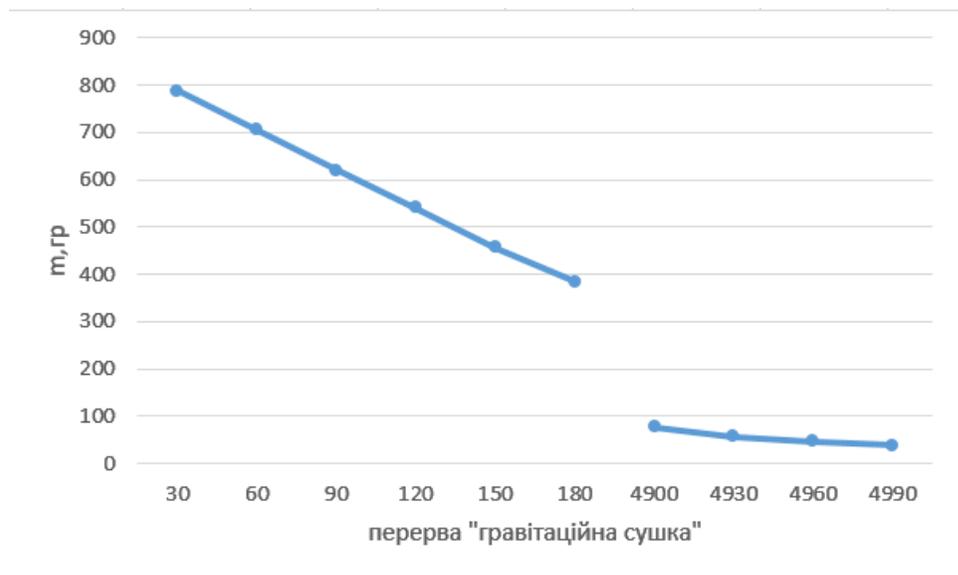
Процес сушіння томатної сировини



					401НТ-20117.ДП				
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах			Літера	Арк.	Аркушів
Виконав	Іщенко М.О.							8	17
Перевір.	Гузик Д.В.						НУПП ім Ю.Кондратюка		
Н. контр.	Гузик Д.В.								
Затверд.	Голік Ю.С.								

Результати проведення дослідів №1

Графік процесу сушіння сировини дослідів №1



Сушіння було проведене в сушильному апараті на протязі 3 годин (180 хв) з температурою 35-40 градусів із включеним третім ТЕНом з потужністю (2,5кВт),

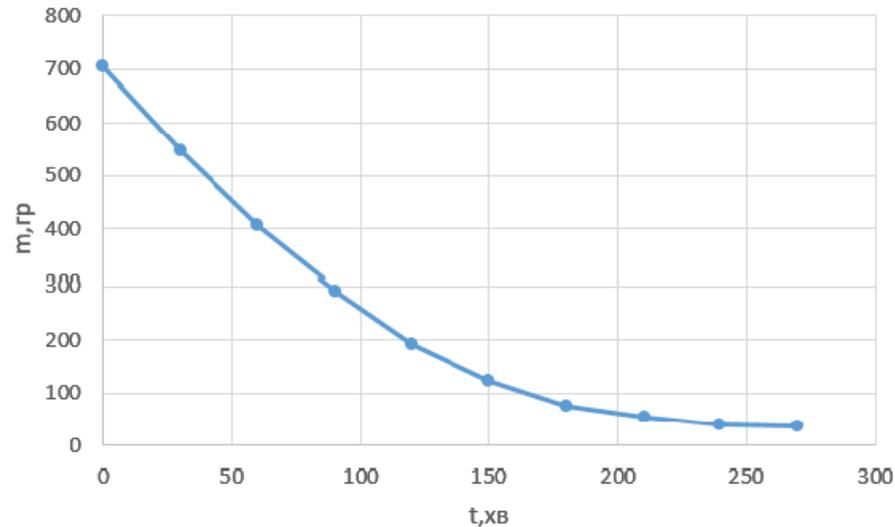
Дані дослідів №1

№ з/п	t хв	m рамки (const)	m помідорі в	t кам	t зовн	V м/с	L м ³ /год
1	0	0,595	0,787	35	38	3,5	252
2	30	0,595	0,706	35	39	3,5	252
3	60	0,595	0,619	36	41	3,5	252
4	90	0,595	0,540	36	41	3,5	252
5	120	0,595	0,457	38	42	3,5	252
6	150	0,595	0,384	38	42	3,5	252
7	180	0,595	0,076	50	48	3,5	252
8	210	0,595	0,056	50	50	3,5	252
9	240	0,595	0,047	50	50	3,5	252
10	270	0,595	0,037	50	50	3,5	252

					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Іщенко М.О.			Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гузик Д.В.					9	17
Н. контр.		Гузик Д.В.				НУПП ім Ю.Кондратюка		
Затверд.		Голік Ю.С.						

Результати проведення дослідів №2

Графік процесу сушіння сировини дослідів №2



Дані дослідів №2

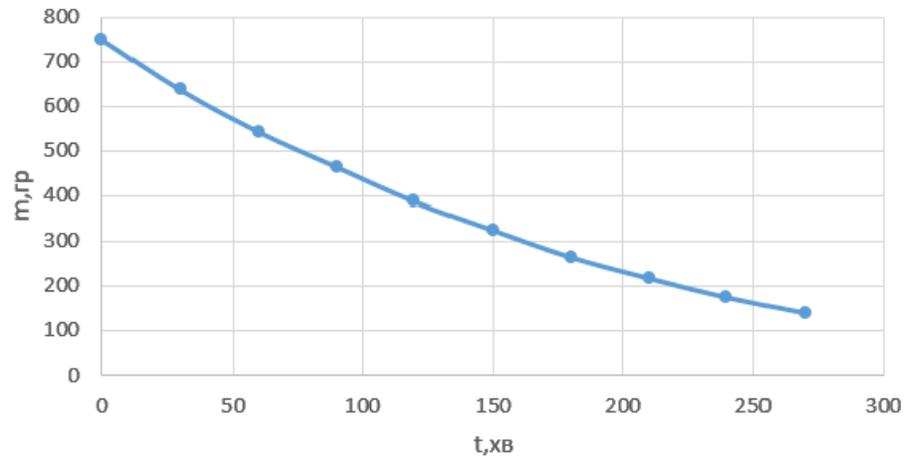
№ з/п	t хв	m рамки (const)	m помідорів	t кам	t зовн	V м/с	L м³/год
1	0	0,595	0,706	50	49	5,0	360
2	30	0,595	0,546	51	51	5,0	360
3	60	0,595	0,405	53	52	5,0	360
4	90	0,595	0,289	51	52	5,0	360
5	120	0,595	0,192	51	53	5,0	360
6	150	0,595	0,123	51	52	5,0	360
7	180	0,595	0,076	51	51	5,0	360
8	210	0,595	0,053	52	53	5,0	360
9	240	0,595	0,040	52	54	5,0	360
10	270	0,595	0,036	53	55	5,0	360

Витрачено 4,5 годин часу (270хв). На протязі усього експерименту було включено другий третій ТЕН з потужністю (2,5 кВт).

					401НТ-20117.ДП		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах		
Виконав		Іщенко М.О.					
Перевір.		Гузик Д.В.					
Н. контр.		Гузик Д.В.					
Затверд.		Голік Ю.С.					
					Літера	Арк.	Аркушів
						10	17
					НУПП ім Ю.Кондратюка		

Результати проведення дослідів №3

Графік процесу сушіння сировини дослідів №3



Даний варіант дослідів було виконано з метою визначення за кількості маси що втратить сировина якщо її приправити харчовою сіллю та висушити при температурі 30°C, для дослідів була взята харчова сіль.

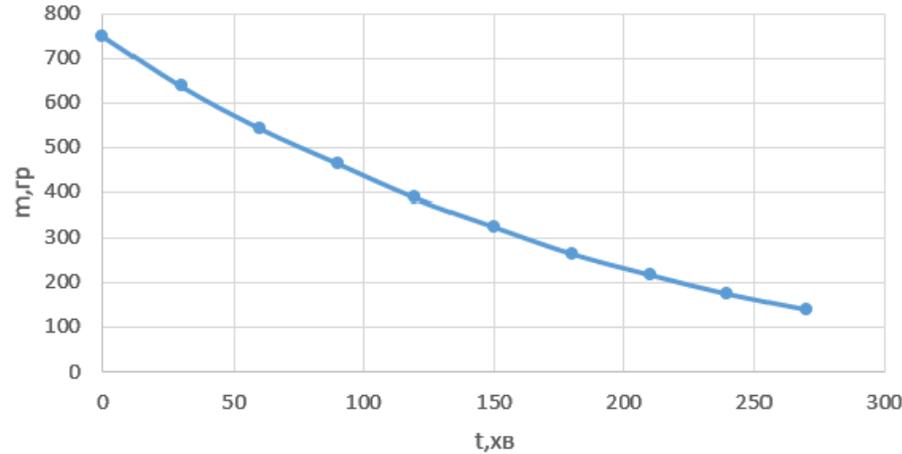
Дані дослідів №3

№ з/п	t хв	m рамки (const)	m помідорів	t кам	t зовн	V м/с	L м³/год
1	0	0,595	0,750	30	31	5,0	360
2	30	0,595	0,637	30	31	5,0	360
3	60	0,595	0,543	31	33	5,0	360
4	90	0,595	0,465	31	34	5,0	360
5	120	0,595	0,388	31	37	5,0	360
6	150	0,595	0,325	32	40	5,0	360
7	180	0,595	0,265	32	40	5,0	360
8	210	0,595	0,218	32	40	5,0	360
9	240	0,595	0,175	32	40	5,0	360
10	270	0,595	0,140	32	40	5,0	360

					401НТ-20117.ДП				
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах			Літера	Арк.	Аркушів
Виконав	Іщенко М.О.							11	17
Перевір.	Гузик Д.В.						НУПП ім Ю.Кондратюка		
Н. контр.	Гузик Д.В.								
Затверд.	Голік Ю.С.								

Результати проведення дослідів №4

Графік процесу сушіння сировини дослідів №4



Даний варіант дослідів було виконано з метою визначення за кількості маси що втратить сировина висушити при температурі 30°C на протязі 6 годин.

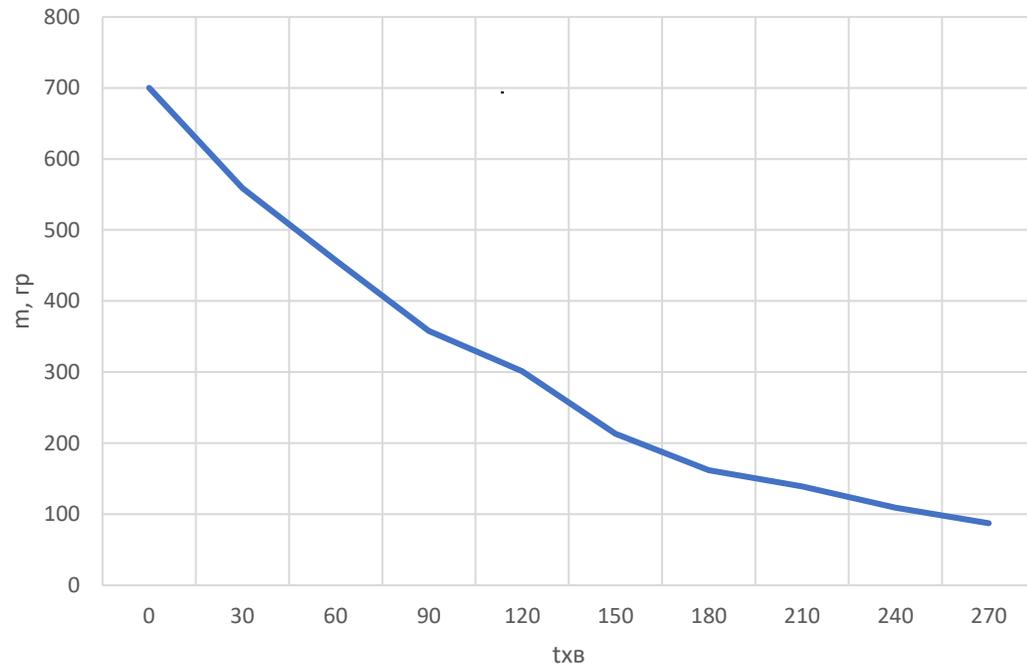
Дані дослідів №4

№ з/п	T хв	m рамки (const), г	m помідорів, г	tкам °C	t зовн °C	V м/с	L м³/год
1	0	0,595	0,765	30	36	5,0	360
2	30	0,595	0,652	30	36	5,0	360
3	60	0,595	0,557	30	36	5,0	360
4	90	0,595	0,479	30	37	5,0	360
5	120	0,595	0,410	30	37	5,0	360
6	150	0,595	0,350	30	38	5,0	360
7	180	0,595	0,297	30	38	5,0	360
8	210	0,595	0,250	30	38	5,0	360
9	240	0,595	0,208	30	38	5,0	360
10	270	0,595	0,172	30	38	5,0	360
11	300	0,595	0,141	30	38	5,0	360
12	330	0,595	0,121	30	38	5,0	360
13	360	0,595	0,105	30	38	5,0	360

					401НТ-20117.ДП					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах					
Виконав		Іщенко М.О.						Літера	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гузик Д.В.							12	17
Н. контр.		Гузик Д.В.						НУПП ім Ю.Кондратюка		
Затверд.		Голік Ю.С.								

Результати проведення дослідів №5

Графік процесу сушіння сировини дослідів №5



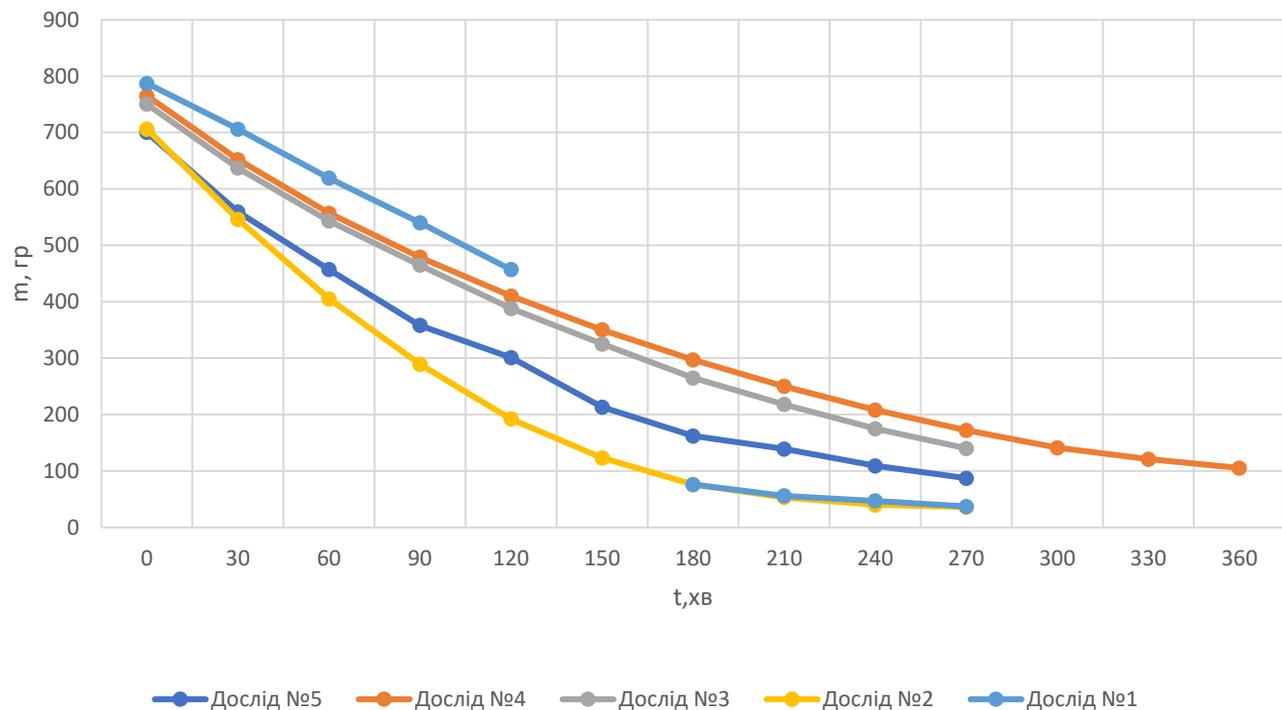
Дані дослідів №5

№ з/П	t хв	m рамки (const)	m помідорів	t кам	t зовн	V м/с	L м ³ /год
1	0	0,595	0,700	40	43	3,5	252
2	30	0,595	0,559	40	45	3,5	252
3	60	0,595	0,457	40	45	3,5	252
4	90	0,595	0,358	40	45	3,5	252
5	120	0,595	0,301	40	45	3,5	252
6	150	0,595	0,213	40	45	3,5	252
7	180	0,595	0,162	40	45	3,5	252
8	210	0,595	0,139	40	45	3,5	252
9	240	0,595	0,109	40	45	3,5	252
10	270	0,595	0,087	40	45	3,5	252

Даний варіант дослідів було виконано з метою визначення за кількості маси що втратить сировина висушити при температурі 40-45°C на протязі 4,5 годин.

					401НТ-20117.ДП					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах					
Виконав		Іщенко М.О.						Літера	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гузик Д.В.							13	17
Н. контр.		Гузик Д.В.						НУПП ім Ю.Кондратюка		
Затверд.		Голік Ю.С.								

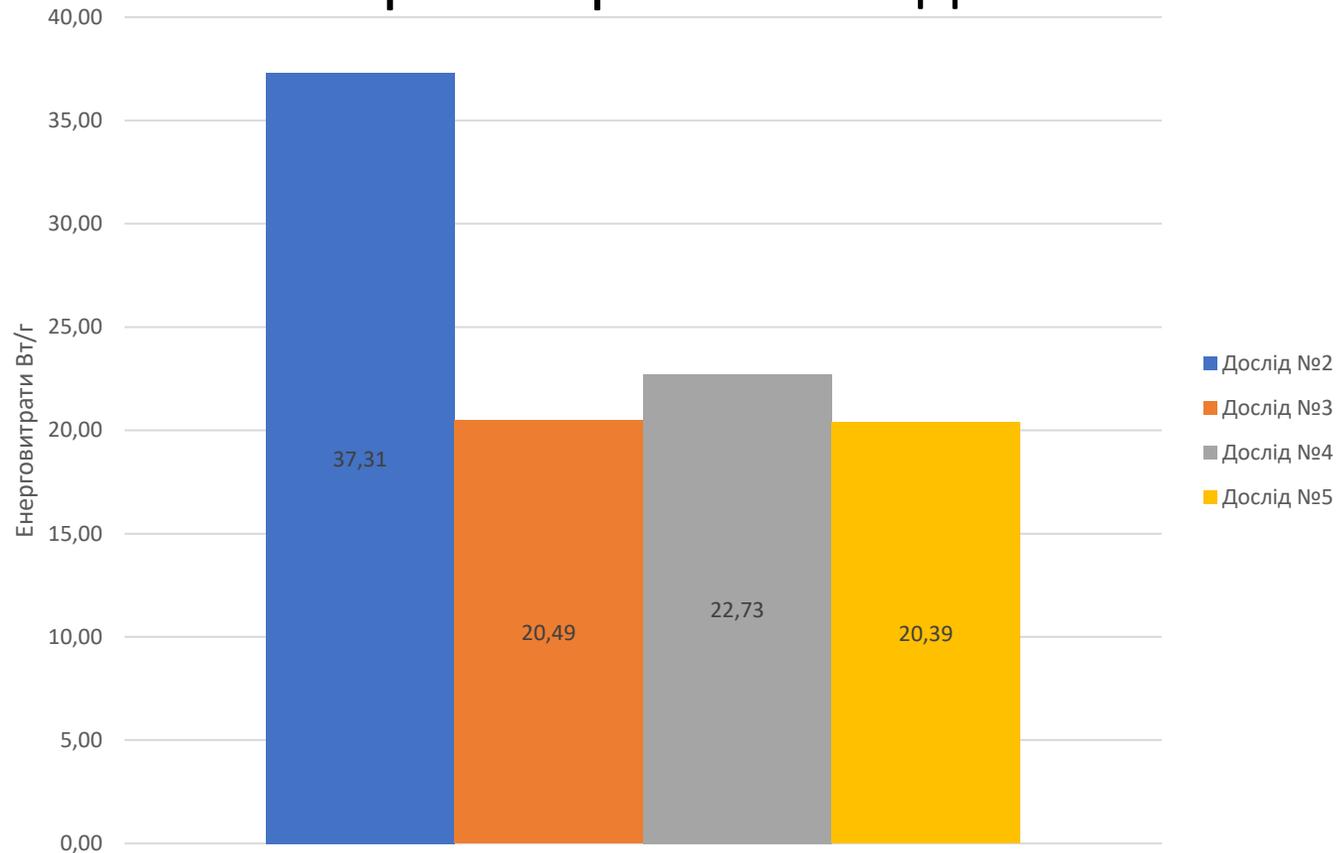
Суміщений графік процесу сушіння сировини дослідів №1-№5



- Як показує характер кривих процесу сушіння не є рівномірним де основна кількість вологи висушується в перші 3 години і для подальшої оптимізації процесу сушки необхідно використовувати кількісно-якісне регулювання температури та кількості сушильного агента.

					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Іщенко М.О.			Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гузик Д.В.					14	17
Н. контр.		Гузик Д.В.				НУПП ім Ю.Кондратюка		
Затверд.		Голік Ю.С.						

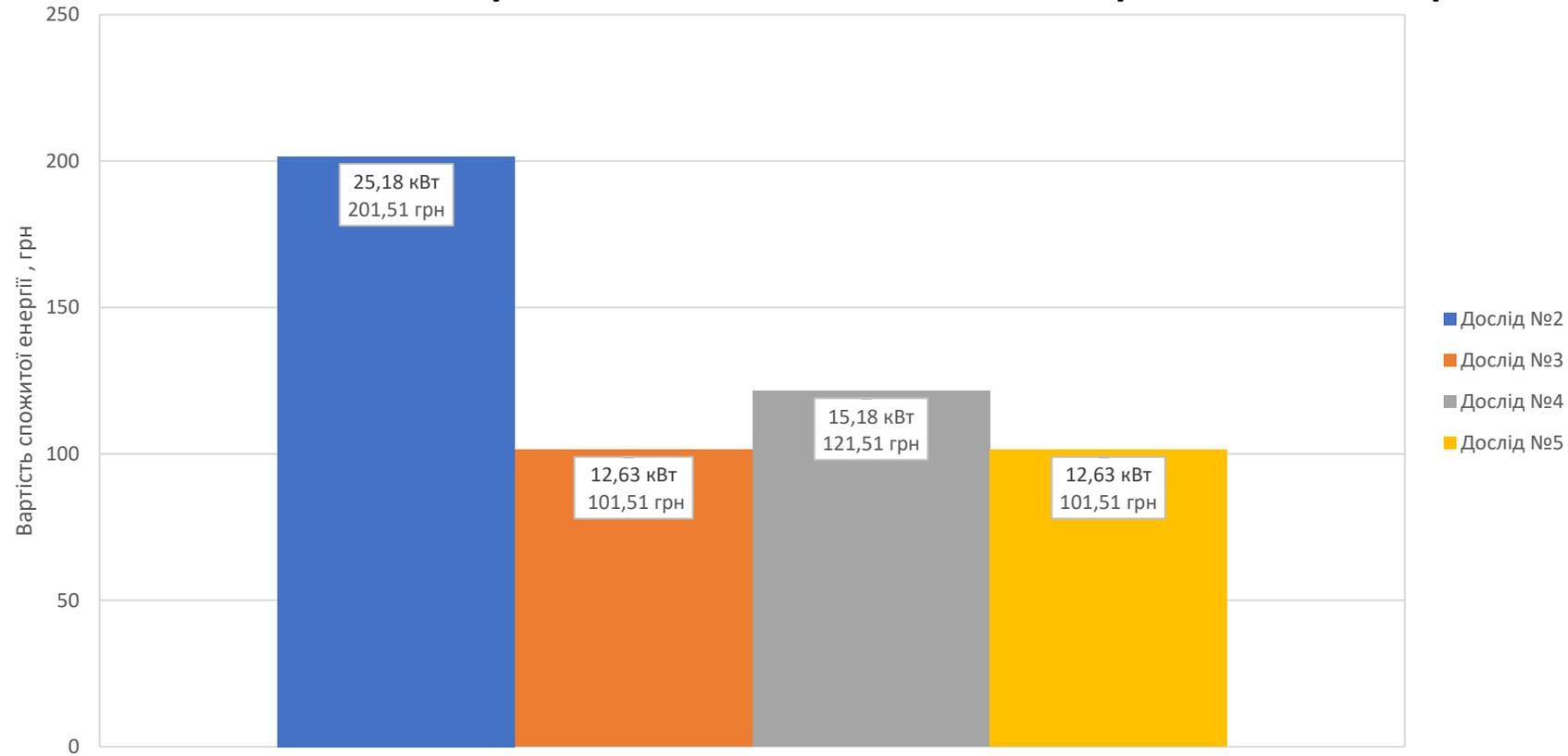
Питомі енерговитрати на видалення вологи з томатної сировини



- Найбільш енергоефективним є режим сушіння томатів був отриманий за умов дослідів №3 та №5, а саме: при температурі 30°C та 50 °C відповідно (рекомендована 30-50°C), різна температура досягається шляхом регулювання продуктивності

					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Виконав		Іщенко М.О.					15	17
Перевір.		Гузик Д.В.				НУПП ім Ю.Кондратюка		
Н. контр.		Гузик Д.В.						
Затверд.		Голік Ю.С.						

Діаграма кількості та вартості спожитої електричної енергії



- Єдиним недоліком досліду №3 є довготривалість у порівнянні з дослідом №5.

					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Іщенко М.О.			Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гузик Д.В.					16	17
Н. контр.		Гузик Д.В.				НУПП ім Ю.Кондратюка		
Затверд.		Голік Ю.С.						

ВИСНОВКИ

- Аналіз способів сушіння з точки зору тривалості отримання кінцевого продукту дає перевагу на користь збалансованого режиму сушіння між температурою та кількістю агента сушіння, в рамках технології процесу сушіння.
- Для оптимізації процесу сушіння необхідно використовувати кількісно-якісного регулювання параметрів (температура та кількість повітря) агента сушіння.
- Процес сушіння має бути безперервним за для уникнення псування сировини
- Процес сушіння при максимальних температурах, в рамках технології процесу сушіння, призводить до збільшення енерговитрат.
- Конвективно-примусова сушка дає можливість скоротити тривалість сушки сировини

					401НТ-20117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення енергоефективних режимів процесів сушіння сировини в лабораторних умовах	Літера	Арк.	Аркушів
Виконав		Іщенко М.О.					17	17
Перевір.		Гузик Д.В.						
Н. контр.		Гузик Д.В.						
Затверд.		Голік Ю.С.						
						НУПП ім Ю.Кондратюка		