

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка побутового сушильного апарату

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 3 курсу
група ЕТс-22-2


Підпис

А. С. Хоптовий
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

С. І. Пундик
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

О. Г. Тимошук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

2 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

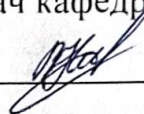
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


2 . 06 . 2025

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Хоптовий Артем Сергійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка побутового сушильного апарату

керівник роботи Пундик Сергій Іванович, к.т.н.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2 06 25

3. Вихідні дані до роботи характеристики побутового сушильного апарату

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи. 2. Розробка побутового сушильного апарату 3. Розрахунки побутового сушильного апарату. Висновки. Перелік джерел посилань.

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

1. Сушарки (ДО, А1). 2. Побутовий сушильний апарат (ВЗ, А1). 3. Сушильний апарат (СЗ, А1). 4. Сушка (ЕЗ, А2). 5. Вимірювальний пристрій (Е2, А2). 5. Вимірювальний пристрій (Е2, А2). Блок-діаграма віртуального приладу середовища LabVIEW (ДІ, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технічної літератури		
2. Розробка побутового сушильного апарату		
3. Розрахунки побутового сушильного апарату		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент

Підпис 

А.С. Хоптовий
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис 

С.І. Пундик
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»


1. Прізвище, ім'я та по батькові Хоптовий Артем Сергійович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка побутового сушильного апарату

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 58

5. Сушіння є ключовим елементом багатьох виробничих технологічних процесів, і від ефективної його організації залежать операційні витрати та якість кінцевої продукції. Важливо, щоб енергоспоживання було зведено до мінімуму. Взаємовплив тепловіддачі, інтенсивності повітряного руху, проникності матеріалів з різним вологовмістом та ефективності конвекційного сушіння являє собою важливе прикладне завдання, розв'язання якого може бути знайдене через експериментальні дослідження. В бакалаврській роботі здійснюється розробка побутового сушильного апарату. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики бакалаврської роботи, а саме про процес сушки та огляд конструкцій конвекційних сушок. В другому здійснюється розробка побутового сушильного апарату. В третьому розділі проведено розрахунки побутового сушильного апарату.

Підпис студента 

" 2 " 06 2025 р.

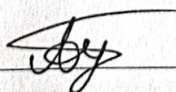
РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від " 12 " 06 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 4,0/С

Рекомендації ЕК —





Особливі відмітки —

Технічний секретар 

" 12 " 06 2025 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	5
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи.....	7
1.1 Теоретичні відомості про процес сушки	7
1.2 Огляд промислових сушок.....	9
1.3 Огляд конструкцій конвекційних сушок.....	12
Висновки до першого розділу	18
2 Розробка побутового сушильного апарату.....	19
2.1 Розробка конструкції та принцип роботи конвекційної сушки ..	19
2.2 Підбір вимірювальних датчиків	21
2.3 Підбір обладнання для вимірювань	25
2.4 Розробка блок-діаграм віртуального приладу у середовищі LabView	40
Висновки до другого розділу.....	42
3 Розрахунки побутового сушильного апарату	43
3.1 Розрахунок витрат теплоти та повітря при сушінні.....	43
3.2 Розрахунок основних елементів електричної схеми	52
Висновки до третього розділу	54
Висновки	56
Перелік джерел посилань.....	57

БРМА 25.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Хоптовий А. С.		
Перевір.		Пундик С. І.		
Реценз.				
Н. Контр.		Тимошук О. Г.		
Затверд.		Неймак В. С.		
Розробка побутового сушильного апарату			Лит.	Арк.
			4	58
ХНУ зр. ЕТс-22-2				

ВСТУП

Сушіння є ключовим елементом багатьох виробничих технологічних процесів, і від ефективної його організації залежать операційні витрати та якість кінцевої продукції. Важливо, щоб енергоспоживання було зведено до мінімуму.

Мета її діяльності – вилучення рідини (вологи) з твердих, рідких та газоподібних речовин (матеріалів, сполук). Найбільш розповсюджена рідина, що видаляється – це волога або легкі органічні розчинники. Швидкість процесів переносу маси, що розглядається, знаходиться у прямій залежності одночасно від властивостей матеріалу, який підлягає сушінню, і від характеристик оточуючого його середовища.

Об'єктами сушіння у легкій промисловості є матеріали з капілярною структурою (тканина), шкіра, хутро, картон та інші подібні.

Для цих матеріалів притаманне фізико-механічне (макро- та мікрокапілярне), фізико-хімічне адсорбційне утримання вологи.

Макрокапілярна волога розташовується на поверхні матеріалу у великих порах та широких капілярах, що наповнюються під час зволоження.

Вилучення цієї вологи можливе як механічним способом – відтисканням, так і тепловим впливом на матеріал, унаслідок чого макрокапілярна волога переходить у пароподібний стан.

На противагу до макрокапілярної вологи, мікрокапілярна розташовується у дрібних капілярах, які наповнюються не тільки шляхом змочування, але й через поглинання (абсорбцію) з вологи повітря. Зв'язок цієї вологи з матеріалом є міцнішим, ніж у макрокапілярної.

Адсорбційно-зв'язана волога міцно тримається на поверхні та у порах матеріалу. Зв'язана волога (волога набухання) розташована всередині клітин матеріалу. Її з'єднання з матеріалом набагато міцніше, ніж у макрокапілярної вологи.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежно від того, наскільки необхідно зменшити вологість матеріалу, процес сушіння здійснюють або за умов атмосферного тиску, або ж в умовах вакууму. Під час процесу сушіння матеріал здатний залишатися нерухомим або переміщуватися. Технологія сушіння може бути організована як з перервами, так і безперервно.

Підведення тепла можливе конвекцією, безпосереднім контактом, випромінюванням або ж іншими механізмами.

Наразі найбільшого поширення набув конвективний метод сушіння, ключовою особливістю якого є передача тепла шляхом конвекції. Волога, в таких умовах, розповсюджується в повітряний потік і віддається із сушильного обладнання в навколишнє середовище.

Взаємовплив тепловіддачі, інтенсивності повітряного руху, проникності матеріалів з різним вологовмістом та ефективності конвекційного сушіння являє собою важливе прикладне завдання, розв'язання якого може бути знайдене через експериментальні дослідження.

Метою даної роботи є розробка побутового сушильного агрегату.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Теоретичні відомості про процес сушки

При виборі найоптимальніших параметрів та ефективного методу сушіння ключовими є властивості матеріалу, що сушиться (кусковий, сипкий, рідкий, листовий та інші), його якості, кінцева площа і товщина готової продукції, час, що потрібен на процес, умови експлуатації та подібне. Для сушіння сипких матеріалів доцільно використовувати сушарки з псевдозрідженим шаром.

Забезпеченню найкращих умов в сушарках повітряно-циркуляційного типу, призначених для сушіння листових виробів, сприяє застосування рециркуляції повітря, обдування та режимів комбінованого підведення тепла.

За конструктивними відмінностями конвекційні сушарки класифікують на кільцеві, теплові, роликові з псевдозрідженим шаром, стрічкові, розпилювальні та інші типи.

Оскільки тепло, необхідне для висушування матеріалу, підводиться конвективним шляхом, як сушильний агент залучають повітря, продукти згоряння та перегріту пару розчинника.

Найбільш поширеним та доступним теплоносієм є нагріте повітря. Гарячі гази використовують переважно під час високотемпературного сушіння, коли матеріал не вступає в реакцію з вуглекислим газом чи сірчистим ангідридом, що містяться в ньому. Сушарки, котрі використовують топкові гази, мають вищу ефективність та економічність, ніж повітряні. Негативними аспектами сушіння за допомогою топкових газів є ймовірність забруднення матеріалу, що висушується, сажею, погіршення якості продукту через наявність у газах сірчистих сполук, а також виникнення займань у газопроводах у разі догоряння вугілля. У

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промислового виробництва сушіння, застосовуючи газ, що супроводжує нафтовидобуток, не отримало широкого поширення.

Сушіння у перегрітих парах розчинника застосовується, коли рідина, яку вилучають з матеріалу, може утворювати вибухонебезпечні суміші повітря з парами розчинника [2].

Переваги перегрітої пари, як технології, найкраще видно через порівняння. Коли застосовується сушіння повітрям або інертними газами, нагрітий теплоносієм виходить із сушарки та потрапляє в атмосферу, або ж частково повертається в сушильний простір. Натомість, при сушінні перегрітою парою, він фактично не покидає установку, циркулюючи в ній, а тепло, вивільнене з розчинника, використовується для часткового відшкодування втрат. Об'ємна теплоємність водяної пари перевищує об'ємну теплоємність повітря приблизно на п'яту частину. Присутність кисню в повітрі часом провокує окислення, що може привести до займання матеріалу, натомість в перегрітих парах розчинника це виключається. Перегріта пара дає можливість досягти вищої температури сушіння, в той час як питомі втрати тепла зменшуються на 25-30% у порівнянні з сушінням у повітрі, а час сушіння скорочується в 2-3 рази. Час висушування целюлози за температури повітря 200° сягнув 3,3 г, тоді як при сушінні перегрітою водяною парою за такої самої температури – 2,5 г. Проте, сушарки з застосуванням перегрітої пари конструктивно складніші та дорожчі [3].

Зразком сушіння в перегрітих парах розчинника слугує висушування склотканини, яке широко використовують в електротехнічній галузі. Скловолокно насичується різноманітними смолами, які розчиняються у етиловому спирті. Схожі сушильні пристрої можуть бути застосовані на підприємствах промисловості для сушіння вогких тканин.

На інтенсивність конвекційного сушіння впливає швидкість руху повітря, його температура та ступінь вологості сушильного агента. Зміна швидкості газу призводить до прискорення процесу сушіння, оскільки

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збільшується як обсяг тепла, що передається конвекцією, так і рушійна сила процесу. Ця сила визначається різницею парціального тиску водяної пари на поверхні матеріалу, який висушується, та у навколишньому повітрі. Отже, при сушінні картону для взуття, коли швидкість нагрітого повітря сягає 8,5 м/с, інтенсивність є майже вдвічі вищою, ніж за швидкості 2,1 м/с. До того ж, тривалість процесу сушіння зменшується приблизно втричі [4].

Однак, підвищення швидкості теплоносія вимагає великих затрат електроенергії. До того ж, збільшення швидкості газу виправдане на початковому етапі сушіння. На другому ж етапі прискорення теплоносія не забезпечує значного зростання інтенсивності сушіння.

Підвищення температури всередині сушильної камери спричиняє відчутну різницю температур, що прискорює виведення вологи з речовини. Вплив температури повітря демонструється на прикладі процесів формування плівки з латексу, отриманого з натурального каучуку. Тривалість процесу утворення плівки при температурі 50° становить 20 хвилин. Збільшення температури до 70°С скорочує тривалість процесу вдвічі, а при температурі 90°С формування полімерної плівки завершується за вісім хвилин. Підвищення температури сушіння картону зі 140°С до 150°С дає змогу збільшити продуктивність обладнання на 25% без втрати якості продукції.

1.2 Огляд промислових сушок

Конвективні. При конвекційному висушуванні тепло переходить від джерела енергії нагрівання до поверхні матеріалу, який треба висушити, за допомогою теплоносія. Роль теплоносія виконують повітря, інертні гази, відхідні гази з топок, перегріта водяна пара.

Фізична основа цього процесу полягає у вилученні вологи з матеріалу, що досягається завдяки різниці парціальних тисків над матеріалом, яку

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

позначимо як рпм, та в оточуючому середовищі, позначимо як рпс. Просушування відбувається тоді, коли рпм перевищує рпс. Коли ці парціальні тиски зрівнюються, настає рівновага, і процес сушіння припиняється. Випаровування вологи з поверхні тісно пов'язане з перенесенням вологи з глибини матеріалу до його краю. Ці два явища мусять відбуватися синхронно, інакше може статися пересушування, деформація поверхні та втрата властивостей матеріалу.

Отже, під час конвекційного сушіння волога рухається до поверхні, керуючись градієнтом вологості, водночас температурний градієнт незначною мірою уповільнює цей процес. Через різницю температур на поверхні та всередині матеріалу волога переміщається вглиб, де температура нижча.

Рівноважна вологість, яка впливає на перебіг конвективного сушіння, визначається особливостями матеріалу, що піддається обробці. Важливим є характер взаємодії з вологою та показники навколишнього середовища [5].

Контактна сушка. При контактному методі тепло передається до матеріалу, котрий висушується, через нагріту перегородку, яка безпосередньо стикається з матеріалом.

При контактному сушінні, термодифузія та дифузія, що виникає через різницю в концентрації вологи, діють в одному напрямку. Це позитивно впливає на інтенсивність процесу на початковому етапі сушіння. На другому етапі сушіння температурний градієнт стає меншим, що приводить до певного зниження інтенсивності сушіння [5].

Терморадіаційна. Під час сушіння інфрачервоним випромінюванням напрямки руху вологи (градієнт вологості) та тепла (градієнт температури) протилежні, що певною мірою зменшує швидкість сушіння на початковому етапі. З поступовим нагріванням тіла волога переміщується вглиб шару матеріалу, вологість у віддалених від поверхні шарах збільшується, утворюючи суттєву різницю вологості всередині тіла. До завершення фази

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опромінення тіло нагрівається, різниця температур стає меншою, волога спрямовується до поверхні та активно випаровується. Швидкість випаровування зростає в багато разів [6].

Висушування шляхом нагрівання струмами високої частоти. Під час сушіння струмами високої частоти матеріал розміщується між двома електродами, до котрих подається змінний струм високої частоти. Під впливом електричного поля іони та електрони в матеріалі коригують свій напрямок руху синхронно зі зміною знаку заряду на електродах. Дипольні молекули зазнають обертального руху, а не полярні молекули починають поляризуватися внаслідок зміщення їхніх зарядів. Ці явища спричиняють виникнення електричних струмів та вивільнення тепла. Тепло, у свою чергу, зігріває матеріал, тим самим сприяючи переміщенню вологи до країв, до поверхні, де вона й випаровується.

При сушці в полі струмів високих частот матеріал зсередини прогрівається сильніше, ніж зовні. Це пришвидшує процес, адже градієнти дифузії та термодифузії спрямовані в одному напрямку.

Використання такого підходу відкриває шляхи для глибшого прогрівання в усьому тілі. Внутрішні тканини нагріваються інтенсивніше за зовнішні, через охолодження на поверхні та випаровування вологи в навколишнє повітря. При висушуванні в полі високочастотних струмів, енерговитрати порівняно значні. Отже, цей спосіб застосовують переважно до виробів, схильних до розколювання, вразливих до перегріву та подібних.

Сублімаційна сушка. При температурах нижче 0 °С, вільна вода замерзає, і випаровування відбувається без переходу у рідкий стан (сублімація). Видалення вологи здійснюється переважно за рахунок розширення поверхні випаровування в глибину матеріалу. Перенесення пари з випаровуючої поверхні крізь товщу матеріалу здійснюється дифузією, оскільки радіус капілярів менший за середню довжину вільного шляху молекул. Адсорбційно зв'язана волога існує в переохолодженому стані; її

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

видаляють, перетворюючи рідину на пару. Наприкінці сушіння сублімація льоду припиняється, і подальше зневоднення відбувається при температурі, вищій за 0 °С. Отже, ліофільне сушіння полягає у сублімації льоду (сушенні через випаровування криги), випаровуванні переохолодженої рідини усередині матеріалу та випаровуванні зв'язаної рідини при температурі, що перевищує 0 °С, аж до повного завершення сушильного процесу. Найчастіше, коли говорять про сублімацію, мають на увазі перехід твердого тіла безпосередньо в газоподібний стан, уникаючи плавлення (наприклад, сублімація льоду, що міститься в матеріалі).

1.3 Огляд конструкцій конвекційних сушок

За методом підведення тепла виділяють конвекційне, контактне, терморадіаційне та високочастотне сушіння.

При конвекційному сушінні тепло передається до матеріалу, що сушиться, від потоку нагрітого повітря (продуктів згоряння, інертних газів, перегрітої пари) конвекцією, а волога дифундує в потік газу та виводиться із сушильного простору.

Під час конвекційного сушіння тепло передається до матеріалу, що висушується, від потоку нагрітого повітря (газів печі, інертних газів) конвекцією. Водночас волога дифундує у потік газу та видаляється із сушильного приміщення.

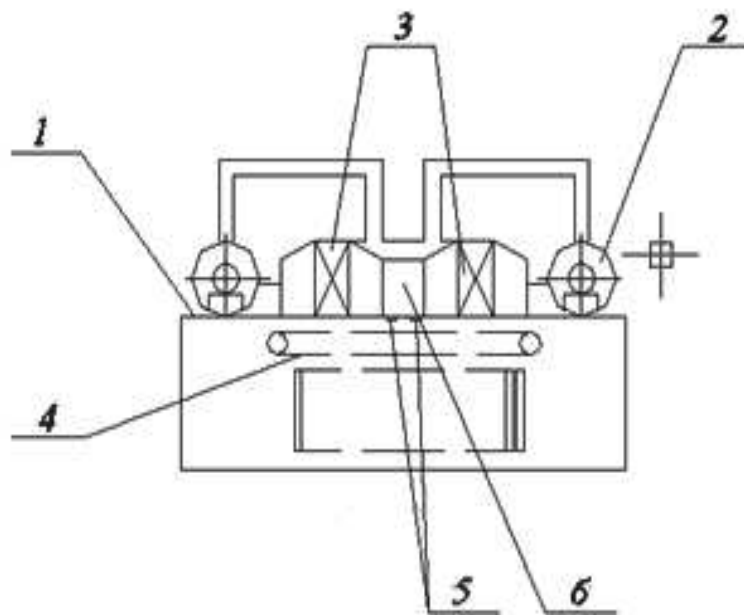
Під час контактного сушіння тепло надходить до висушуваного матеріалу крізь роздільну перепону (стінку).

При терморадіаційному сушінні тепло до матеріалу надходить від інфрачервоних променів, що частково поглинаються поверхнею. Вони перетворюються на тепло у товщі матеріалу, яке витрачається на видалення вологи шляхом випаровування. Цей метод знайшов застосування для сушіння тонколистових матеріалів та лакофарбових покриттів.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При високочастотному сушінні тепло, необхідне для випаровування води, утворюється безпосередньо в товщі матеріалу завдяки індукційним струмам. Такий метод застосовують для сушіння товстих листів.

Для сушіння шкіряної та хутряної сировини широко використовують у промисловості кільцеві та ежекційні сушарки. Під час сушіння шкіри для низу взуття у вільно підвішеному стані застосовують ежекційну сушарку ЕКС – 62 (рис. 1.1).



- 1- корпус; 2 - центробіжний вентилятор; 3 - калорифер; 4 – ланцюговий конвеєр; 5 – сопла; 6 – повітровхід.

Рисунок 1.1 – Ежекційна сушка

У них напівфабрикат фіксують у затискачах, розташованих на поперечних стрижнях. Відстань між затискачами становить 100 мм, а між стрижнями – 200 мм. Затискачі автоматично розмикаються в момент згинання ланцюгом кінцевиків зірок конвеєра. По довжинах сушки напівфабрикат переміщується дволанцюговим конвеєром.

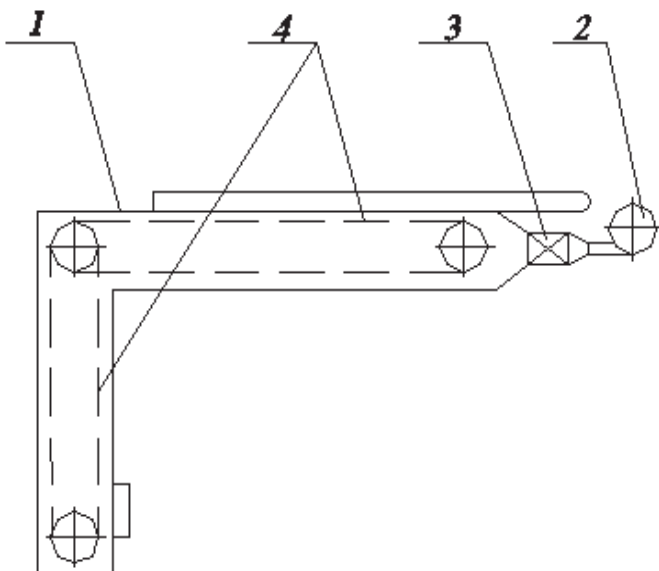
					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Нагріте повітря подається до спеціальних коробів відцентровими вентиляторами. З коробів теплоносії виходять через сопла зі швидкістю від 6 до 8 м/с, змішуючись з повітряними потоками верхньої частини сушильних камер. Утворена суміш обтікає напівфабрикат, висушуючи його.

Частина відпрацьованого повітря, видаляється з камери та відводиться до атмосфери за допомогою вентилятора, розташованого за межами сушарки. Інша частина повітря змішується зі свіжим повітрям, яке поступає через торцеві отвори сушильної камери, після чого повітря нагрівається в калориферах.

Конструкція ежекційного сушарника передбачає подвійне змішування повітряних потоків (свіжого та відпрацьованого, ежекційного й із камери). Таке двократне змішування забезпечує більш делікатні умови для сушіння напівфабрикатів.

На взуттєвих виробництвах широкого використання набули Г-подібні сушильні установки Х. Б. Глаубермена, де калорифер та вентилятор розташовані на кінці горизонтальної частини короба, протилежному до завантажувального люка (рис. 1.2).



1- корпус; 2 - вентилятор; 3 - калорифер; 4 – завантажувальний люк

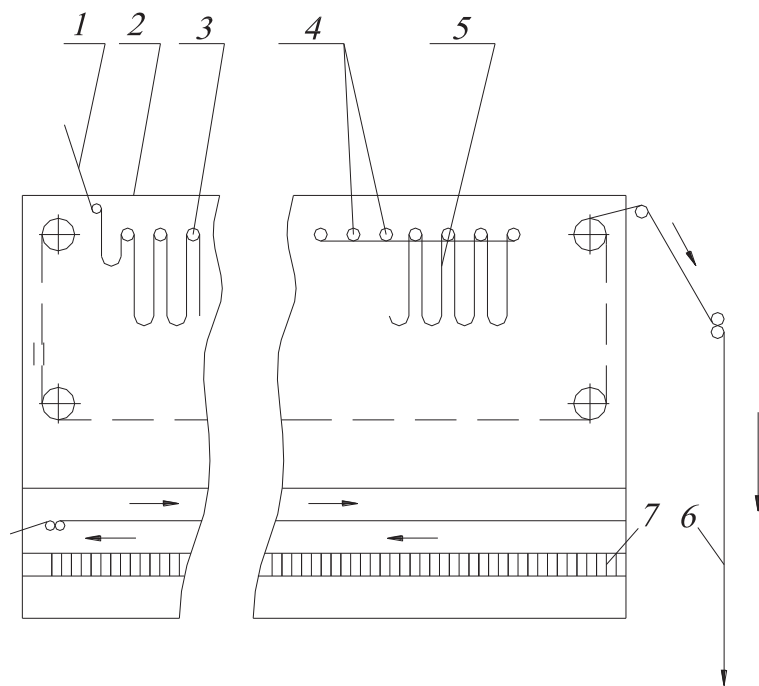
Рисунок 1.2 – Г-подібна сушка конструкції Х. Б. Глаубермана

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В міру випуску повітря в атмосферу, тиск у робочій камері спадає, що призводить до надходження свіжого повітря з цеху через завантажувальний люк. Заготовки взуття розміщуються в люльках, які переміщуються завдяки ланцюговому конвеєру.

На багатьох виробництвах взуття ця технологія показує себе з найкращого боку.

Висушування плівок та штучної шкіри проводиться у петльових сушильних агрегатах різної модифікації (див. рис. 1.3).



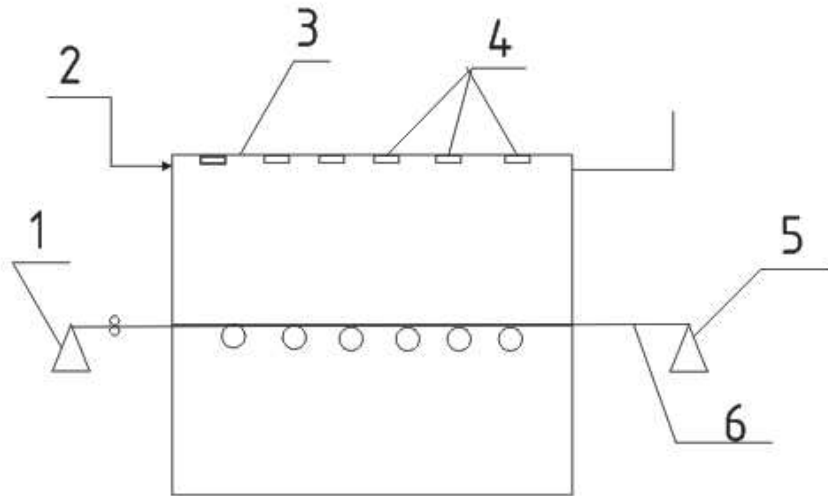
1- висушений матеріал; 2 – корпус; 3 – ролики; 4 – ланцюговий конвеєр; 5 – петля полотна; 6 – висушений матеріал; 7 – калорифери.

Рисунок 1.3 – Петльова сушарка

Схема сушарки з продуванням, обладнаної плоскими та круглими соплами, з початковою швидкістю повітря на виході до 100 м/с (див. рис. 1.4).

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Тканина або плівковий матеріал за допомогою напрямних роликів транспортується всередину сушильної камери.



1- розмотуючий пристрій; 2 – нанесений пристрій; 3 – камера; 4 – сопла; 5 – намотуючий пристрій; 6 – висушений матеріал.

Рисунок 1.4 – Сушарка з обдувом повітря із сопел

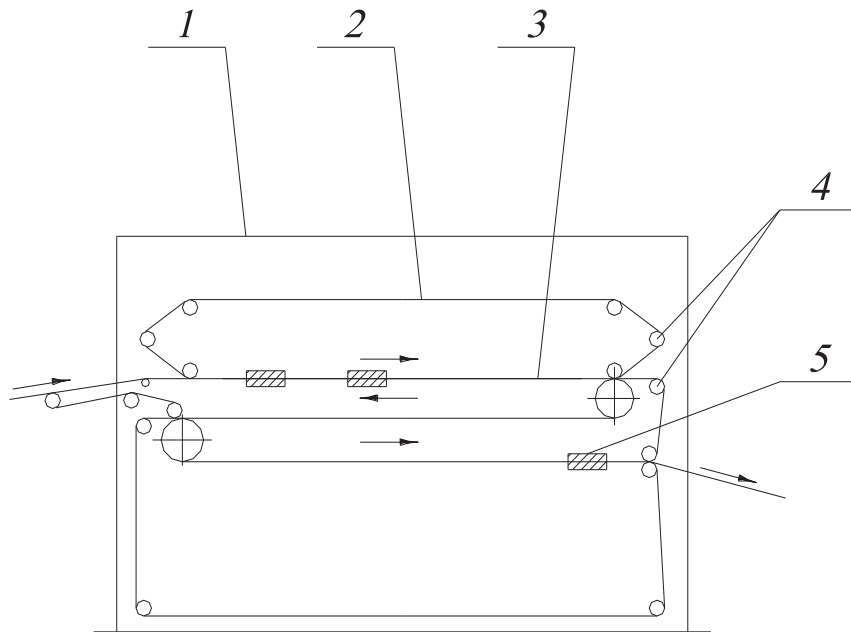
Повітря, нагріте у калорифері до температурного діапазону 150-1700 С, спрямовується до розподільних коробів, використовуючи відцентрові вентилятори. Через сопла воно обдуває матеріал з обох боків.

Для сушіння м'яких штучних шкір застосовують і сушарки, де матеріал пересувається завдяки обертовим валкам (рис. 1.5).

Виробляють сушарки двох типів: вертикальні та горизонтальні.

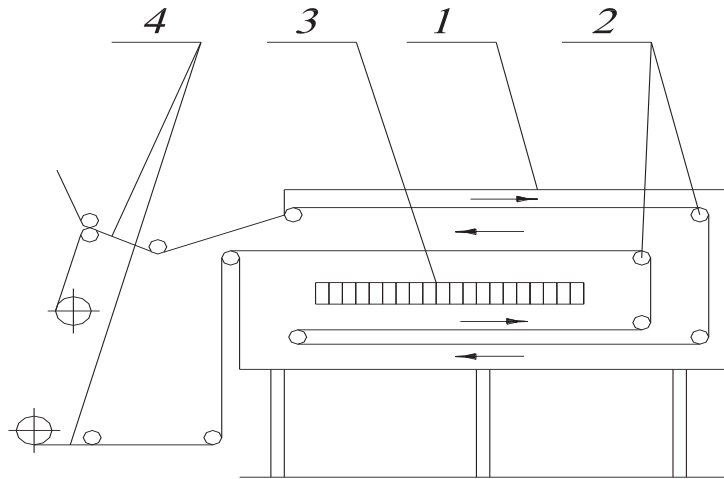
Для висушування листів картону найкраще підходять багатоярусні сушарки, де листок фіксується між сітками або полотном (рис. 1.6). Прикладом може слугувати сушарка "Тромаг".

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1- корпус; 2 – конвеєр; 3 – сітка; 4 – направляючі ролики;
5 – лист картону;

Рисунок 1.5 – Багатошарова сушарка для картону



1- корпус; 2 – ролики; 3 - калорифер; 4 – висушений матеріал.
Рисунок 1.6 – Горизонтальна сушарка з повертаючими роликами

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

17

Переміщення картонних аркушів між рівнями реалізується так: кожен лист, постійно обертаючись, рівномірно обдувається струменем гарячого повітря. Сушильна камера поділена на три температурні ділянки. У крайніх температура є нижчою, ніж у центральній, що забезпечує циклічний процес сушіння. Відбувається чергування нагрівання та охолодження матеріалу. Цей режим сприяє пришвидшенню процесу сушіння на другому етапі та покращує властивості кінцевого продукту. Тривалість сушіння картону становить від 40 до 60 хвилин [7].

Висновки до першого розділу

Виконано аналіз технічної літератури стосовно обчислень та вивчення процесів сушіння.

Проведено огляд та дослідження конструкцій конвективних сушарок.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ПОБУТОВОГО СУШИЛЬНОГО АПАРАТУ

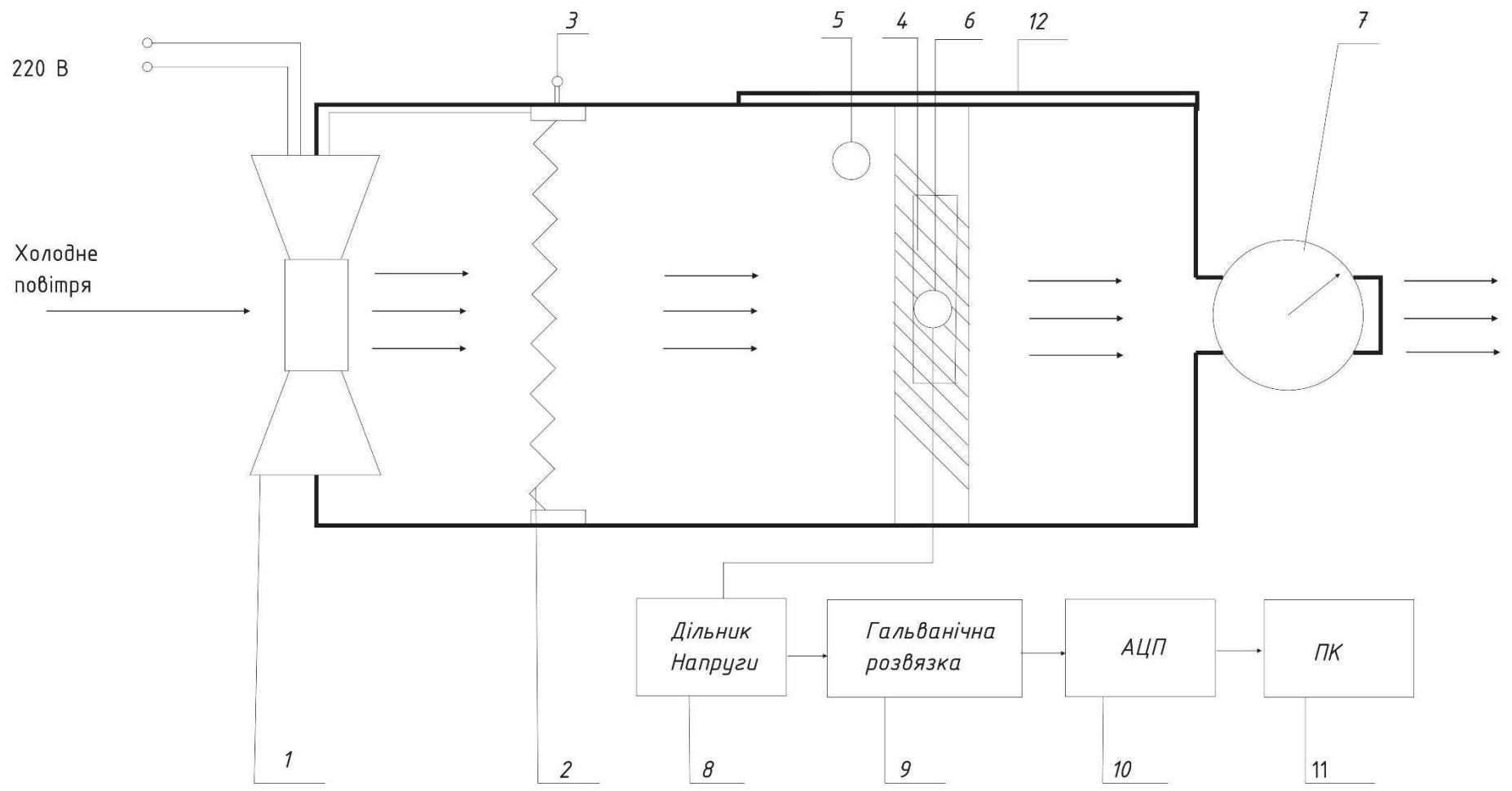
2.1 Розробка конструкції та принцип роботи конвекційної сушки

Розроблено і виготовлено лабораторний стенд для дослідження процесу сушки. Дана експериментальна установка для сушки (рис. 2.1) складається з двох ящиків: герметичного та термоізоляційного. В середині сушки температура досягає 135° С. Додаткова енергія, необхідна для нагріву навколишнього середовища, не втрачається завдяки термоізоляції. Автоматизація дослідження процесу сушіння реалізується через використання датчиків, що фіксують зміни фізичних параметрів і трансформують їх у електричний сигнал. Цей сигнал за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) передається на персональний комп'ютер (ПК), де відбувається його обробка у програмному середовищі LabVIEW.

Розроблена сушильна установка має електровентилятор (1) при вході. За ним розміщено електронагрівач (2), створений з ніхромового дроту, який активується вимикачем (3). На безпечній дистанції від розжареної спіралі розташовано касету з вологими матеріалами (4). На виході наявний пристрій для вимірювання повітряного потоку – газовий лічильник (7), а також датчики температури (5,6), котрі з'єднані з ПК (11) через гальванічну розв'язку (9) та АЦП (10).

Експериментальна система функціонує наступним чином: після підключення до електромережі, активуємо блок вимикачів під номером 3. Потік гарячого повітря прямує крізь касету з вологим матеріалом та виводиться через вихідний отвір, проходячи через газовий лічильник.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – електровентилятор; 2 – електронагрівач; 3 – вимикач; 4 – касета з зволоженим матеріалом; 5, 6 – датчики температури; 7 – газовий лічильник; 8 – дільник напруги; 9 – гальванічна розв’язка; 10 – аналогово-цифровий перетворювач; 11 – персональний комп’ютер; 12 – кришка

Рисунок 2.1 – Експериментальна установка

Датчики температури фіксують показники температури повітря всередині сушильної камери, а також всередині матеріалу, після чого передають ці дані через аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Окрім цього, з використанням АЦП ми отримуємо інформацію з двох інших датчиків: сили струму та напруги. Усі зібрані дані надсилаються на комп'ютер, де вони обробляються програмним середовищем LabView.

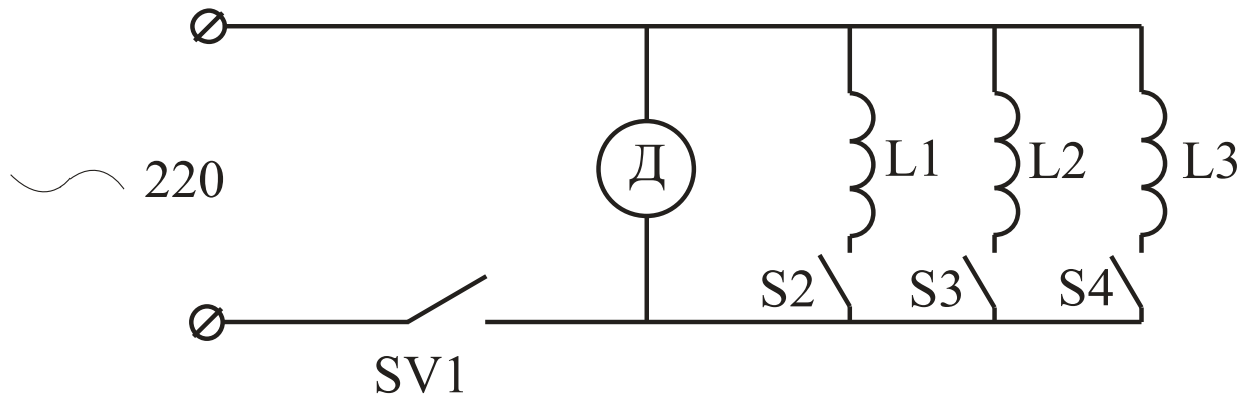


Рисунок 2.2 – Схема електрична сушильної установки

Електрична сушарка з'єднується з мережею 220В. Використовуючи вимикач SV1, спочатку активується вентилятор сушарки. За допомогою кнопок SV2-SV4 активуються відповідні їм ТЕНи L1-L3.

2.2 Підбір вимірювальних датчиків

Відбір необхідних нам сенсорів здійснювався з огляду на ключові критерії, ціну пристроїв та їх продуктивність.

Сенсор для вимірювання температури був обраний, враховуючи головний критерій – температурний діапазон вимірювання.

Датчик струму було обрано, базуючись на якості функціонування та вартості.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.1 Температурні датчики

Для досліджень кінематики сушіння у шафі, розміщують два датчики температури КТУ81-210 (5, 6), які підключені до АЦП. Один з датчиків встановлюється перед вологим матеріалом, а інший – всередині нього.

Датчики температури обирали згідно з конкретними параметрами: опір, температурний діапазон та тип. Найбільш відповідними виявились аналогові датчики температури повітря КТУ 81-210. Зовнішній вигляд датчиків представлено на рисунку 2.2, а їх характеристики – у таблиці 2.1 [15].

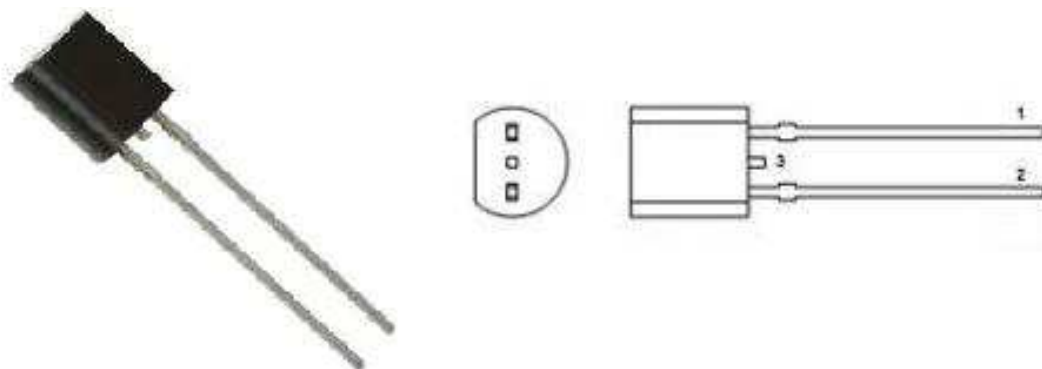


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд датчика КТУ 81-210

Таблиця 2.1

Характеристика датчика температури КТУ 81-210

Температура навколишнього середовища		Температурний коефіцієнт (%/К)	КТУ 81-210			
(°C)	(°F)		Опір (Ω)			Температурна Похибка
			Мін.	Типічний	Макс.	
-55	-67	0.99	951	980	1009	± 3.02
-50	-58	0.98	1000	1030	1059	± 2.92
-40	-40	0.96	1105	1135	1165	± 2.74
-30	-22	0.93	1218	1247	1277	± 2.55
-20	-4	0.91	1338	1367	1396	± 2.35
-10	14	0.88	1467	1495	1523	± 2.14
0	32	0.85	1603	1630	1656	± 1.91
10	50	0.83	1748	1772	1797	± 1.67
20	68	0,80	1901	1922	1944	± 1.41

25	77	0.79	1980	2000	2020	± 1.27
30	86	0.78	2057	2080	2102	± 1.39
40	104	0.75	2217	2245	2272	± 1.64
50	122	0.73	2383	2417	2451	± 1.91
60	140	0.71	2557	2597	2637	± 2.19
70	158	0.69	2737	2785	2832	± 2.49
80	176	0.67	2924	2980	3035	± 2.8
90	194	0.65	3118	3182	3245	± 3.12
100	212	0.63	3318	3392	3466	± 3.46
110	230	0.59	3523	3607	3691	± 3.93
120	248	0.53	3722	3817	3912	± 4.7
125	257	0.49	3815	3915	4016	± 5.26
130	266	0.44	3901	4008	4114	± 6
140	284	0.33	4049	4166	4283	± 8.45
150	302	0.20	4153	4280	4407	± 14.63

2.2.2 Блок для вимірювання енергетичних параметрів

Для побудови стенду вивчення режимів функціонування сушарки була спроектована електрична схема приладу для вимірювання напруги та сили струму (рисунок 2.3). Як захисний елемент у схемі було використано діод КД522, що починає проводити струм при напрузі 0,6 В.

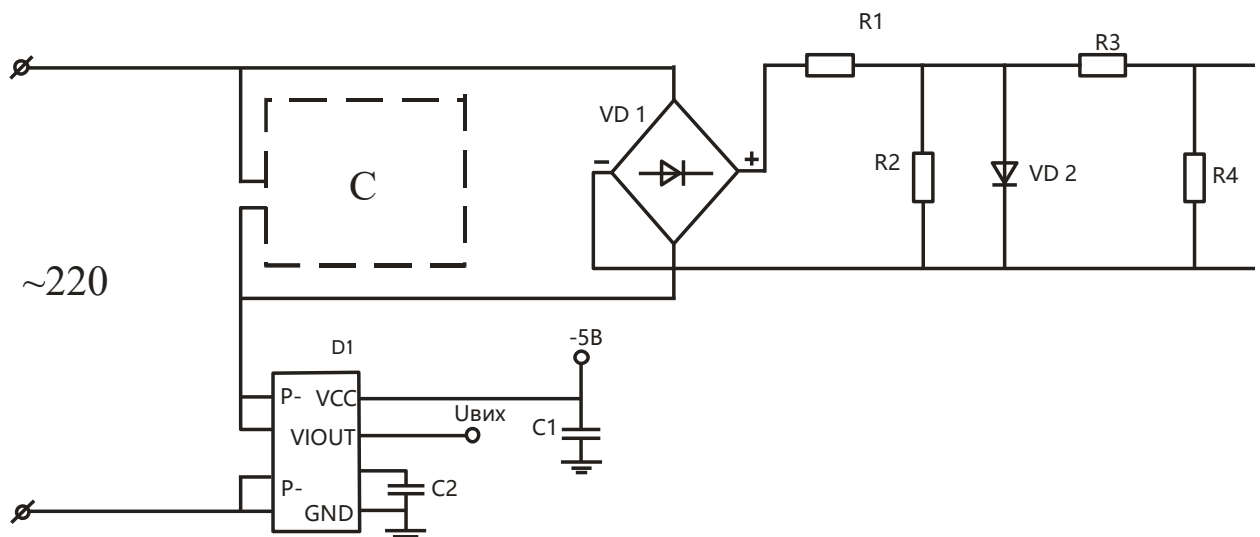


Рисунок 2.3 – Схема електрична пристрою визначення напруги і струму

Для глибшого, автоматизованішого аналізу процесу сушіння, ми використали датчик сили струму. Він призначений для контролю параметру струму, перетворення вимірів у цифровий формат та оптимізації обчислень, використовуючи показники сили струму.

Датчик струму ACS712ELECTR-20A-T використовує принцип Едвіна Холла. Суть явища: коли провідник зі струмом розташований у магнітному полі, на його кінцях з'являється електрорушійна сила (ЕРС), перпендикулярна до напрямку струму та магнітного поля. Ілюстрацію ефекту можна побачити на рисунку 2.4. Крізь тонькі пластини напівпровідникового матеріалу, які називають елементом Холла, тече струм I . Коли існує магнітне поле, на рухомі заряди електрони діє сила Лоренца, що викривлює траєкторію руху електронів. Це призводить до перерозподілів об'ємних зарядів в елементі Холла. В результаті такого впливу, на ребрах пластини, які співпадають з лінією потоку струму, з'являється електрорушійна сила, що дістала назву ЕРС Холла. Ця ЕРС напряму залежить від векторного добутку магнітної індукції B та густини струму I , а її характерна величина зазвичай становить кілька мікрвольтів [11].

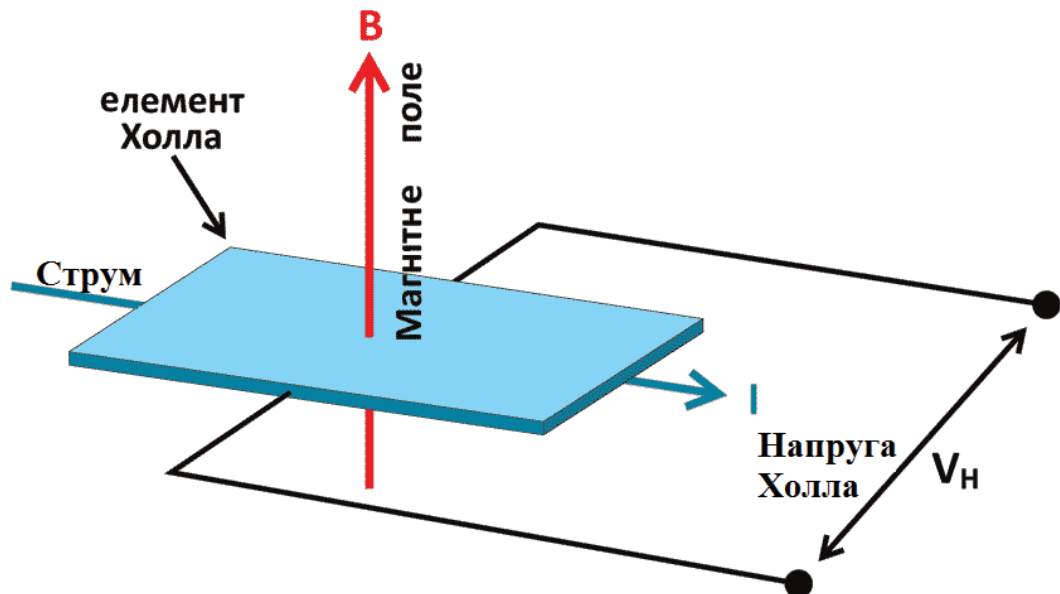
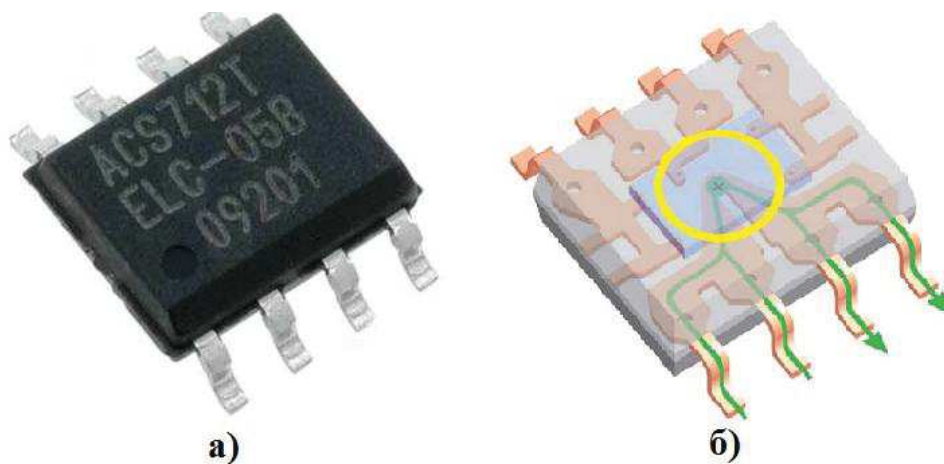


Рисунок 2.4 – Ефект Холла

Мікросхема ACS712ELECTR-20A-T виготовляється в компактному 8-піновому корпусі SOIC для поверхневих монтажів (рис. 2.5, а). Вона містить високоточний лінійний сенсор Холла з незначною напругою зсуву та мідний провідник, розміщений поблизу поверхні мікросхеми, який служить шляхом передачі сигналу для струму (рис. 2.5, б). Струм, що проходить через цей провідник, генерує магнітне поле, яке фіксує вмонтований у кристал датчик Холла. Інтенсивність магнітного поля пропорційна величині струму, що тече. Інтегрований формувач сигналу фільтрує та підсилює напругу, отриману з чутливого елемента, до значення, здатного для обробки АЦП мікроконтролера [12].



а) мікросхема ACS712ELECTR-20A-T в корпусі SOIC;

б) внутрішня конструкція датчика (видно U – подібний мідний провідник приходящий навколо елемента Холла)

Рисунок 2.5 – Датчик ACS712ELECTR-20A-T

2.3 Підбір обладнання для вимірювань

2.3.1 Блок гальванічної розв'язки

Гальванічна розв'язка застосовується, коли два або більше електричних кола потребують взаємодії інформацією, проте їхні "землі" можуть мати різні електричні потенціали. Це – дієвий спосіб протистояти небажаним

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

паразитним сигналам, котрі проникають через спільні ділянки "земляного" провідника. Гальванічна розв'язка також застосовується задля безпеки, не даючи людям зазнати ураження електричним струмом.

Гальванічна розв'язка HL-7B30 обладнана багатоканальними перетворювачами аналогових сигналів. Кожен канал має індивідуальну гальванічну розв'язку на 1500 В. Ці перетворювачі призначені для нормалізації сигналів: постійної та змінної напруги і струму, а також сигналів від термометрів опору, термопар та потенціометрів.

Конструктивно модулі оформлені як блоки з гвинтовим з'єднанням, поміщені в пластиковий корпус, призначені для монтажу на DIN-рейку.



Рисунок 2.6 –Блок гальванічної розв'язки

Таблиця 3.2

Технічні характеристики гальванічної розв'язки HL-7B30

Технічні характеристики	Величина
Кількість каналів	1 – 4 , функція відключення виходів
Діапазон частот	0..3 Гц / 0..10кГц

Основна похибка перетворення	$\pm 0.2 \dots \pm 0.5\%$
Похибка нелінійності не більше	0.1%
Блокування перешкоди загального вигляду не менше	100 дБ (50 Гц)
Напруга живлення	10..30 В
Діапазон робочих температур	-10 .. + 70
Споживана потужність не більше	0.3 Вт
Введення сигналів постійної напруги	0..100 мВ

2.3.2 АЦП

Наразі технології збору даних здобули надзвичайно широке розповсюдження: від наукових досліджень до різноманітних випробувальних робіт та автоматизації на виробництві. Для реалізації збору даних науковці та інженери вдаються до персональних комп'ютерів (ПК), що мають інтерфейси PCI-ex, PXI-it, COMPACT-PCI, PC-MCIA, USB, Fire-Wire, а також послідовні й паралельні порти. Багато приладів збору інформації монтуються безпосередньо всередині комп'ютера, пересилаючи дані прямісінько до його оперативної пам'яті. В окремих задачах застосовуються віддалені пристрої збирання даних, що зв'язуються з ПК через мережу Ethernet, або за допомогою послідовного та паралельного порту. Зазвичай, правдивість отриманих результатів залежить від елементів комп'ютерної системи збору даних.

Існують два кардинально відмінні типи сигналів, які визначають апаратне забезпечення системи збору даних: аналогові та цифрові. Спочатку потрібно класифікувати сигнал, виходячи з потреби вимірювання його певних параметрів. Приміром, той самий сигнал, що складається з імпульсів прямокутної форми, здатний виконувати обидві функції: цифрового сигналу,

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

якщо потрібно вимірювати частоту повторюваності імпульсів, та аналогового, коли вимірюється крутизна фронтів цих імпульсів.

Аналоговий сигнал здатний приймати будь-яке значення напруги, яке змінюється в часі. Розбір аналогового сигналу базується на вимірюванні його часової форми, що служить джерелом даних для подальшого вивчення таких його властивостей, як частота, пікові значення амплітуди, час наростання та спаду, або середнє значення. Параметри аналогового сигналу, що впливають на систему збору даних, такі: амплітуда сигналу, час, за який сигнал змінюється (до наприкладу: тривалість імпульсів або швидкості наростання фронту). Ключовим фактором є смуга частот сигналу, гармонічні спотворення, співвідношення сигнал/шум та інші параметри.

Отже, якщо рівень аналогового сигналу змінюється повільно з плином часу, зазвичай важливо виміряти його амплітуду з максимальною точністю. Відтак, потрібен пристрій для збору даних, що має велику роздільну здатність по амплітуді, але при цьому низьку частоту дискретизації у часовій області.

У синхронному типі інформаційного обміну між двома пристроями, заздалегідь узгоджується швидкість пересилання даних, і передавач, побітово відправляючи пакет, не переймається його правильним прийомом на стороні отримувача. Як наслідок, забезпечується максимальна швидкість передачі інформації, супроводжувана невисокою достовірністю. Щоб забезпечити стабільність роботи таких ліній, нерідко вдаються до методу підтвердження: одержувач надсилає отримані дані назад до передавача. Передавач аналізує, чи дані не спотворені, і ухвалює рішення: або повторити відправку, або надіслати нові. При застосуванні асинхронного обміну інформацією через шину передаються спеціальні сигнали управління. Ці сигнали сповіщають про готовність до отримання чи відправлення даних, підтверджують успішний прийом або передачу інформації. Завдяки цьому значно збільшується надійність процесу передавання даних.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У багатьох сценаріях, ініціювання та завершення процесу збору інформації доцільно прив'язувати до зовнішніх подій. Цифрові тригери чудово підходять для синхронізації операцій збору даних та формування сигналів з зовнішніми цифровими імпульсами. Аналогові тригери, застосовані переважно в аналоговому введенні, активують і припиняють процеси збору даних, коли вхідний сигнал перетинає визначений рівень напруги згідно з заданою полярністю. Варто пам'ятати, що не кожна система збору даних обладнана аналоговим тригером, натомість цифровий тригер присутній майже завжди.

У системах збору даних, що базуються на комп'ютерах, цифрові інтерфейси широко застосовуються для керування робочими процесами, формування сигналів, проведення випробувань та забезпечення взаємодії із зовнішніми пристроями. Цифрові лінії, що мають здатність переключатися між функціями вводу і виводу інформації.

Коли цифрові лінії застосовують для контролю таких операцій, як увімкнення/вимкнення нагрівачів, моторів чи ламп, велика швидкість обміну інформацією зазвичай не потрібна, оскільки подібне обладнання функціонує повільно. У даному сценарії доцільно застосовувати потенціал асинхронного вводу/виводу цифрових даних, коли зміни станів ліній та портів контролюються програмно, без застосування буфера даних. Завдяки спрощеній апаратній структурі цих пристроїв, їхня ціна є низькою, навіть при значній кількості цифрових ліній, що підлягають керуванню.

Цифровий ввід/вивід широко застосовується для обміну інформацією між комп'ютером та різними пристроями, як от мікроконтролерні системи, пристрої для обробки даних і принтери. В усіх цих застосуваннях важливими характеристиками є не тільки число наявних цифрових ліній, а й їхня пропускна здатність, швидкість зчитування та запису даних.

Підсилення – найчастіше використовуваний спосіб узгодження сигналів. Наприклад, щоб збільшити амплітуду сигналу та знизити рівень

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шуму, потрібно підсилювати слабкі сигнали, які надходять з термопар. Для досягнення найбільшої вірності показів, найбільший діапазон напруги у посиленому сигналі має бути еквівалентним до найбільшого вхідного діапазону аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

Електрична ізоляція сигналу з датчика від комп'ютера є вкрай важливою для безпеки. У вимірювальній системі можуть виникати високовольтні перехідні процеси, що становлять потенційну небезпеку для комп'ютера, якщо не використовуються модулі узгодження. Інша причина, чому слід застосовувати розділення сигналів, полягає в різниці потенціалів «землі» та синфазної напруги. Коли вхідний порт вимірювального пристрою, що працює з СД, та сам вимірюваний сигнал відносяться до потенціалу «землі», тоді проблеми можуть з'явитися, якщо ці «землі» мають різні потенціали. Це спричинить виникнення паразитного контуру із замиканням через «землю», що може зумовити помилкові вимірювання або навіть вивести вимірювальну систему з ладу, коли різниця потенціалів суттєва. Застосування модулів узгодження з гальванічною розв'язкою сигналу повністю ліквідує контури заземлення та гарантує коректне вимірювання сигналу.

Для аналізу процесу сушіння, що використовує гальванічну розв'язку, перетворення сигналу забезпечує багатофункціональна USB плата збору даних m-DAQ12. Надзвичайно практичною є опція підключення пристрою до ввімкненого комп'ютера декілька разів, особливо з USB інтерфейсом, і, що найважливіше, без ризику. Зазвичай, коли від'єднують інший USB-пристрій, доводиться запускати програму, аби його зупинити. Але з цим пристроєм такої потреби немає, що дуже зручно, зокрема для стендів, які застосовуються в навчальних цілях.

У контексті інтенсивного впровадження цифрових систем передачі даних на нашій кафедрі, відкривається перспектива їхнього продуктивного використання в лабораторних практикумах. Інтеграція комп'ютерів із цими

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

платами, використовуючи мережевий інтерфейс Ethernet, дозволяє ефективно інтегруватися з мережею кафедри. Це, у свою чергу, забезпечує високоякісний збір інформації та дистанційне керування об'єктами.

При роботі з такими проектами, що майже не задіяють звичайні мови програмування, суттєво полегшується задача відбору обслуговуючого персоналу. Під час поточної експлуатації часто постає потреба вносити незначні корективи до проекту. Як правило, йдеться про графіку та зміни у диспетчерських найменуваннях.

Це зможе здійснити інженерно-технічний персонал, який володіє навичками читання та аналізу функціональних і структурних схем устаткування, є досвідченим користувачем ПК та ознайомлений з основами мови LABVIEW.

АЦП – пристрій, який забезпечує перетворення аналогового сигналу на вхідний дискретний код (цифровий сигнал).

Для нашого устаткування ми зупинили вибір на мікросистемі m-DAQ12.

Мікропроцесорна система збору даних m-DAQ12 розроблена для введення та виведення як аналогових, так і дискретних сигналів. Вона демонструє свою ефективність у різноманітних сценаріях, включно з мобільними вимірювальними комплексами, а також знаходить широке застосування в лабораторних чи промислових умовах.

m-DAQ12 - це багатогранний вимірювальний модуль, що з'єднується з комп'ютером через USB-інтерфейс (USB 2.0 HighSpeed). Під'єднання сигналів відбувається через роз'єм, розташований на бічній панелі модуля.

Мікросистема забезпечує роботу з чотирма диференціальними або вісьмома однополярними каналами для прийому аналогових сигналів. Кожен аналоговий канал з'єднано з АЦП через підсилювач, що керується програмно, дозволяючи обирати один із чотирьох діапазонів вимірювання напруги.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модуль гарантує безперервне (синхронізоване внутрішнім годинником) збирання інформації з частотою дискретизації АЦП від 65 Гц до 100 кГц.

Цифрова периферія представлена у формі 8 цифрових ліній, які окремо настроюються на ввід чи вивід та сумісні з TTL рівнями. На контактних роз'ємах наявна напруга живлення для зовнішніх приладів +5 В та ± 15 В.

Основна модель мікросистеми m-DAQ12 постачена як модуль у компактному корпусі з АВС-пластику, з'єднання із зовнішніми пристроями реалізується через роз'єм DB-25. ЕОМ-варіант мікросистеми, виготовлений у вигляді плати, розроблено для вбудованих застосувань. Підключення до зовнішніх пристроїв в ньому відбувається за допомогою дворядного штирьового з'єднувача типу IDC-26.

Гарантоване максимальне значення частоти семплювання для одноканального режиму дорівнює 150 кГц, а у багатоканальному – 100 кГц. Запуск аналого-цифрового перетворювача реалізується за допомогою вбудованого програмованого генератора, тоді як старт процесу оцифрування може бути синхронізований з зовнішнім сигналом. Аналоговий тракт АЦП реалізує функцію перемикання входів та здійснює поканальну корекцію посилення сигналу. Кожен з вхідних каналів має власні налаштування: режим комутацій та індивідуального коефіцієнта підсилення аналогової частини (відповідно до чотирьох діапазонів вхідної напруги) [18].

Загальні технічні параметри:

- напруга живлення: Від USB 2.0, здатного працювати в режимі HighSpeed (480 Мбіт/сек);
- споживання струму (без навантаження на ЦАП та лініях дискретного вводу/виводу): не перевищує 250 мА;

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд мікросистеми m-DAQ12

2.3.3 Вибір програмного забезпечення для збирання та аналізу даних експериментів

Підготовка висококваліфікованих інженерів сьогодення немислима без оволодіння фундаментальними знаннями з автоматизації та управління фізичними процесами, використовуючи комп'ютерні технології, методи вимірювань та аналіз експериментальних даних. Разом з ключовими складовими інженерської освіти, відповідність знань фахівця з інформаційних технологій часто визначає його шанси на отримання роботи на підприємствах, керівництво яких пріоритезує впровадження високотехнологічних виробничих процесів. Високоякісна інженерна освіта мусить гарантувати розуміння сутності досліджуваних процесів, глибоке знання теоретичних засад розрахунків, основи проектування конструкцій, вміння застосовувати експериментальні методи вивчення та навички обробки результатів експериментів. Майбутньому інженерові слід набувати практичного досвіду, опановуючи навички роботи з ключовими типами засобів виробництва. Важливо вміти керувати збором та передачею даних

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стосовно реальних машин, їх компонентів та деталей. Усе це ставить перед нами важливе завдання – організацію освітнього процесу. Студент має мати змогу набувати практичного досвіду впродовж усієї навчальної програми. Йдеться про опанування навичок роботи з ключовими типами вимірювальних приладів фізичних величин, а також збору та аналізу даних. Необхідно навчити його розробляти закони управління для реальних об'єктів, оперуючи цими даними [2].

Навчальні лабораторії більшості українських вищих навчальних закладів (ВНЗ) здебільшого використовує обладнання, розроблене ще наприкінці ХХ століття. Значна частина лабораторних приладів вже повністю вичерпала свій ресурс та непридатна для проведення вимірювань. Інша частина має значний фізичний знос та потребує відновлювального ремонту, що ускладнюється відсутністю відповідних запчастин. Частина приладів, які ще використовуються, за своєю схемотехнікою, конструкцією та фізичними параметрами застаріла та не відповідає сучасним інформаційним технологіям.

Методика вимірювання ключових параметрів на цьому обладнанні передбачає застосування первинних перетворювачів механічного спрямування та ручний збір даних. Дозволено стверджувати, що відбулося фізичне та моральне застарівання устаткування цього типу. Потрібно створити нову концепцію експериментальних комплексів, використовуючи сучасні інформаційно-вимірювальні системи та ефективну методику проведення навчальних лабораторних робіт, що базуються на дослідницькому підході.

LabVIEW - середовище для розробки віртуальних лабораторних приладів - це середовище графічного програмування, що здобуло широке застосування в промисловості, освіті та науково-дослідних установах. Воно є стандартним інструментом для збирання даних і управління обладнанням. Це

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міцне та адаптивне середовище, яке використовують для здійснення вимірювань і опрацювання отриманої інформації.

LabVIEW – багатоплатформне середовище, призначене для комп'ютерів, що працюють під керуванням різних операційних систем. Персональні комп'ютери демонструють більшу гнучкість у порівнянні зі звичними вимірювальними приладами. Отож, створення власної програми в LabVIEW, відомої як віртуальний прилад, виявляється нескладною задачею. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача LabVIEW перетворює процес розробки та використання програм на захопливе та цікаве заняття.

Концепція LabVIEW різко відрізняється від усталеного підходу до програмування, притаманного традиційним мовам, таким як C++, Pascal чи Basic. Вона пропонує розробнику інтуїтивно зрозуміле графічне середовище, яке містить повний комплект інструментів, необхідні для збору даних, їхнього аналізу та візуалізації отриманих результатів. За допомогою графічної мови програмування G (Graphics), розробник може візуально сконструювати алгоритм конкретної задачі у вигляді блок-діаграми, яка, зрештою, компілюється у машинний код.

Застосування цієї мови програмування дозволяє оперативно розробляти віртуальні прилади з широким спектром функціональності для аналізу, обладнані інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом. Код, який генерується в процесі програмування, візуально нагадує звичну для інженерів-розробників блок-схему. Навіть без спеціальних навичок програмування, рішення задач вимагає значно менше часу та зусиль у порівнянні з традиційним способом написання програмного забезпечення.

LabVIEW також включає у себе великі бібліотеки функцій та інструментів, розроблених для створення системи збору даних і системи автоматизованого контролю.

Неодмінною складовою вимірювальних комплексів виступає персональний комп'ютер з належним програмним забезпеченням. В

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комп'ютерному блоці встановлюється плата АЦП/ЦАП, необхідна для перетворення стандартизованого аналогового сигналу в цифровий формат, придатний для обробки ЕОМ, або цифрового сигналу в аналоговий, задля керування виконавчими пристроями.

При створенні вимірювальних систем на основі АЦП/ЦАП, в якості первинних перетворювачів застосовуються аналогові датчики. Ці пристрої трансформують фізичну величину, яка вимірюється, в електричний сигнал, котрий відповідає певному діапазону. Аналоговий сигнал від сенсора надходить до модуля адаптації. Необхідність у такому модулі обумовлена потребою в узгодженні сигналів з датчиків, аби їх параметри відповідали рівню та типу сигналу, що використовується на платі АЦП.

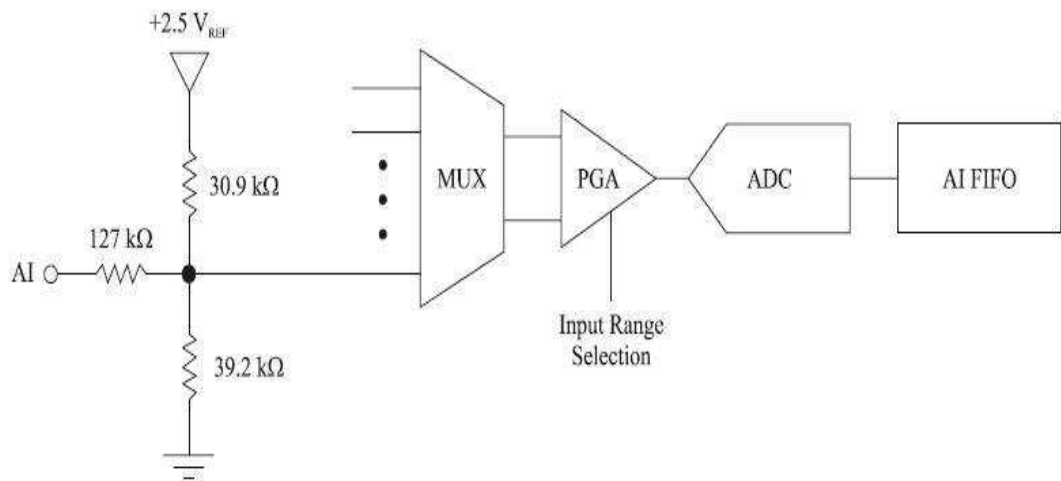


Рисунок 2.8 – Принципова схема блоку аналогового введення

Пристрій збирання даних USB оснащений одним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП – ADC). Мультиплексор забезпечує послідовне з'єднання кожного каналу аналогового введення до підсилювача з регульованим посиленням. Підсилювач з регульованим посиленням (PGA). Підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення збільшує сигнал, що надходить, у 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16 або 20 разів, якщо використовується

диференціальне підключення. В разі застосування схеми з загальним проводом, посилення дорівнює 1. Величина посилення визначається автоматично, аналізуючи діапазон вхідної напруги, що запрограмована у додатку A/D Converter (аналого-цифровий перетворювач) [3].

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) здійснює дискретизацію аналогового сигналу, тобто перетворює його в цифровий код. Він надсилає дані до AI FIFO (FIFO буфера для аналогового введення). Прилад здатний здійснювати перетворення аналогового сигналу в цифровий однократно або багаторазово, обробляючи велику кількість зразків. Буфер FIFO використовується для збереження даних, отриманих в процесі аналогового введення, задля уникнення їх втрати [2].

2.3.4 Підбір ПК

Не завжди є змога розмістити вимірювальні прилади безпосередньо на об'єкті. Самі об'єкти вимірювань, часто великі й комплексні, неможливо переносити чи транспортувати. Сучасні електронні дива здатні вмістити на крихітному кремнієвому чипі функціонал, що ще десятиліття тому потребував цілої будівлі й десятків висококваліфікованих спеціалістів. Ціна за мільйон обчислень в секунду у кишеньковому форматі невинно знижується. Отже, з кожним днем мобільні вимірювальні комплекси, що використовують комп'ютерні технології, стають все більш доступними та потужними. У зв'язку з цим, більше третини комп'ютерів, які продаються сьогодні, є портативними пристроями. За продуктивністю та ціною вони стрімко наближаються до своїх настільних аналогів. Щодо розширення функціоналу та додавання аксесуарів для цього невеличкого електронного помічника виникають певні складнощі. Наразі, завдяки зусиллям глобальної комп'ютерної галузі, що вимірюються мільярдами, існує щонайменше чотири усталені способи вирішення цього питання. Не вдаючись в глибини деталей, підкреслимо тільки, що тут їх представлено у порядку зростання швидкості

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

обміну даних, хоча б це далеко не один і іноді не найголовніший критерій для мобільних пристроїв. Перший зі згаданих стандартів PCMCIA (PCcard) передбачає встановлення плати у спеціальний роз'єм всередині комп'ютера. EPP являє собою вдосконалену версію стандартного паралельного порту. USB та IEEE1394 (або Firewire) є сучасними високошвидкісними послідовними інтерфейсами.

Насамперед, комп'ютеризовані вимірювальні та випробувальні системи більше не обмежені лише стаціонарними комп'ютерами. Тепер ці системи можуть повністю скористатися перевагами портативних комп'ютерів, зокрема гнучкістю, універсальністю та мобільністю. З іншої сторони, вартісні і функціональні переваги використання комп'ютера у вимірювальному комплексі можуть бути поширені на портативні і мобільні вимірювальні системи, використовуються спеціалізовані, а значить, дорогі при розробці і експлуатації прилади.

Портативний комп'ютер та багатофункціональний пристрій введення/виведення сигналів різного типу за наявності відповідних даних. Цифровий осцилограф, аналізатор спектру аудіо, систему діагностики авто або систему керування малою технологічною чи дослідницькою установкою. Фактично, перехід від розв'язання однієї задачі до іншої відбувається виключно через підключення відповідних джерел сигналу та активацію необхідного програмного забезпечення. Це дає економію ресурсів як під час використання, так і при розробці вимірювальних систем. Ми маємо можливість не лише бачити сигнали, а й виконувати в реальному часі їхнє складне математичне опрацювання, зберігати на диск та виводити результати. Національна Інструментс Корпорейшн (США), славетна своїми здобутками у сфері інтелектуальних вимірювальних систем, наполегливо інтегрує свої найновітніші рішення у портативні формати. Саме ця компанія стала піонером, випустивши прилади введення/виведення сигналів, що відповідають стандартам PCMCIA, USB, а відносно нещодавно – Firewire.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вони дають змогу використовувати всі позитивні якості портативних комп'ютерів для виконання вимірювань, як складних, так і простіших.

Зі зростанням кількості каналів або потребою в нормалізації сигналів можна вдатися до використання системи узгодження сигналів National Instruments SCXI у портативному варіанті або окремих блоків для мультиплексувань, фільтрацій, мостових вимірювань, термопари, резисторних та інших сенсорів. Раніше це було доступне лише у стаціонарному виконанні. Окрім операцій, що стосуються вимірювань, система також має вбудовані можливості управління зовнішніми пристроями, використовуючи для цього як дискретні, так і аналогові сигнали.

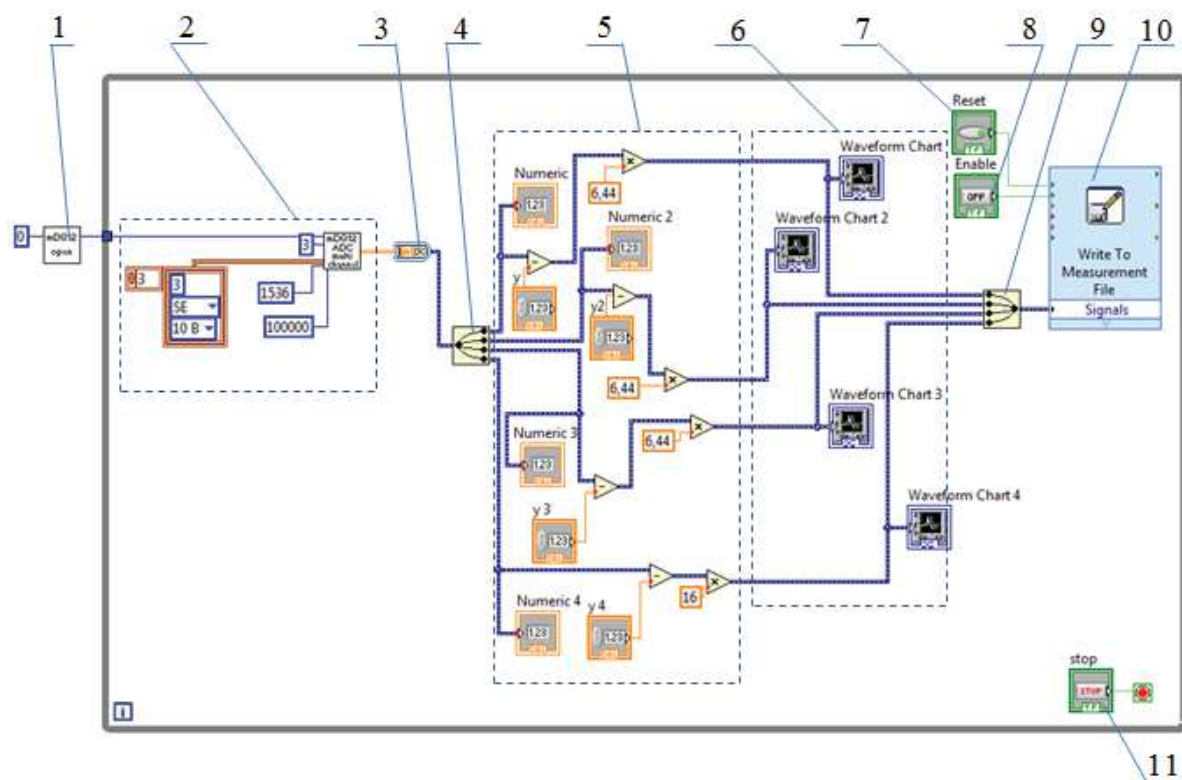
Портативні рішення National Instruments (серій DAQpad та DAQcard) за своїми функціональними можливостями та програмним інтерфейсом аналогічні до популярних вбудованих плат National Instruments, призначених для стандартних настільних комп'ютерів. Це надає зручність перенесення програмного забезпечення стаціонарного вимірювального обладнання на портативні комп'ютери та в зворотному напрямку, одночасно розв'язуючи безліч задач на єдиній програмно-апаратній базі. Застосування комп'ютера для розв'язання найрізноманітніших вимірювальних задач, як у стаціонарному, так і портативному варіантах, суттєво розширює потенціал і адаптивність користувача, дозволяючи досягти оптимального співвідношення ціни та ефективності. Значне посилення можливостей проти звичайних приладів підкреслюється зменшенням часу розробки систем, скороченням тривалості вимірювань, покращенням обробки та представленням результатів.

Отже, для здійснення наших досліджень ми залуцаємо персональний комп'ютер, блок гальванічної розв'язки і USB перетворювач [1].

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Розробка блок-діаграм віртуального приладу у середовищі LabView

Розроблена блок-діаграма віртуального приладу у середовищі LabView представлено на рис. 2.9.



1 – елемент керування портом аналогово-цифрового перетворювача(АЦП); 2 – блок управління потоками даних з АЦП; 3 – елемент перетворення масиву значень в оброблюваний сигнал; 4 – елемент розділення сигналу на окремі потоки; 5 – блок тарування сигналу; 6 – блок виведення сигналу на графічні індикатори; 7, 8 – кнопка управління записом в файл; 9 – елемент об'єднання оброблених потоків сигналу в один; 10 – блок запису даних в файл; 11 – кнопка зупинки виконання програми

Рисунок 2.9 – Блок-діаграма віртуального приладу в середовищі LabView

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Спочатку програма активує порт за допомогою модуля 1. Після цього інформація про активний порт надходить до блоку керування потоками даних з АЦП 2, конфігурація якого здійснюється за допомогою відповідних елементів налаштування. В них визначаються: кількість каналів АЦП, з яких буде отримуватися інформація; частота, з якою буде відбуватися зчитування даних, що надходять на відкриті канали; розмір вихідних даних у форматі масиву з модуля 6; параметри конфігурації каналів, з яких виводяться дані.



Рисунок 2.10 – Лицьова панель віртуального приладу в середовищі LabView

Масив даних, через перетворення його елементів, що представляють собою набір значень, у оброблюваний сигнал, трансформується у потік даних. Цей потік значно зручніше обробляти, відобразити на графічних індикаторах блоку 6, а також зберігати для подальшого аналізу, використовуючи блок 9.

Оскільки дані надходять із чотирьох незалежних джерел, спочатку їх розподіляють на два окремі потоки, використовуючи компонент 4. Потім, кожен з цих потоків обробляють та візуалізують на графічних індикаторах. Тарування відбувається шляхом арифметичних перетворень, застосовуючи відповідні коефіцієнти, що зберігаються у блоці 5. Використовуючи арифметичну операцію віднімання, сигнал приводиться до нульового значення. Після потрібних перетворень сигнали знову сходяться в єдиний потік на елементі 9, звідки прямують до блоку запису даних у файл 10. Управління цим процесом здійснюється за допомогою кнопок 7 та 8. Для завершення роботи програми призначена кнопка 11 [2].

Висновки до другого розділу

На основі проведеного аналізу і динамічних параметрів, вимірювання яких потребує експериментальний стенд, було підібрано технічні засоби та вимірювальні компоненти: АЦП, блок гальванічного розв'язку, ПК, дільник напруги, датчик струму, датчик температури.

Комплектування дослідного стенду актуальним технічним обладнанням та програмним забезпеченням LabView дає змогу виконувати вимірювання з високою точністю, відповідаючи актуальним вимогам наукових досліджень.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНКИ ПОБУТОВОГО СУШИЛЬНОГО АПАРАТУ

3.1 Розрахунок витрат теплоти та повітря при сушінні

Під час розрахунку витрат тепла та повітря для сушіння взуття з технічної повсті, шкіри та хутра, найчастіше використовують графоаналітичний метод, заснований на діаграмі $h - x$. При цьому, кінетичні аспекти процесу, як правило, не враховуються. При розрахунках сушарень, зазвичай визначаються температурою T_0 та відносною вологістю повітря (точка А) (рис. 3.1, а). Температура T_1 після нагрівача (точка В) визначають, враховуючи технологічні потреби, як припустиму величину. Після сушіння (точка С) зазвичай задається температура або відносна вологість.

Положення робочої лінії сушіння визначається умовами $A = 0$, тобто $h_1 = h$; $\Delta < 0$ тобто $h_2 < h$; $\Delta > 0$, тобто $h_2 > h_1$. Положення Робочої лінії, відповідні до цих умов, представлено на (рис 3.1, б) Лінія BC відповідає теоретичній сушарці. Точка С з параметром x_2 може бути легко знайдена, тому що робоча лінія йде при $h_1 = h_2 = \text{const}$. Втрати теплоти в навколишній простір компенсуються додатковим підведенням.

Лінії BC_1 і BC_2 відповідають дійсним сушкам з різними питомими тепловими втратами Δ . Лінія BC_2 відповідає випадку, коли $h_2 > h_1$, тобто коли в процесі сушіння додатковий підігрів приводить до збільшення ентальпії повітря ($\Delta > 0$). Лінія BC_1 відповідає випадку, що найбільше часто зустрічається, зниження ентальпії повітря в процесі сушіння ($h_2 < h_1$).

Для знаходження точок C_1 , C_2 (див. рис. 3.1, б), відповідних до дійсної сушки, роблять це у такий спосіб. Через точку В проводять лінію $h_1 = \text{const}$ і на ній вибирають довільну крапку e .

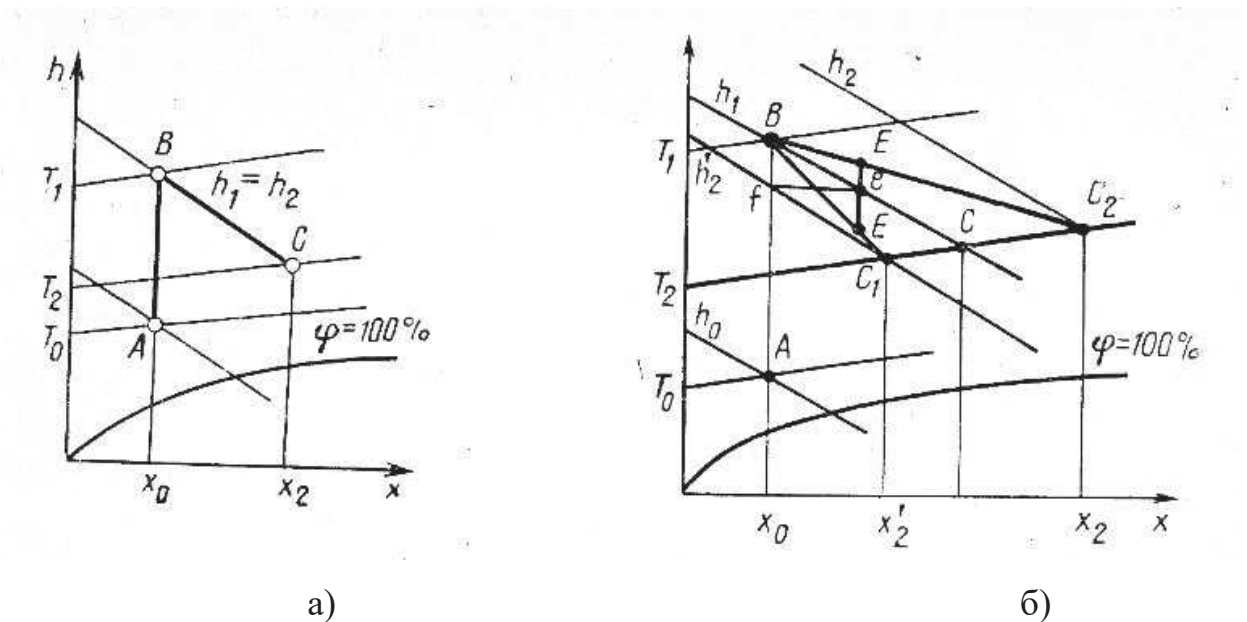
Від точки e нагору або вниз залежно від знака Δ відкладають відрізок eE , довжина якого розрахована по рівнянню:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$eE = ef \frac{\Delta}{M_h / M_x}, \quad (3.1)$$

де M_h, M_x – масштаби відповідно осей A та x ;

ef – графік по горизонталі від точки e до лінії AB , сушка на графіку h – x .



h_0 і x_0 – ентальпія і вологовміст поступаючого в сушку повітря, Дж/кг; кг/кг; h'_2 і x'_2 – ентальпія і вологовміст повітря що виходить для дійсної сушки при умові $\Delta < 0$; h_2 і x_2 ; h_2 і x_2 – ентальпія і вологовміст повітря що виходить для дійсної сушки при умові $\Delta > 0$

а) діаграма $h - x$ для сушки в дійсній сушарці; б) діаграма $h - x$ для сушки в теоретичній сушарці

Рисунок 3.1 – Діаграма $h - x$ для сушки

Кінець відрізка eE й точку B з'єднують прямою лінією до перетинання з лінією заданої температури T_2 (або φ_2) і знаходять точку C_2 або C_1 .

Правильність такої побудови впливає. Замінімо в ньому координати кінцевої точки (x_2, h_2) поточними координатами (x, h) для деякої довільно обраної точки E , лежачої на лінії процесу сушки в дійсній сушарці. Тоді

$$\frac{h - h_t}{x - x_0} = \Delta, \quad (3.2)$$

де по діаграмі $h - x$ знаходимо, що $h - h_t = a_{eE} m_h$, $x - x_0 = a_{ef} m_x$,

де a_{eE} і a_{ef} — довжина відрізків eE і ef ;

m_h і m_x — масштаби осей діаграми $h - x$.

Отже,

$$\frac{a_{eE} m_h}{a_{ef} m_x} = \Delta, \quad (3.3)$$

Тобто

$$a_{eE} = a_{ef} \Delta / m_h / m_x. \quad (3.4)$$

Аналітичні обчислення виконуються, використовуючи рівняння теплового балансу. Спочатку обчислюють кінцеву вологість повітря на виході з сушарки за рівнянням, враховуючи вираз:

$$x_2 = \frac{x_1(\Delta - 1,93 \cdot 10^3 T_1 - 2493 \cdot 10^3) + 10^3(T_2 - T_1)}{\Delta - 1,93 \cdot 10^3 T_2 - 2493 \cdot 10^3}. \quad (3.5)$$

Обчисливши x_2 , за температурою T_2 визначають ентальпію повітря на виході з сушарки. Потім розраховують L та Q .

Для забезпечення найкращого режиму, тобто такого, де час сушіння та енергоспоживання є мінімальними, а характеристики висушеного матеріалу

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідають заданим вимогам, виконується аналіз зміни середньої вологості та середньої температури матеріалу – досліджується кінетика процесу.

Характер кривих, що відображають кінетику процесу, зумовлений фізико-хімічними особливостями вихідного матеріалу, який підлягає сушінню, та принципами тепломасопереносу між ним та зовнішнім середовищем.

Крива висушування демонструє взаємозв'язок між середньою вологістю матеріалу та часом сушіння, і формується на основі даних, зібраних шляхом зважування матеріалу, що висихає.

При висушуванні матеріал втрачає вологу нерівномірно, через це процес можна поділити на дві фази: перша фаза — зниження вологості матеріалу від вихідної W_H до критичної W_{KP} за лінійним законом ($tg \alpha = const$), і друга фаза – зниження вологості матеріалу по певній кривій, асимптотично, що прямує до рівноважної вологості W_p . Досягнення збалансованої вологості W_p означає, що випаровування вологи з матеріалу повністю припинено. На практиці, проте, рівноважної вологості зазвичай не досягають: кінцева вологість завжди вища. Її значення залежить від технологічних потреб та умов процесу сушіння.

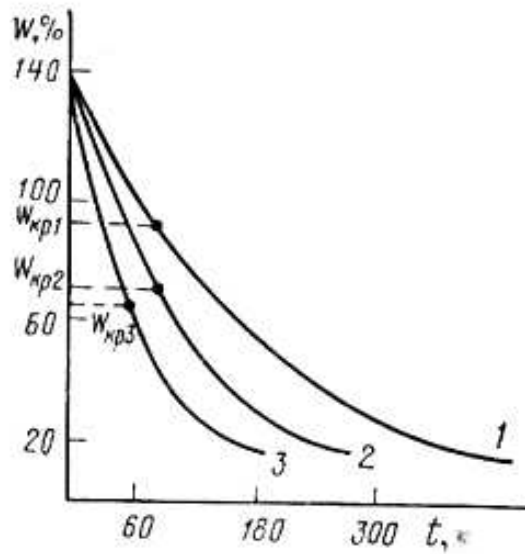
На рис. 3.2 та 3.3 зображені криві сушіння юкти хромового дублення та хутряної овчини, що здійснюються за різних температурних режимів. Спостерігаємо, що температура процесу суттєво впливає на кінцеву вологість матеріалу – з її підвищенням вологість знижується.

Під час сушіння деяких речовин швидкість зменшення вологості на другому етапі може варіюватися, про що свідчить поява точки перегину на графіку сушіння. Ця точка відповідає другій критичній вологості, яку позначають як W_{KP2} .

Виникнення другої критичної точки на графіку сушіння в матеріалі має різні інтерпретації. Наприклад, А.В. Ликов пояснює, що друга критична точка позначає межу переходу від випаровування капілярної вологи до

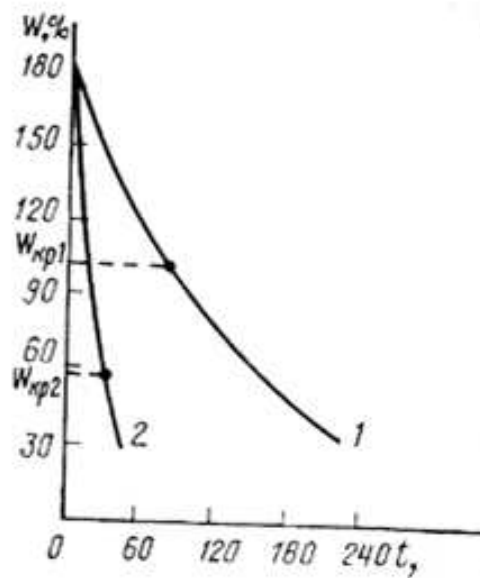
					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випаровування гідратаційної вологи, що фізично та хімічно взаємодіє з матеріалом.



1 - 40; 2 - 60; 3 - 80; $W_{кр1}$, $W_{кр2}$, $W_{кр3}$ - критична вологість при режимах 1, 2, 3

Рисунок 3.2 – Криві сушки юфти хромтаннідного дубління при температурі, °С



1 - 40°С; 2 - 80°С;

Рисунок 3.3 – Криві сушки хутрової овчини в псевдорозрідженому шарі при температурі

Під швидкістю сушіння (інтенсивністю) розуміють об'єм вологи, що випаровується за визначений проміжок часу з окремого шматка матеріалу, який піддається сушінню:

$$V_c = \frac{dM_{вл.}}{dSdt}. \quad (3.6)$$

Швидкість висихання також може бути визначена як зниження вологості матеріалу за одиницю часу:

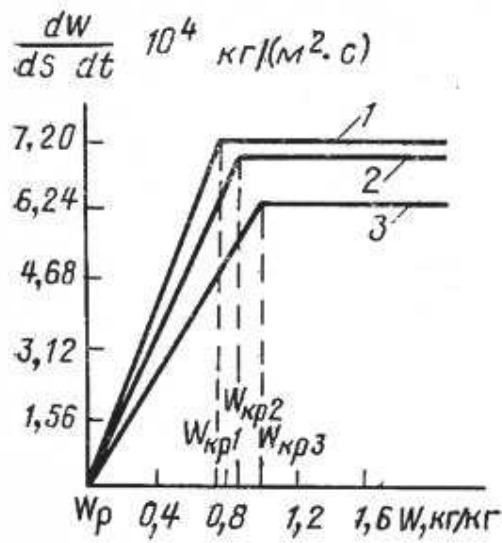
$$V_c = dW / dt, \quad (3.7)$$

де S – поверхні матеріалів, які висушуються, m^2 .

Графік залежності швидкості сушіння від вмісту вологи у матеріалі, відомий як крива швидкості сушіння (рис. 3.4), дає змогу чіткіше розмежувати етапи сушіння. Перший етап сушіння характеризується горизонтальною ділянкою кривої. У другому етапі швидкість сушіння падає і стає рівною нулю при досягненні рівноважної вологості.

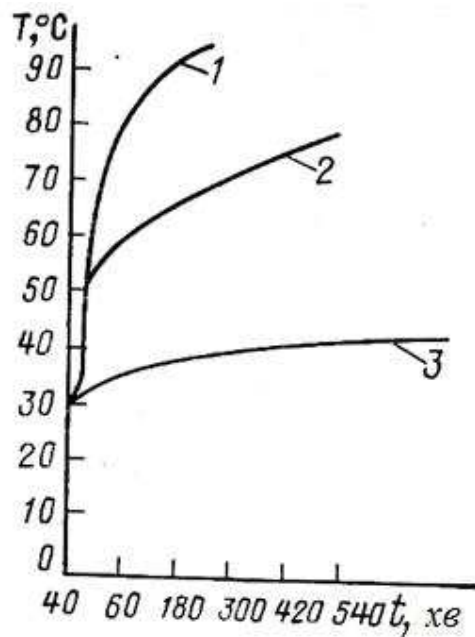
Різноманітність кривих швидкості сушіння у другому періоді обумовлена низкою факторів. Вони варіюються залежно від властивостей самого матеріалу, характеру зв'язку вологи з ним та механізму переміщення вологи всередині структури. Гаразд, для ніжних матеріалів з великою питомою площею випаровування крива швидкості сушіння на другому етапі демонструє або лінійний характер (папір, тонкий картон), або вигляд кривої, вигнутої опуклістю до вісі координат (тканина, шкіра) (див. рисунок 3.4).

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - 0,85 м/с; 2 - 0,5 м/с; 3 - 0,4 м/с $W_{кр1}$, $W_{кр2}$, $W_{кр3}$ - критична вологість при режимах 1,2,3.

Рисунок 3.4 – Вплив швидкості повітря на інтенсивність сушки картону:



1 - 95; 2 - 74 і 3 - 50.

Рисунок 3.5 – Температурні криві колективної сушки латексу при температурі °С:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для аналізу процесу сушіння ключовим є розуміння змін температури матеріалу у залежності від вологості (температурна крива), адже від температури й часу її впливу суттєво залежить якість кінцевого продукту [9].

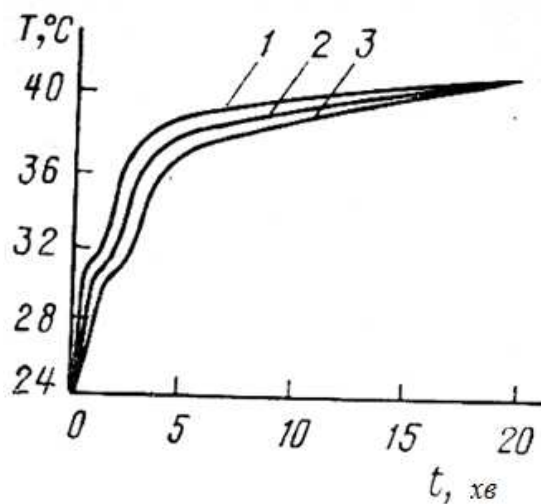
За температурними графіками (рис. 3.5) можливо визначити етапи сушіння, не вдаючись до побудови кривих сушіння.

Температурні криві, що їх отримано під час конвективного сушіння синтетичного латексу (див. рис. 3.5), засвідчили, що температура шару латексу на початковому етапі незначно перевершує температуру змоченого термометра. Це зумовлено додатковим нагрівом випромінюванням.

Зі зростанням температури процесу формування плівки та зменшенням тривалості початкового періоду сушіння, температура шару стрімко підвищується, стаючи ближчою до температури навколишнього оточення.

Температурні криві, що отримані під час сушіння шкіряної сировини у псевдозрідженому шарі інертного теплоносія, демонструють зміни температури у різних шарах напівфабрикату протягом процесу сушіння. При зануренні в киплячий шар відбувається нагрівання всіх шарів напівфабрикату, тобто існує невеликий відрізок часу на прогрів (рис. 3.6). Коли температура на поверхні напівфабрикату досягає температури вологого термометра, на графіках з'являється пряма горизонтальна лінія. Далі температура в кожному з шарів починає збільшуватися, і через 20 хвилин після початку сушіння температура матеріалу стає такою ж, як і температура псевдорозрідженого шару. Порівняння графіків температур з відповідними графіками сушіння демонструє, що тривалість періоду сталої температури коротша за тривалість першого періоду на кривих сушіння. Зростання температури матеріалу в перший період сушіння спричинено заглибленням фронту випаровування.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – лицьовий шар; 2 – бахтармянний шар; 3 – внутрішній шар

Рисунок 3.6 – Температурні криві сушки шкіряного напівфабрикату в псевдорозрідженному шарі інертного теплоносія при температурі 20⁰ С

З початком другого етапу сушіння напівфабрикату, температура його бахтармяної поверхні стрімко зростає. Наприкінці процесу вона стає майже такою ж, як і на лицьовій стороні.

Для більшості волокнистих матеріалів, що використовуються у легкій промисловості, фаза спаду швидкості поділяється на дві частини, в кожній з яких швидкість сушіння змінюється по кривих, що за методом А. В. Ликова замінюються двома відрізками прямих, які з'єднують точки W_P , W_{KP1} , W_{KP2} . Відтак, тривалість сушіння визначається виразом:

$$t = \frac{1}{V_C} (W_H - W_{KP1}) + \frac{2,3}{k_1} \lg(W_{KP1} - W_{KP2}) + \frac{2,3}{k_2} \lg \frac{W_{KP} - W_P}{W - W_P}, \quad (3.8)$$

де k_1 та k_2 – відносні коефіцієнти висушування, що визначаються за тангенсом кута нахилу до горизонталі кривих швидкості сушіння у другому періоді.

Характеристики кінетичних кривих сушіння шкіри та картону має узгоджуватися з ключовими постулатами теорії сушіння. Тому, щоб продемонструвати застосування рівняння (3.8), було виконано порівняння експериментальної та обчисленої за вказаним вище рівнянням тривалості сушіння картону.

Так, наприклад, тривалість сушіння картону при температурі 130° С і швидкість повітря 1,31 м/с становить 12 хв, швидкість першого періоду при цих умовах рівна $27,5 \cdot 10^{-5}$ кг/(м² · с) перша критична вологість $W_{кр1} = 67,2\%$, друга критична вологість $W_{кр2} = 38,5\%$.

Тривалість висихання, що обчислена за формулою (2.7), складає 13 хв, натомість встановлена експериментальним методом — 12 хв. Зазначений спосіб бере до уваги фактичні умови сушіння для певного матеріалу на підставі простого попереднього дослідження [9].

3.2 Розрахунок основних елементів електричної схеми

Падіння напруги (зниження потенціалу, коли заряд рухається від одного пункту кола до іншого) на кожному резисторі, як впливає із закону Ома, перебуватиме у прямому зв'язку з опором:

$$U = I \cdot R. \quad (3.9)$$

Для кожного з резисторів:

$$U_1 = I \cdot R_1. \quad (3.10)$$

$$U_2 = I \cdot R_2. \quad (3.11)$$

$$U_3 = I \cdot R_3. \quad (3.12)$$

$$U_4 = I \cdot R_4. \quad (3.13)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділивши вираз для U_1 на вираз для U_2 і U_3 на U_4 в результаті отримуємо:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (3.14)$$

$$\frac{U_3}{U_4} = \frac{R_3}{R_4}, \quad (3.15)$$

$$U_1 = 299,4 \text{ В};$$

$$U_2 = 0,6 \text{ В};$$

$$U_3 = 0,4 \text{ В};$$

$$U_4 = 0,2 \text{ В}.$$

Таким чином, відношення напруг U_1 до U_2 і U_3 до U_4 в точності дорівнює відношенню опорів R_1 до R_2 і R_3 до R_4 .

Отже,

$$\frac{299,4}{0,6} = \frac{R_1}{R_2},$$

$$\frac{0,4}{0,2} = \frac{R_3}{R_4}.$$

Резистори обираємо із номінального ряду Е6. Звідки, R_1 вибираємо на 300 кОм $\pm 20\%$, R_3 на 3,9 кОм $\pm 20\%$, а резистор R_2 і R_4 знаходимо з формул:

$$U_{\text{вих}_1} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times U_{\text{вх}_1}, \quad (3.16)$$

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{вих2} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} \times U_{ex2}, \quad (3.17)$$

$$U_{вих1} = 0,6 \text{ В};$$

$$U_{вх1} = 300 \text{ В};$$

$$U_{вих2} = 0,2 \text{ В};$$

$$U_{вх2} = 0,6 \text{ В}.$$

Звідки,

$$0,6 = \frac{R_2}{R_2 + 300000} \times 300,$$

$$R_2 = 601,2 \text{ Ом}.$$

$$0,2 = \frac{R_4}{R_4 + 3900} \times 0,6,$$

$$R_4 = 1950 \text{ Ом}.$$

Вибираємо з номінального ряду R_2 на 560 Ом $\pm 20\%$ і R_4 на 2 кОм $\pm 20\%$.

Висновки до третього розділу

Для визначення оптимального температурного режиму сушіння вологих тканин було виконано серію розрахунків щодо питомої витрати тепла та питомої витрати повітря.

Під час розрахунку витрат тепла та повітря для сушіння взуття з технічної повсті, шкіри та хутра використано графоаналітичний метод.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наведено температурні криві, що отримані під час сушіння шкіряної сировини у псевдозрідженому шарі інертного теплоносія.

Проведено розрахунок основних елементів електричної схеми.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						55
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

Виконано аналіз технічної літератури стосовно обчислень та вивчення процесів сушіння.

Проведено огляд та дослідження конструкцій конвективних сушарок.

На основі проведеного аналізу і динамічних параметрів, вимірювання яких потребує експериментальний стенд, було підібрано технічні засоби та вимірювальні компоненти: АЦП, блок гальванічного розв'язку, ПК, дільник напруги, датчик струму, датчик температури.

Комплектування дослідного стенду актуальним технічним обладнанням та програмним забезпеченням LabView дає змогу виконувати вимірювання з високою точністю, відповідаючи актуальним вимогам наукових досліджень.

Для визначення оптимального температурного режиму сушіння вологих тканин було виконано серію розрахунків щодо питомої витрати тепла та питомої витрати повітря.

Під час розрахунку витрат тепла та повітря для сушіння взуття з технічної повсті, шкіри та хутра використано графоаналітичний метод.

Наведено температурні криві, що отримані під час сушіння шкіряної сировини у псевдозрідженому шарі інертного теплоносія.

Проведено розрахунок основних елементів електричної схеми.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Петренко І.С., Шевчук Д.С. Теплотехніка // "Журнал механічних систем." – 2016. – № 11. – С. 65–69.
2. Дмитренко А.В., Мельник Ю.О. Системи нагрівання для побутових сушарок // "Техніка та інновації." – 2017. – № 3. – С. 48–52.
3. Ковальчук П.О., Іваненко Р.М. Побутові сушильні апарати: сучасні рішення // "Вісник інженерії та технологій." – 2018. – № 2. – С. 31–36.
4. Крамаренко О.В., Сидорчук А.В. Вибір теплоносія для сушильних установок // "Науковий вісник енергетики." – 2018. – № 4. – С. 55–60.
5. Хоменко Л.М., Савчук Н.П. Вплив температурних режимів на якість сушіння // "Теплотехнічні процеси і обладнання." – 2019. – № 1. – С. 40–46.
6. Дорошенко А.С., Мазур І.К. Енергоефективність побутових сушарок // "Енергетика і ресурси." – 2019. – № 5. – С. 33–38.
7. Тищенко С.В., Павлюк О.М. Дослідження повітряних потоків у сушильних камерах // "Інженерна справа сьогодні." – 2020. – № 2. – С. 22–28.
8. Андрусенко Т.В., Литвиненко В.О. Контроль вологості у побутових сушарках // "Системи контролю і автоматики." – 2020. – № 3. – С. 44–49.
9. Гончарук І.Б., Соколенко А.І. Вентиляційні системи в сушильних апаратах // "Технічна електроніка." – 2020. – № 4. – С. 39–45.
10. Левченко І.П., Горбач І.Р. Компактні конструкції сушильного обладнання // "Побутова техніка і технології." – 2021. – № 1. – С. 27–32.
11. Орел В.С., Журавель М.Т. Автоматизація побутових сушарок // "Автоматизація та інтелектуальні системи." – 2021. – № 2. – С. 51–56.
12. Зінченко Ю.А., Кириленко Д.О. Застосування ПІ-регуляторів у сушарках // "Приладобудування і керування." – 2021. – № 5. – С. 60–65.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Руденко В.М., Заяць С.С. Матеріали для корпусів побутових сушарок // "Матеріалознавство в техніці." – 2022. – № 3. – С. 35–41.

14. Шульга О.Г., Остапчук І.В. Програмне керування сушильними апаратами // "Інформаційні технології в техніці." – 2022. – № 6. – С. 50–55.

15. Нечай Н.І., Гладкий М.В. Сенсорні системи в побутових сушильних приладах // "Сенсорика і мікросистеми." – 2023. – № 2. – С. 42–48.

16. Бондаренко В.С., Колосюк А.Є. Екологічні аспекти експлуатації сушильних машин // "Екологічна техніка." – 2023. – № 4. – С. 37–43.

17. Снігур І.О., Чалий Р.Б. Надійність нагрівальних елементів у побутових сушарках // "Надійність технічних систем." – 2023. – № 5. – С. 30–36.

18. Гречко С.П., Ляшенко Т.О. Аналіз споживання енергії побутовими сушарками // "Енергоефективність в побуті." – 2024. – № 1. – С. 46–52.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		