

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Міністерство освіти і науки України

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного
менеджменту

Юречко Іван Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.317.39

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення приладу для експрес-контролю вологості виробів з деревини

(назва роботи)

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка"

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня _____ Юречко І. Д.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Біліщук В. Б., к.т.н., доцент

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

_____ В. С. Цих

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 152 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка"

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТЕМ

«___» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Юречку Івану Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення приладу для експрес-контролю вологості виробів з деревини

керівник роботи, Біліщук В. Б., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 13 травня 2026 року № 215/7

2. Строк подання студентом роботи 30 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: діапазон контролю вологості 0-30%, діапазон температур 0-40 °С.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз відомих методів і засобів для контролю вологості виробів з деревини. 2. Розроблення приладу для експрес-контролю вологості виробів з деревини. 3. Метрологічний аналіз приладу. 4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Теоретичний плакат. 2. Структурна схема. 3. Електрична схема. 4. Конструкція давача. 5. Метрологічний аналіз.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
4	Кривенко Г. М., доцент		

7. Дата видачі завдання 29 травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз відомих методів і засобів для контролю вологості виробів з деревини	04.06.2026 р.	
2	Розроблення приладу для експрес-контролю вологості виробів з деревини	09.06.2026 р.	
3	Метрологічний аналіз приладу	12.06.2026 р.	
4	Охорона праці	18.06.2026 р.	

Студент _____ Юречко І. Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Біліщук В. Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 70 с., 14 рис., 3 табл., 24 джерел, 5 аркушів креслень.

Об'єкт дослідження – контроль вологості виробів з деревини.

Мета роботи – розроблення приладу для експрес-контролю вологості виробів з деревини.

В даній бакалаврській роботі зроблено аналіз методів і приладів для контролю вологості виробів з деревини. Розроблено прилад для експрес-контролю вологості шпону. Розроблено конструкцію давача приладу. Розроблено електричну схему. Здійснено метрологічний аналіз приладу, і розроблено схему нагромадження похибок.

ВОЛОГІСТЬ, ДЕРЕВИНА, ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ

ABSTRACT

Thesis: 57 c., 14 figs, 3 tables, 20 sources, 6 sheets of drawings.

Object of research - control of wood moisture.

The purpose of the work is to analyze and develop a device for express control of moisture content of wood.

In this thesis the analysis of methods and devices for control of wood moisture is made. An instrument for express control of wood moisture has been developed. The design of the sensor of the device is developed. An electric circuit is developed. Metrological analysis of the device was carried out, and the scheme of accumulation of errors was developed.

HUMANITY, WOOD, EXPRESS-CONTROL

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз відомих методів і засобів для контролю вологості виробів з деревини	11
1.1 Аналіз об'єкта контролю	11
1.2 Аналіз методів контролю вологості виробів з деревини	13
1.3 Аналіз відомих приладів для контролю вологості виробів з деревини..	15
1.4 Постановки задачі на бакалаврська роботу.....	19
2 Розроблення приладу для експрес-контролю вологості виробів з деревини	20
2.1 Теоретичні основи контролю вологості виробів з деревини.....	20
2.2 Розроблення структурної схеми приладу	24
2.3 Розроблення конструкції давача приладу.....	25
2.4 Розроблення електричної схеми вимірювального блоку приладу.....	28
2.5 Розроблення алгоритму роботи програмного забезпечення мікроконтролера	33
2.6 Розроблення конструкції приладу.....	37
2.7 Розроблення методики визначення вологості виробів з деревини розробленим приладом	38
3 Метрологічний аналіз приладу	39
3.1 Загальний аналіз невизначеностей вимірювань.....	39
3.2 Розрахунок невизначеностей контролю вологості	42
4 Охорона праці.....	46
4.1 Законодавче та нормативно-правове забезпечення охорони праці	46
4.2 Організація роботи з охорони праці на підприємстві	46
4.3 Основні причини нещасних випадків на виробництві та профзахворювань і заходи щодо їх попередження.....	55

4.4 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища.....	57
4.5 Забезпечення нормальних умов праці	57
4.6 Висновки до розділу	63
Висновки	64
Список використаних джерел	65
Додатки.....	67

ВСТУП

Деревина — це відносно твердий, міцний волокнистий матеріал, який становить основну частину стовбурів, гілок і коренів дерев та чагарників і прихований під корою. Вона утворена великою кількістю трубчастих клітин, стінки яких переважно складаються з целюлози, з'єднаної в майже однорідну масу пектатами кальцію і магнію. У природному стані деревину використовують як будівельний матеріал і паливо, а після подрібнення та хімічної обробки — як сировину для виготовлення паперу, деревноволокнистих плит і штучних волокон. Вона відігравала важливу роль у розвитку цивілізації і донині залишається одним із ключових видів сировини для багатьох галузей промисловості.

Складно назвати сферу господарства, де б деревина не застосовувалася у тій чи іншій формі, а також перелічити всі вироби, до складу яких вона входить. За масштабами використання та різноманіттям сфер застосування жоден інший матеріал не може зрівнятися з нею.

Деревину широко використовують для виробництва меблів і столярно-будівельних виробів. Вона служить матеріалом для виготовлення елементів мостів, суден, кузовів і вагонів, тари, шпал, спортивного інвентарю, музичних інструментів, сірників, олівців, паперу, предметів побуту, іграшок і сувенірів. У натуральному або модифікованому вигляді її застосовують у машинобудуванні та гірничій промисловості; вона також є основною сировиною для целюлозно-паперової галузі та виробництва деревних плит.

Широке використання деревини зумовлене її цінними фізико-механічними властивостями. Вона добре піддається обробці, має низьку теплопровідність, достатню міцність при невеликій масі, стійкість до ударних і вібраційних навантажень, а в сухих умовах є довговічною. Деревина легко з'єднується кріпленнями, добре склеюється, має привабливий вигляд і придатна для нанесення захисно-декоративних покриттів. Водночас їй властиві й недоліки: вона є горючою,

схильна до гниття, ураження комахами та грибами, гігроскопічна, що призводить до набухання, усихання, викривлення та розтріскування. Тому контроль якості деревини є важливим завданням, а одним із основних показників її якості виступає вологість.

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ВИРОБІВ З ДЕРЕВИНИ

1.1 Аналіз об'єкта контролю

У дереві міститься значна кількість вологи. Вона необхідна для підтримки життєдіяльності клітин дерева. У природних умовах життя лісу волога грає позитивну роль також в кожному відмерлому дереві. Вона сприяє розвитку в деревині мікроорганізмів, отже своєчасному біологічному її руйнуванню і удобренню таким чином ґрунту.

Під час використання зрубаної та обробленої деревини постає потреба захистити її від біологічного руйнування і підвищити стійкість до гниття. Найпростіший спосіб досягти цього — майже повністю видалити з неї вологу. У результаті така нестійка сировина біологічного походження перетворюється на цінний матеріал, здатний зберігатися тривалий час.

Особливо швидко (за 1-2 міс) в літній час псується зрубана, але не розібраний і, отже, не просушена в короткий термін, деревина бука, берези та осики; гниють і сирі дошки, покладені в щільну стопу. Необхідно тому колоди цих деревних порід, а також клена, ясена, вільхи, липи та ін. терміново розпилювати і потім дошки негайно сушити з максимально допустимою інтенсивністю.

Основні фактори гниття деревини - помірна температура (5-40 ° С), кисень повітря і значна (але не близька до максимальної) її вологість. Для збереження деревини бажано, щоб в результаті зневоднення в ній залишилося менше п'ятої частини вологи по відношенню до маси самої деревини. Відношення маси вологи до маси самої деревини називають її вологістю.

Деревина, що застосовується у вигляді дощок і заготовок у будівництві, машинобудуванні, деревообробній, меблевій та інших галузях, набуває необхідних

експлуатаційних властивостей лише після якісного висушування. Саме тоді вона стає стійкою до біологічного руйнування, здатною зберігати форму й розміри виробів, досягає максимальної механічної міцності при мінімальній щільності, добре піддається обробці та характеризується низькою тепло- й електропровідністю.

Механічна міцність деревини суттєво підвищується зі зменшенням вмісту вологи, особливо в діапазоні нижче 30%, і зростає безперервно аж до її повного видалення; водночас деревина стає легшою. У міру висихання деревини до порівняно низькій вологості поліпшуються її технологічні властивості - чистота розпилювання, стругання, шліфування, міцність склеювання, якість обробки і ін. Одночасно підвищується її теплота згоряння, що істотно при використанні деревних відходів в якості палива. Просочення антисептиками в умовах заводського консервування в просочувальних циліндрах краще протікає після попередньої підсушування деревини, що підлягає просоченню, приблизно вологості до 20-25%.

Залежно від умов використання деревини мета сушіння і вимоги до окремих властивостей деревини різні: при масовій сушінні пиломатеріалів на лісопильних заводах це запобігання подальшого біологічного руйнування деревини і зменшення транспортних навантажень при доставці споживачеві; для будівництва і деревообробки, крім того, запобігання подальшої деформації і передчасного зносу різних пристроїв і виробів з неї, а також поліпшення її фізико-механічних властивостей; в меблевому виробництві, крім зазначеного, надання ряду позитивних технологічних властивостей; в спеціальних виробництвах (фанерному, сірниковій, деревних плит) - надання матеріалу додаткових властивостей відповідно до вимог технологічних процесів цих виробництв; в музичній промисловості, крім усього перерахованого, досягнення швидкого «старіння» (стабілізації) деревини.

У всіх випадках мета сушіння - перетворення деревини з природної сировини в промисловий матеріал з корінним поліпшенням при цьому її біологічних, фізико-технічних, технологічних і споживчих властивостей. В результаті сушіння повинен виходити облагороджений матеріал, більш якісний і цінний, що відповідає різноманітним високим вимогам, що пред'являються до нього в різних виробничих і побутових умовах.

Господарське значення сушки деревини велике. Сушку деревини на

підприємствах зазвичай проводять до заданої величини її вологості в спеціальних сушильних установках. Істотний недолік непросушеної або недосушеної деревини - її подальша додаткова усадка в перпендикулярному напрямку до довжини волокон, що призводить до виникнення нещільності в з'єднаннях деталей, їх покособленості в різних напрямках, розтріскування і т. д. Внаслідок цього виріб в короткий термін після виготовлення різко знижує свої якісні показники або зовсім приходить в непридатність. Отже, підвищений вміст води в деревині при виробленні з неї продукції неприпустимо; продукція буде низькоякісної, з малим ресурсом служби. [1].

1.2 Аналіз методів контролю вологості виробів з деревини

Вологість деревини визначає безпосереднім виміром, наприклад при висушуванні (ваговий метод - найбільш точний), або непрямим визначенням, досліджуючи якусь властивість деревини, залежне від вологості.

Ваговий метод полягає в наступному. Про вологості партії матеріалу судять по вологості характерних його проб (не менше трьох). Зразки на вологість довжиною 1-1,5 см уздовж волокон відрізають на відстані не менше десятиразової товщини від торця дошки. Потім їх очищають від задирок і негайно зважують на технічних вагах. Після зважування (маса m_1) зразки висушують до постійної їх маси m_2 в термостатичному сушильній шафі при $100 \pm 5^\circ \text{C}$. висушують зразки зважують через 6, а потім через кожні 2 г. Вологість деревини обчислюють з точністю до 1% за наступною формулою.

$$w = 100(m_1 - m_2)/m_2 \quad (1.1)$$

Для більш швидкого, але наближеного визначення вологості температуру в сушильній шафі підвищують до $130-140^\circ \text{C}$. Для ще більшого прискорення сушки зразки після першого зважування роздрібнюють. При цьому спостерігають за тим, щоб деревина не потемніла до контрольного зважування, інакше буде встановлена помилкова вологість.

До недоліків цього методу відноситься його тривалість і псування частини деревини для вирізки зразків на вологість.

Електричний метод. Найбільш точно піддаються вимірюванню електричні властивості деревини, які і покладені в основу численних конструкцій вологомірів. Більшість електричних вологомірів заснована на зміні омичного опору в залежності від вологості деревини (рис. 1.1). Суха деревина - діелектрик. Її електропровідність швидко зростає зі збільшенням вологості до межі гігроскопічності. При подальшому підвищенні вологості електропровідність збільшується повільно, а при вологості вище 80-100% встановлюється постійна (рис. 1.1).

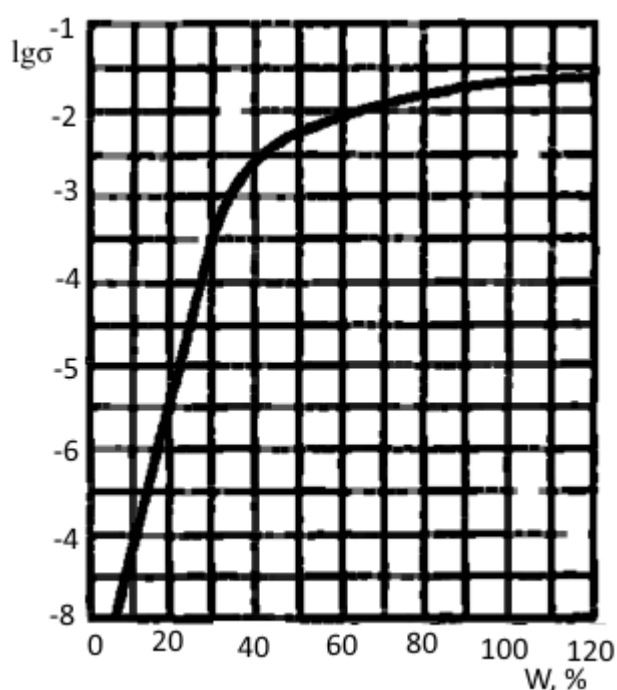


Рисунок 1.1 – Залежність електропровідності деревини від її вологості

Електропровідність деревини в радіальному і тангенціальному напрямках приблизно однакова, а по довжині волокон - в 2 рази більше (так само, як і теплопровідність). За цим принципом конструюють вологоміри.

Вологість вимірюють уткання голок приладу в пласть дошки на глибину 0,2 її товщини так, щоб електричний струм проходив вздовж волокон; за величиною провідників деревини на шкалі відраховують безпосередньо значення її вологості. Точність відліку вологості в діапазоні 6-30 % близько 0,1, а в діапазоні 30-100 % - близько 0,2 від вимірюваної величини.

На підприємствах використовують електровологоміра ЕВ-2К з двома діапазонами вимірювання вологості 7-30 і 30-60%; до приладу прикладають

інструкцію по його користуванню.

Метод усадки деревини. Між усадкою деревини та зниженням її вологості існує кореляційний залежність, яку намагалися використовувати для контролю вологості деревини під час сушіння. Був запропонований метод запису усадки штабеля на діаграмі барабана годинникового механізму, що встановлюється в коридорі управління. Прилад пов'язаний зі штабелем тонким дротом і блочками. Тривають публікації про спроби застосувати аналогічні методи. Цим підтверджується життєвість проблеми і необхідність її подальшого вивчення на предмет виявлення оптимального рішення і практичного використання в сушильній техніці.

Неточність цього методу обумовлена особливістю прокладок з різною вологості і реологічні характеристикою, а також невивченістю закономірностей усадки деревини в різних умовах висушування. Не виключено виробниче використання цього методу при висушуванні матеріалу певної характеристики, а також при сушінні заготовок (без прокладок) [1].

1.3 Аналіз відомих приладів для контролю вологості виробів з деревини

Шведська компанія «EXOTEK» [2] виробляє широкий асортимент вологомірів, здатних задовольнити практично всі потреби користувачів. Прилади цієї марки призначені для визначення вологості як твердих матеріалів (деревина, деревні плити, бетон, газобетон, цегла, облицювальна плитка, штукатурка, шифер), так і сипучих чи волокнистих середовищ (пісок, вапно, будівельні суміші, тирса, тріска, пелети, сіно, солома тощо).

Резистивні вологоміри EXOTEK випускаються у виконаннях із вимірювальними голками або спеціальною вимірювальною камерою. До таких моделей належать MC-460 і MC-600SD, основні параметри яких подано в таблиці 1.1.

Модель MC-460 (рис. 4.4) відзначається ширшою сферою застосування: окрім визначення вологості деревини, її використовують для вимірювання вологості тирси, тріски, пелет, деревних відходів, пальмової олії, паперу, а також біопаливних

культур, зокрема міскантусу.

Вологоміри EXOTEK є зручними у використанні та придатні навіть для невідготовлених користувачів. Для вимірювання вологості сипучих і волокнистих матеріалів (тирса, відходи деревини, сіно тощо) необхідно заповнити ними вимірювальну камеру, за потреби ущільнити (якщо це передбачено конструкцією), обрати відповідну групу матеріалу в меню та виконати вимірювання. Важливо враховувати, що чим щільніше заповнена камера, тим вищою буде точність результату.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики резистивних вологомірів EXOTEK

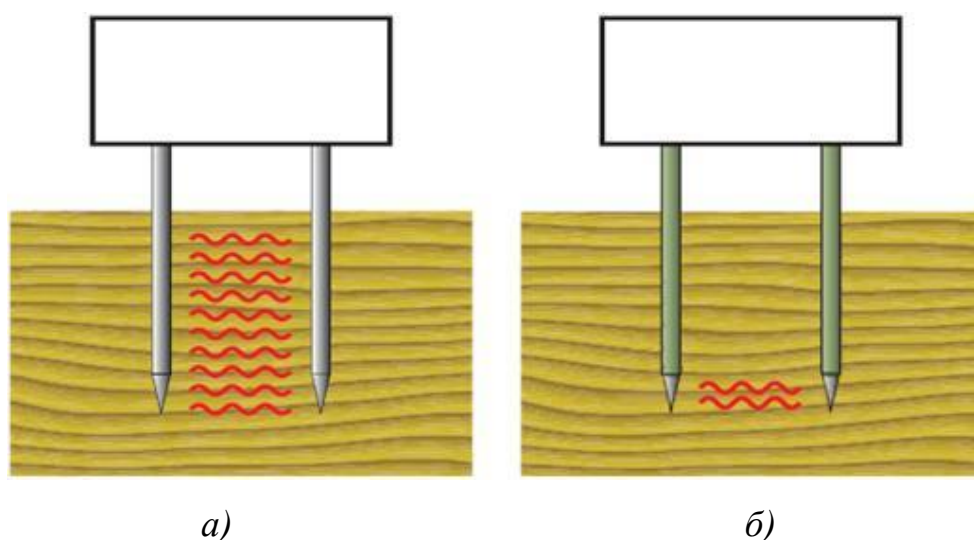
Модель вологоміра	МС-460	МС-600SD
Спосіб вимірювання	резистивний	резистивний
Тип вимірювального зонду	голкові зонди або вимірювальна камера	вимірювальна камера
Діапазон вимірювання	3-130 % (деревина)	8-50 % (опилки) 10-30 % (сіно, солома)
Точність	$\pm 0,5$ %	± 1 % (8...15 %) ± 2 % (вище 15 %)
Роздільна здатність	0,1 %	1 %
Об'єм зразка у вимірювальній камері	40 см ³	120 см ³
Сила стиснення зразка	–	0,2 МПа
Глибина вимірювання	8-200 мм залежно від довжини електродів	–

Для визначення вологості деревини та інших щільних матеріалів використовують голчасті зонди двох різновидів: з ізольованими та неізольованими голками (рис. 1.2). Зокрема, для моделі МС-460 виробник пропонує чотири типи таких зондів різної довжини, як з ізольованими, так і з неізольованими електродами.

У випадку застосування зондів із неізольованими голками електричний опір

вимірюється вздовж усієї їх довжини. Натомість зонди з ізованими голками забезпечують вимірювання опору лише на кінчиках електродів, що дає змогу визначати вологість на заданій глибині матеріалу. На рис. 1.2 наведено області вимірювання вологості для обох типів зондів.

Під час використання голчастого зонду вимірювання виконують у такій послідовності: спочатку зонд під'єднують до приладу, після чого вводять у матеріал на необхідну глибину. Далі в меню обирають тип досліджуваного середовища і проводять вимірювання. Важливо враховувати, що при застосуванні зонду з неізованими електродами нерівномірний розподіл вологи всередині зразка може суттєво впливати на точність отриманих результатів.



а) *б)*
а – схема з неізованими електродами, б – схема з ізованими електродами

Рисунок 1.2 – Зона вимірювання вологості при використанні зондів з різними типами електродів.

Вимірювач вологості НІТ-3 (рис. 4.5) являє собою електронний пристрій для вимірювання вологості деревини. Його важливою особливістю є те, що він повністю розташований у молотковому електроді. Пристрій оснащений вбудованою компенсацією температури і вибором породи деревини [3].

На вологомірі присутні кнопки для вибору породи деревини і встановлення її температури в діапазоні від -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Ним можна виміряти вологість 270 різних порід деревини. При вимірюванні рекомендується використовувати голки довжиною 25-30% від товщини деревини, тоді їх занурення достатнє для отримання точніших результатів. Основні параметри приладу приведені в табл. 1.2.

Електронний індикатор вологості деревини ППК-200 призначений для вимірювання відносної вологості пиломатеріалів. Виріб призначений для використання як в закритих приміщеннях, в неагресивній середовищі при температурі від + 5 ° С до 35 ° С (індикаторний блок) і відносній вологості до 100% [4].

Індикатор представляє собою широкодіапазонний вимірювач провідності деревини. Функціональна схема приладу містить на аналогову, цифрову частини і блок живлення. Аналогова частина містить давач (рис. 4.6), що перетворює фізичну величину вологості ділянки деревини між електродами в електричну напругу.

Таблиця 1.2 – Основні технічні характеристики вологоміра НІТ-3

Назва параметра	Значення
Діапазон вимірювання	6% - 60% (абсолютна вологість)
Роздільна здатність	0,1%
Точність	
Діапазон 6 - 15%	± 1%
Діапазон 16 - 28%	± 2%
Діапазоні від 28 - 60%	± 10%
Температура деревини	-10 ° С - +60 ° С
Кількість порід деревини	9 груп (12 порід +270 екзотичних порід)
Електроди	3,5x12 мм - (2 шт. + 2 запасних)
Потужність	1*12V (23А акумулятор)
Вага	0,8 кг
Розміри	210x120x60 мм

Таблиця 1.3 – Основні технічні характеристики вологоміра ППК-200

Назва параметра	Значення
Діапазон вимірювання	від 8% до 90%.
Роздільна здатність	
Точність	

в межах від 8% до 12% вологості	не більше $\pm 0.8\%$ абсолютної
в межах від 12% до 30% вологості	не більше $\pm 1\%$ абсолютної
в межах від 30% до 90% вологості	не нормується
Час вимірювання	не більше 1 сек
Вага	не більше 0,2 кг

У цифрову частину входять мікропроцесор, постійна пам'ять, і рідкокристалічний індикатор. На передній панелі вимірювача вологості (рис. 4.7) знаходяться чотири кнопки управління, кнопка включення приладу. У нижній частині корпусу розташовані: введення кабелю живлення, роз'єми кабелів датчиків. Справа – перемикач датчиків.

1.4 Постановки задачі на бакалаврська роботу

Основними задачами даної бакалаврської роботи є:

- 1) розглянути теоретичні основи функціонування приладу;
- 2) розробити структурну схему приладу;
- 3) розробити електричну принципову схему приладу;
- 4) розробити конструкцію первинного перетворювача приладу;
- 5) здійснити метрологічний аналіз розробленого приладу.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ВИРОБІВ З ДЕРЕВИНИ

2.1 Теоретичні основи контролю вологості виробів з деревини

Електричний неруйнівний метод контролю вологості з використанням вимірювача вологості за електропровідністю використовують для деревини, яка має вологість від 7% до точки насичення волокон (приблизно 30%). Для проведення контролю використовують електровологомір, робота якого базується на вимірюванні електричного опору і має вбивні електроди.

Кондуктометричні вологоміри засновані на вимірюванні електричного опору зразка матеріалу, розміщеного між двома металевими електродами. Електропровідність деревини визначається електролітами, розчиненими у воді.

Основою кондуктометричного методу вимірювання вологості є залежність електричних параметрів матеріалу від вологості. Сучасна теорія діелектриків не дає повного вирішення цього завдання для капілярнопористих вологовмісних тіл, що становлять багатофазні гетерогенні системи з різко відмінними фізичними (в тому числі і електричними) властивостями фаз. У вологовмісних дисперсних системах є також поверхневі фази, фізико-хімічні властивості яких відрізняються від властивостей води в обсязі. Неоднорідності складу і структури, зокрема пористої, цих тіл обумовлюють неоднорідності внутрішнього електричного поля, що впливають на електричні параметри тіла [6].

Такі-системи не можна розглядати як механічні суміші сухої речовини і вологи. Для створення згаданих математичних моделей необхідно макроскопічне (електротехнічне) і мікроскопічне (молекулярне) наближення фізики діелектриків доповнити фізико-хімічним підходом, що враховує стан вологи і її форми зв'язку з сухою речовиною. Друга істотна вимога - дослідження параметрів матеріалів в широкому діапазоні частот.

Для задоволення зазначених вимог доводиться використовувати переважно не аналітичні, а експериментальні залежності. Найбільш простий характер має залежність від вологості провідності матеріалу на постійному струмі, а також при промислової і низьких звукових частотах, т. б. При істотному переважанні чисто омичний провідності, викликаній переміщенням носіїв заряду.

Матеріали, що містять вологу, у сухому стані є діелектриками з питомим об'ємним опором $\rho_v = 10^{10} - 10^{15} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ і більше. Проте зі зростанням вологості вони набувають властивостей напівпровідників, а значення ρ_v зменшується до $10^{-2} - 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Таким чином, питомий опір залежно від вмісту води змінюється у надзвичайно широких межах — на 12–18 порядків. Наявність води та неоднорідність діелектрика впливають не лише на величину питомої провідності, а й на її характерні особливості, зокрема залежність від напруженості електричного поля і температури. Електропровідність таких матеріалів не можна вважати суто іонною. Водночас вони не є і класичними напівпровідниками, де носіями заряду виступають лише електрони. Основну роль у провідності відіграє саме вода. Чиста вода вже має помітну електропровідність ($\rho_v = 22 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при $+20^\circ \text{C}$), але ще важливішою є її здатність викликати дисоціацію електролітів. Електропровідність твердих матеріалів визначається передусім електролітами, розчиненими у воді, які здебільшого містяться в самому матеріалі. При цьому залежність питомої електропровідності від вологості значною мірою визначається характером розподілу води, що, своєю чергою, зумовлюється пористою структурою матеріалу, формою, розмірами та розподілом пор.

При вимірюванні вологості гігроскопічних матеріалів виникають труднощі при оперуванні питомими електричними характеристиками. У цих матеріалів питомий електричний опір не є строго незмінною характеристикою. У певних умовах опір давача залежить від напруги на вимірювальних електродах, що призводить до нелінійності вольт-амперної характеристики. Ще більший вплив мають конфігурація електродів і їх механічні дії на матеріал.

Поверхнева електропровідність діелектриків не є чітко визначеним поняттям. Величина струму, що протікає між електродами, розташованими на одній стороні поверхні діелектрика, залежить від того, чи однакові провідності поверхневого і внутрішніх шарів матеріалу або є поверхневий шар з помітно підвищеною в

порівнянні з внутрішніми шарами провідністю.

При оцінці вологості матеріалу по його провідності струм, що проходить через внутрішню область матеріалу, краще характеризує усталену середню вологість матеріалу в порівнянні зі струмом в поверхневому шарі. Однак практично на результат вимірювання опору давача з матеріалом впливає не тільки об'ємний, але і поверхневий струм між електродами.

З викладеного випливає, що розрахункові та експериментальні значення питомих опорів однозначно можна порівняти тільки при однакових умовах вимірювань.

Можна, однак, встановити деякі загальні для даного методу закономірності і в першу чергу закон залежності опору від вологості матеріалу. На рис. 2.1 наведені в напівлогарифмічних координатах залежності опору давача R_x від вологості матеріалу, отримані для різних матеріалів в різних умовах вимірювання. Для всіх матеріалів органічного походження (як і майже для всіх капілярнопористих матеріалів) залежність опору R_x від вмісту води і в загальному вигляді може бути виражена ступеневою функцією

$$R_x = \frac{c}{W^k}, \quad (2.1)$$

де c і k - позитивні постійні, залежні від досліджуваного матеріалу і умов вимірювання.

Графік функції (рис. 2.1) являє собою криву, яка асимптотично наближається до осі u . Функція $R_x(W)$, яка використовується в кондуктометричних вологомірах, має дві характерних ділянки:

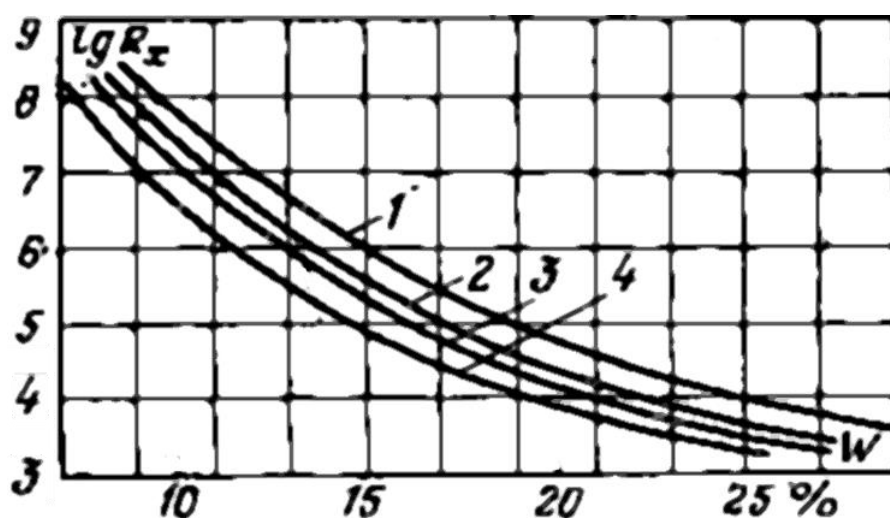
а) початкова ділянка, що відповідає низькій та середній вологості, характеризується дуже високою крутизною і в напівлогарифмічних координатах може бути апроксимувати прямою

$$\lg R_x = a - b \cdot W \quad (2.2)$$

де a і b – постійні, залежні від матеріалу і умов вимірювання.

На цій ділянці вологомір має дуже високу чутливість до змін вологості, яка є основною величиною, яка визначає величину R_x вплив інших факторів на величину R_x незначно в порівнянні з впливом вологості. Як наслідок результат вимірювання вологості мало залежить, наприклад, від змін геометричних розмірів електродів;

б) ділянка підвищеної вологості характеризується значним зниженням крутизни характеристики $R_x(W)$ і відповідно чутливості вологоміра з ростом вологості. На величину вимірюваного опору починають давати переважаючий вплив чинники, не пов'язані з вологістю (хімічний склад матеріалу і т. д.). Починаючи з певних значень вологості застосування розглянутого методу стає практично неможливим внаслідок недостатньої чутливості і великих похибок вологоміра. Крива $R_x(W)$ не має точок перегину, і перехід від першої ділянки до другого відбувається плавно. Можна вважати, що для більшості твердих матеріалів межа між ними близька до максимальної гігроскопічної вологості.



1 – ялина; 2 – сосна; 3 – береза; 4 – дуб і бук

Рисунок 2.1 – Залежність опору давача від вологості матеріалу.

Очевидно, що основна область застосування кондуктометричного методу вимірювання вологості матеріалу обмежена першою ділянкою характеристики $R_x(W)$.

При цьому нижня межа вимірювань обмежена затрудненнями, пов'язаними з вимірюванням дуже великих опорів ($R_x > 10^{11} - 10^{12}$ Ом), і для більшості твердих матеріалів відповідає вологості 5-8 %.

Для матеріалів органічного походження майже для всіх капілярнопористих тіл залежність електричного опору від вологості виражається показниковою функцією виду [5]

$$R_x = A \cdot W^{-n} \quad (2.3)$$

де R_x — опір пористого матеріалу, A — постійна величина, характерна для даного матеріалу, W — вологість матеріалу в % по масі, n — показник ступеня, що

залежить від структури й природи досліджуваного матеріалу.

З урахуванням впливу температури цю залежність можна представити у вигляді

$$W=c-b\cdot\ln(R_x)+\beta(t-t_0), \quad (2.4)$$

де β — температурне виправлення (у відсотках вологості на 1 °C); t — температура вимірювання; t_0 — температура градування.

Складна залежність опору від ряду інших факторів робить кондуктометричний метод придатним тільки для простих низькочастотних сигналізаторів і індикаторів вологості, наприклад — вологості деревини.

Частину деревини між електродами можна представити як частину електричного провідника. Опір провідника рівний:

$$R_x = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.5)$$

де ρ – питомий опір матеріалу, l – відстань між електродами, S – площа поперечного січення матеріалу, по якому проходить струм.

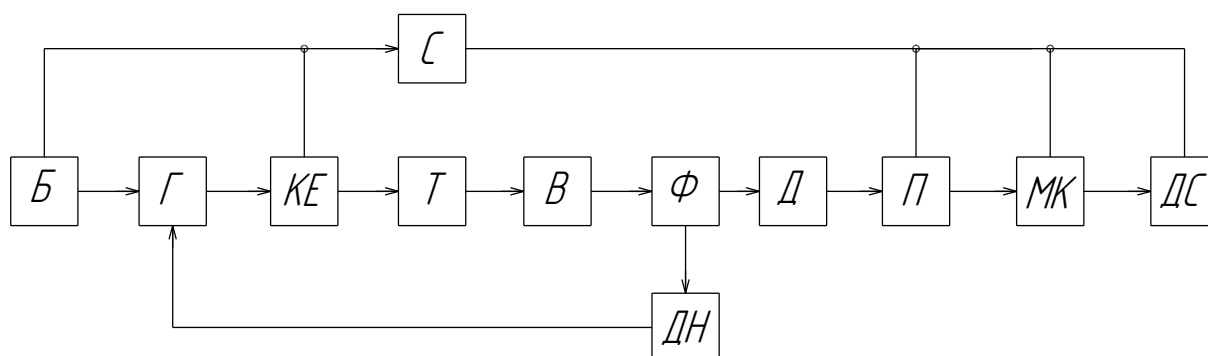
2.2 Розроблення структурної схеми приладу

Розглянемо побудову приладу для контролю вологості виробів з деревини згідно його структурної схеми (рис. 2.2). Прилад складається з батареї живлення Б, яка забезпечує електричним живленням блоки приладу. Стабілізатор напруги С призначений для живлення вимірювального блоку приладу стабільною напругою 5 В.

Умовно прилад складається з вузла перетворювача напруги і вимірювального блоку. У перетворювач напруги входять генератор Г, електронний ключ КЕ, трансформатор Т, випрямляч В, фільтр Ф. До складу вимірювального блоку входять давач Д, підсилювач П, мікроконтролер МК і дисплей ДС.

Генератор Г виробляє електричні імпульси, які керують електронним ключем КЕ. Електронний ключ КЕ призначений для вироблення електричних сигналів живлення первинної обмотки трансформатора Т. Трансформатор Т виробляє короткі електричні імпульси високої напруги, які випрямляються випрямлячем В, а

пульсації напруги згладжуються фільтром Φ . З фільтра Φ напруга надходить на дільник напруги ΔH , а напруга з дільника напруги ΔH надходить на генератор Γ . Генератор виробляє імпульси таким чином, щоб напруга на виході дільника ΔH залишалась стабільною, і відповідно залишалась стабільною напруга живлення давача Δ .



Б – батарея живлення, В – випрямляч, Г – генератор, Д – давач, ДН – дільник напруги, ДС – дисплей, КЕ – ключ електронний, МК – мікроконтролер, П – підсилювач, С – стабілізатор напруги, Т – трансформатор, Ф – фільтр

Рисунок 2.2 – структурна схема приладу для контролю вологості виробів з деревини

Напруга з виходу фільтра Φ поступає на давач Δ . Залежно від вологості виробів з деревини між контактами давача змінюється опір давача і на вході підсилювача Π виробляється напруга, величина якої відповідає опорі давача Δ . Ця напруга підсилюється підсилювачем Π до величини, яка необхідна для правильного перетворення аналого-цифровим перетворювачем мікроконтролера МК. Мікроконтролер МК розраховує згідно закладеної в нього програми значення вологості виробів з деревини і розраховане значення виводить на дисплей ДС.

2.3 Розроблення конструкції давача приладу

Давачі кондуктометричних вологомірів перетворюють електричні параметри твердих і рідких матеріалів в електричну величину: омичний опір. Чутливий елемент давача – це електродний пристрій, що складається з двох електродів, з декількох

електродів, з'єднаних електрично в дві групи, або з одного електрода, що утворює з поверхнею нульового потенціалу («землею») систему двох провідних тіл.

Давачі вологості можна класифікувати за рядом ознак:

- 1) метод вимірювання, для якого призначений датчик;
- 2) агрегатний стан і зовнішня структура аналізованих матеріалів;
- 3) умови роботи вологоміра - датчики для безперервних або дискретних вимірювань;
- 4) спосіб підведення матеріалу до чутливого елемента (проточні та заглибні датчики).

Принцип пристрою і роботи чотириелектродного датчика пояснює його принципова схема (рис. 2.3). Чотири голчастих електрода прикладені до поверхні досліджуваного матеріалу. Через два електрода 1 і 4 пропускають постійний струм I , а між внутрішніми електродами 2 і 3 вимірюють за допомогою вольтметра з малим споживанням струму (ламповий вольтметр з великим вхідним опором, нульова компенсаційна схема) падіння напруги U на певній ділянці ланцюга. При відомих відстанях між електродами по вимірним величинам U і I можна визначити питомий об'ємний опір ρ матеріалу. Наведені нижче залежності справедливі тільки при дотриманні деяких умов.

Матеріал в досліджуваному об'ємі повинен бути однорідним і ізотропним щодо провідності і повинен мати плоску поверхню; поверхневі струми між електродами повинні бути відсутніми. Всі чотири електрода розташовують на одній прямій; площа контакту з матеріалом повинна бути мінімальною («точковий контакт»). При вимірюваннях на великому зразку матеріалу електрода досить віддалені від всіх поверхонь матеріалу, крім досліджуваної. В цьому випадку

$$\rho = \frac{U}{I} 2\pi \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_3} - \frac{1}{d_1 + d_2} - \frac{1}{d_2 + d_3} \right)^{-1}, \quad (2.6)$$

де d_1, d_2, d_3 – відстані між електродами, показані на рис. 2.3.

Як випливає з рівнянь (2.6) і (2.7), у всіх випадках застосування чотириелектродних давачів результат вимірювання питомого опору матеріалу не залежить від величини перехідних опорів електрод матеріал. Це пояснюється тим, що перехідні опори струмових електродів в однаковій мірі впливають на величини

U і I , а перехідні опори потенційних електродів при застосуванні нульового компенсаційного методу не впливають на результат вимірювання U . Зазначене властивість є істотною перевагою чотириелектродні датчиків в порівнянні з двоелектродними.

Якщо відстані між електродами рівні, т. б. $d_1=d_2=d_3=d$, то

$$\rho = \frac{U}{I} 2\pi d, \quad (2.7)$$

Виберемо відстань між електродами давача рівною $d=18$ мм. Задавшись верхньою W_H і нижньою W_L межами контролю вологості $W_H=30$ %, $W_L=5$ %, обчислимо мінімальний і максимальний опір давача:

$$R_{min} = \frac{\rho_{min}}{2\pi d} = \frac{10^6}{2\pi \cdot 18 \cdot 10^{-3}} = 88,4 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

$$R_{max} = \frac{\rho_{max}}{2\pi d} = \frac{10^8}{2\pi \cdot 18 \cdot 10^{-3}} = 0,884 \cdot 10^9 \text{ Ом.}$$

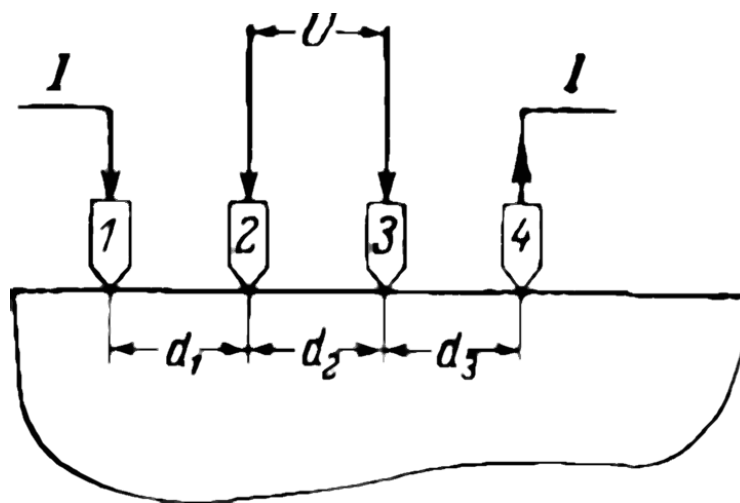


Рисунок 2.3 – Схема вимірювання чотириелектродним давачем

Давач (рис. 2.4) складається з металевої ручки 1, ізолятора 2, двох голок 3. Голки 2 в ізоляторі фіксуються двома штифтами, які на рисунку не показані. Голки виготовляють з нержавіючої сталі типу 08X18H10 або подібної. Ізолятор виготовляють із поліуретану СКУ-ПФЛ-100. Поліуретан є достатньо міцний для застосування в давачі. Ізолятор 2 фіксується в ручці 1 за допомогою різьби. Голки в ізоляторі утримують штифти. Ізолятор і голки мають отвори діаметром 5 мм для підключення провідників.

2.4 Розроблення електричної схеми вимірювального блоку приладу

Електрична схема вимірювача вологості подана на рис. 2.4. В схему входять наступні вузли. Перетворювач напруги, виконаний на елементах DA1, VT1—VT3, TV1, VD1, R1—R4, C1, C2. Підсилювач, виконаний на елементах DA2, R6—R9. Вузол обробки, виконаний на елементах DD1, HG1, R10—R14. Блок живлення, виконаний на елементах DA3, C4—C6.

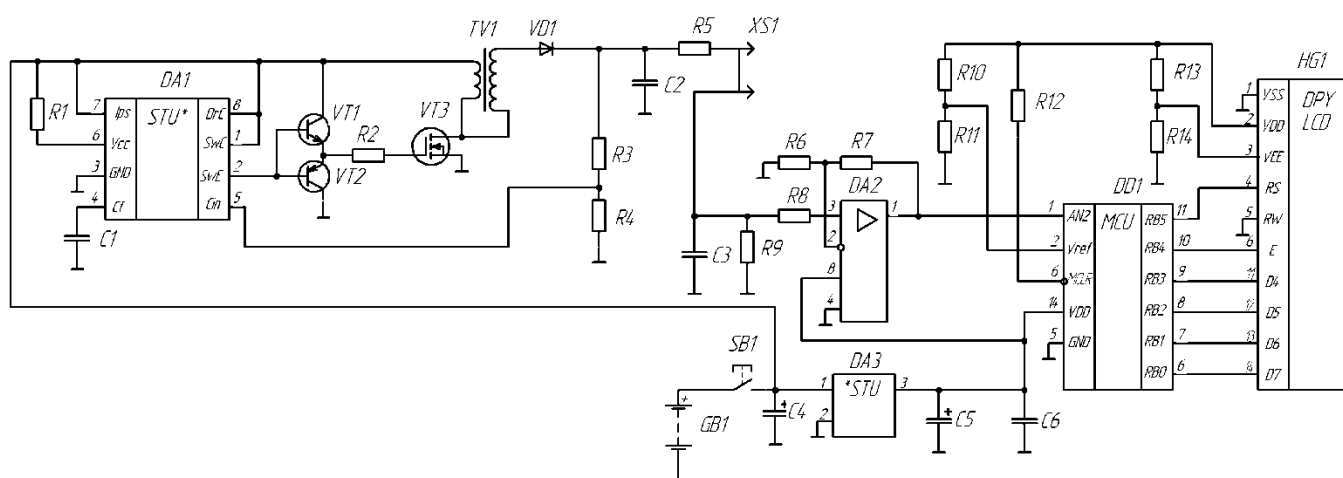
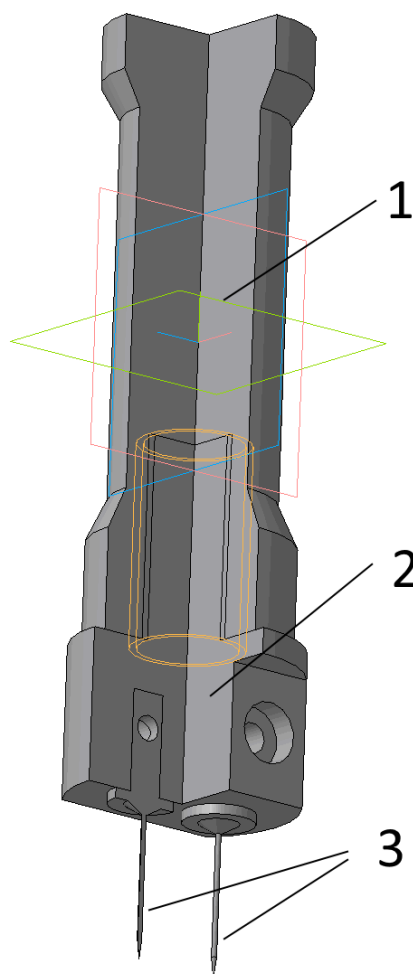


Рисунок 2.4 –Електрична схема приладу

Перетворювач напруги призначений для створення напруги живлення давача величиною 30 В. такий рівень напруги необхідний тому, що опір давача вологи деревини є значним і знаходиться в межах від $10 \cdot 10^3$ Ом до $1 \cdot 10^9$ Ом. Тому для створення струму в давачі, величина якого буде достатньою для його реєстрації, потрібно до виводів давача прикласти підвищену напругу. В запропонованій схемі мікросхема DA1 типу MC34063C являє собою спеціалізований генератор прямокутних імпульсів з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Розглянемо характеристики мікросхеми MC34063C.

Мікросхема MC34063A являє собою монолітну схему керування, що містить основні функції, необхідні для перетворювачів постійного струму. Ці мікросхеми складаються з внутрішнього температурного компенсатора, компаратора, генератора імпульсів з регульованою тривалістю імпульсу із захистом, драйвером та виходом високого струму (рис. 2.5). Ця серія була спеціально розроблена для розроблення понижуючих, підвищуючих і інвертуючих перетворювачів напруги з

мінімальною кількістю зовнішніх компонентів.



1 – ручка, 2 – ізолятор, 3 – голка

Рисунок 2.5 – Конструкція кондуктометричного давача

Особливості: експлуатація від вхідного сигналу від 3,0 В до 40 В, низьке споживання струму в режимі очікування, обмеження струму, вихідний струм до 1,5 А, регульована вихідна напруга, частота експлуатації до 100 кГц, прецизійна джерела опорної напруги 2%.

На транзисторах VT1, VT2 побудований буферний підсилювач, який створює імпульси керування на транзисторний ключ VT3. В моменти часу, коли транзисторний ключ VT3 відкритий через первинну обмотку трансформатора TV1 протікає струм, який створює магнітне поле в магнітопроводі трансформатора. В моменти часу, коли транзисторний ключ VT3 закривається на обмотках трансформатора TV1 виникає електрорушійна сила (ЕРС) індукції у вигляді коротких імпульсів напруги. Обмотки трансформатора TV1 відносно джерела

живлення перетворювача увімкнені таким чином, що ці імпульси ЕРС додаються із напругою джерела живлення. Генеровані імпульси ЕРС надходять на анод діода VD1.

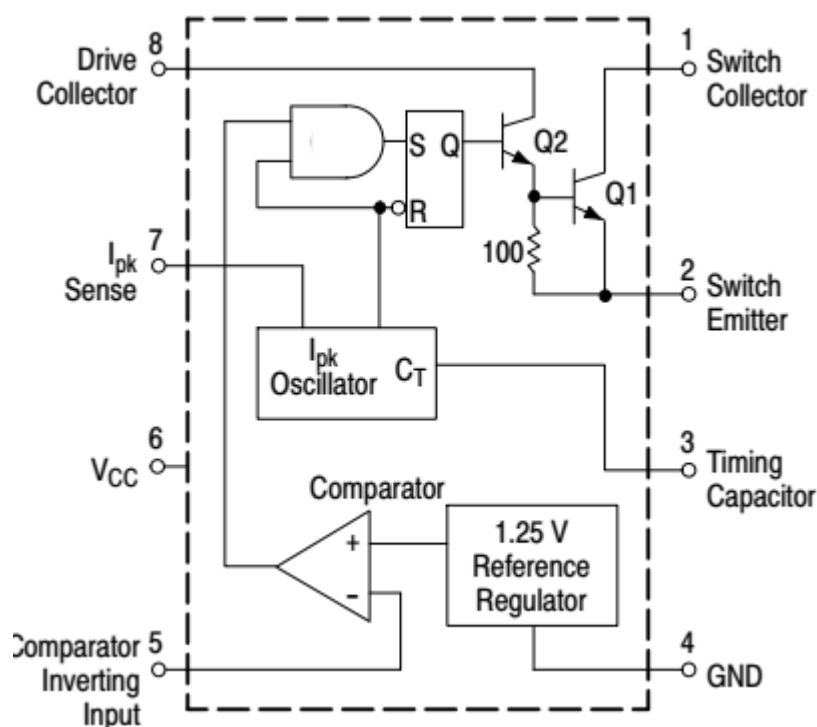


Рисунок 2.6 – Структурна схема мікросхеми MC34063C

Значення амплітуди ЕРС індукції залежить від величини магнітного поля Φ в магнітопроводі трансформатора TV1, швидкості зміни магнітного поля магнітопроводу трансформатора в часі $d\Phi/dt$ при вимкненні транзисторного ключа VT3:

$$E = -k \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2.8)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від параметрів трансформатора і підключеного навантаження до вторинної обмотки трансформатора.

Як вже згадувалось амплітуда ЕРС індукції залежить від величини магнітного поля, яка в свою чергу залежить від сили струму, яка протікає через первинну обмотку трансформатора TV1. Навантаженням транзисторного ключа VT3 є індуктивність. Особливістю індуктивного навантаження є наростання струму в часі через обмотку при увімкненні транзисторного ключа VT3. Задаючи час перебування транзисторного ключа в увімкненому стані можна керувати величиною струму, яка

протікає через обмотку трансформатора і амплітудою імпульсів ЕРС на обмотках трансформатора. Процес керування тривалістю імпульсів на транзисторному ключі власне і є ШІМ. В мікросхемі DA1 є джерело зразкової напруги величиною 1,25 В. Ця напруга порівнюється з напругою на виході подільника R3, R4. Залежно від співвідношення цих напруг мікросхема DA1 генерує імпульси такою тривалістю, щоб забезпечувалась умова

$$\frac{U_{пер}}{R3 + R4} = \frac{1,25}{R4}. \quad (2.9)$$

Звідси величина напруги на виході перетворювача буде рівною

$$U_{пер} = \frac{1,25(R3 + R4)}{R4}. \quad (2.10)$$

Задаючись значенням опорів резисторів R3=5,1 МОм і R4=220 кОм знайдемо значення напруги на виході перетворювача напруги

$$U_{пер} = \frac{1,25(5,1 \cdot 10^6 + 220 \cdot 10^3)}{220 \cdot 10^3} = 30,22 \text{ В.}$$

Напруга з перетворювача напруги через резистори R5 і R9 подається на давач. Струм, який виникає між електродами давача, проходить через резистор R9. На резисторі R9 виникає напруга, пропорційна цьому струмові. Максимальне і мінімальне значення напруги на резисторі R9, яке відповідає максимальній і мінімальній вологості, знайдемо згідно із виразу

$$U_{R9_{\text{макс,мін}}} = \frac{R9 \cdot U_{пер}}{R5 + R_{\text{омакс,мін}} + R9}. \quad (2.11)$$

Задаючись значеннями опорів резисторів R5=4,7·10³ Ом, R9=1·10⁴ Ом, максимальним і мінімальним значенням опору давача R_{омакс}=1·10⁹ Ом, R_{омін}=1·10⁵ Ом знайдемо максимальне U_{R9макс} і мінімальне U_{R9мін} значення напруги на резисторі R9

$$U_{R9_{\text{макс}}} = \frac{1 \cdot 10^4 \cdot 30}{4,7 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^9 + 1 \cdot 10^4} = 0,0003 \text{ В,}$$

$$U_{R9_{\text{мін}}} = \frac{1 \cdot 10^4 \cdot 30}{4,7 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^4} = 0,295 \text{ В.}$$

Знайдемо необхідне значення коефіцієнта підсилення підсилювача DA2.

Напруги на вході і виході неінвертуючого підсилювача пов'язані наступною формулою

$$\frac{U_{вих}}{R6 + R7} = \frac{U_{вх}}{R6}. \quad (2.12)$$

Звідси коефіцієнт підсилення по напрузі такого підсилювача обчислюють згідно формули

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{U_{DA2\max}}{U_{R9\max}} = \frac{R6 + R7}{R6}. \quad (2.13)$$

Максимальне допустиме значення на вході аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера рівне 4,096 В. Тоді необхідний коефіцієнт підсилення буде рівним

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{4,096}{U_{R9\max}} = \frac{4,096}{0,295} = 13,88.$$

Задавшись опором резистора $R6 = 3 \cdot 10^3$ Ом знайдемо опір резистора $R7$

$$R7 = R6(K_U - 1) = 3 \cdot 10^3 \cdot (13,88 - 1) = 38,6 \cdot 10^3 \text{ Ом}. \quad (2.14)$$

Значення напруги 4,096 В визначається значенням опорної напруги АЦП. Це опорне значення задається подільником $R10$, $R11$. Цей подільник живиться від напруги 5 В. Тоді задавшись опором резистора $R11 = 1$ кОм, отримаємо опір резистора $R10$:

$$R10 = \frac{(5 - 1)R11}{4,096} = \frac{4 \cdot 1000}{4,096} = 220 \text{ Ом}. \quad (2.15)$$

Напруга на виході підсилювача DA2 перетворюється вбудованим у мікроконтролер DD1 АЦП у двійковий код. На основі цього коду мікроконтролер розраховує значення вологості виробів з деревини і виводить це значення на рідкокристалічний екран HG1.

2.5 Розроблення алгоритму роботи програмного забезпечення мікроконтролера

У розробленій схемі використано мікроконтролер PIC16F88. Розглянемо особливості цього мікроконтролера, які потрібно використати у розробленому приладі.

Основні параметри мікросхеми є наступні: ширина шини даних: 8 біт, максимальна тактова частота: 20 MHz, розмір програмної пам'яті: 7 кбайт, розмір оперативного запам'ятовуючого пристрою даних: 368 байт, розмір енергонезалежної пам'яті даних: 256 байт, вбудований аналого-цифровий перетворювач, кількість програмованих входів / виходів: 16, кількість таймерів: 3, робоча напруга живлення: від 2 В до 5.5 В, розрядність АЦП: 10 біт, доступні аналогові / цифрові канали: 7, тип інтерфейсу: SSP, USART.

Розглянемо алгоритм роботи програмного забезпечення мікроконтролера (рис. 2.6). Після увімкнення живлення програма здійснює налаштування периферійних пристроїв мікроконтролера. Такими пристроями є порти вводу-виводу, аналого-цифровий перетворювач, таймер. Після цього зчитуються константи з енергонезалежної пам'яті, які використовуються у формулах для розрахунку вологості. Налаштування мікроконтролера завершується налаштуванням рідкокристалічного табла.

Виведення інформації здійснюється на рідкокристалічний символний індикатор *HG1* типу RWH1602B-YGH-CTK. Керування індикатором відбувається за допомогою вбудованого контролера типу HD44780 [7, 8]. Розглянемо принцип під'єднання цього контролера до мікроконтролера *DD1*.

Символьні рідкокристалічні дисплеї з інтегрованими контролерами широко застосовуються в побутовій техніці завдяки низькому енергоспоживанню, простоті використання та зручності в експлуатації. Найдоступнішими за ціною і водночас достатньо функціональними для розв'язання багатьох задач є дворядкові індикатори з 8 або 16 символами в кожному рядку.

Розглянемо контролер РКІ HD44780, що використовується виробниками РКІ.

Вхід/вихід DB7 використовується для перевірки стану прапора шини (BF). Якщо BF=1 — виконується попередня інструкція, BF=0 — контролер може приймати наступну інструкцію. Читання BF виконується при RS=0, R/W = 1. HD44780 може працювати в режимах з шириною шини даних в 4 і 8 біт. Це дозволяє економити виводи керуючих пристроїв, або збільшувати швидкість роботи з індикатором.



Рисунок 2.7 – Блок-схема алгоритм роботи програми мікроконтролера

Першим етапом роботи з HD44780 є ініціалізація. Ініціалізація виконується у певній послідовності. Після подачі на контролер напруги живлення необхідно витримати паузу в 15 мс, але через відмінності в характеристиках використовуваних джерел живлення рекомендована тривалість паузи 1-2 секунди. Послідовність подавання сигналів на контролер HD44780 при використанні шини 4 біт є такою:

- 1) ввімкнення живлення;
- 2) пауза 1-2 секунди;
- 3) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=1;
- 4) пауза 4,1 мс.;
- 5) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=1;
- 6) пауза 100 мкс.;
- 7) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=1;
- 8) пауза 200 мкс.;
- 9) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=0 — установка 4-х бітного інтерфейсу;
- 10) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=0 — Установка 4-х бітного інтерфейсу, кількості рядків;
- 11) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=0;
- 12) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=N, DB6=F, DB5=*, DB4=*; установка точок відображення символу;
- 13) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=0, DB4=0;
- 14) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=0, DB4=1 — дисплей ввімкнений.

Видача символної інформації на дисплей проводиться шляхом подачі інформації про відображуваний символ на інформаційні виводи та управління процесом запису за допомогою виводів RS, R / W і E.

Спочатку контролер отримує інформацію про адресу виведеного символу. Адреса початку першого рядка 0x80, другий - 0xC0, подальший зсув по рядках досягається збільшенням адреси.

Для виведення символу на дисплей виконується наступна послідовність дій:

- 1) подача сигналів RS = 0, R/W = 0, E = 1;

- 2) подача сигналів на інформаційні входи, які відповідають адресі;
- 3) пауза 50 мкс;
- 4) подача сигналів $RS = 0$, $R/W = 0$, $E = 0$;
- 5) пауза 255 мкс;
- 6) подача сигналів $RS = 1$, $R/W = 0$, $E = 1$;
- 7) подача сигналів на інформаційні входи, які відповідають коду символу;
- 8) пауза 50 мкс;
- 9) подача сигналів $RS = 1$, $R/W = 0$, $E = 0$.

Під час роботи в мікроконтролері із заданою періодичністю спрацьовує таймер. Після цього подається команда активації аналого-цифрового перетворювача. Після завершення перетворення напруги на вході аналого-цифрового перетворювача у відповідний двійковий код відбувається зчитування цього коду. Далі здійснюється розрахунок вологості виробів з деревини і вивід розрахованого значення на екран. Вказані події постійно повторюються до вимкнення живлення.

2.6 Розроблення конструкції приладу

Конструктивно прилад складається з двох електронних блоків (див. лист креслення) – малопотужного перетворювача напруги 1 для живлення давача і вимірювального блоку 2. Перетворювач напруги 1 монтують в корпусі 7 приладу за допомогою гвинтового з'єднання. Вимірювальний блок закріплюють на кришці 8 за допомогою стійок 6 з нарізаною різьбою. Стійки 6 прикручують до кришки 8 потайними гвинтами 13, а вимірювальний блок гвинтами 12. На кришці 8 встановлені дві клеми 20 для підключення з'єднувальних провідників, якими під'єднують давач. В корпусі також встановлюють батарейний відсік 3 з акумуляторами 19.

2.7 Розроблення методики визначення вологості виробів з деревини розробленим приладом

Спочатку обирають відповідну ділянку для проведення вимірювання. Вона має бути однорідною — без сучків, смоляних включень, кори чи тріщин, оскільки такі дефекти можуть спричинити похибки. Також не рекомендується визначати вологість деревини після її просочення або покриття лаком чи іншими речовинами.

Вимірювальні голки розташовують поперек волокон на відстані 30 мм від краю, дотримуючись схеми (рис. 2.7), де a — 30 мм, d — товщина матеріалу, c — глибина занурення електродів. Якщо ширина пиломатеріалу становить 60 мм або менше, вимірювання виконують по центру.

Виносний електрод забивають у деревину за допомогою дерев'яного молотка, занурюючи голки приблизно на $2/3$ їх довжини. Процес вимірювання здійснюють за температури $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, після чого значення вологості зчитують з дисплея приладу. Після завершення роботи голки вологоміра обережно витягують, злегка розхитуючи прилад з боку в бік.

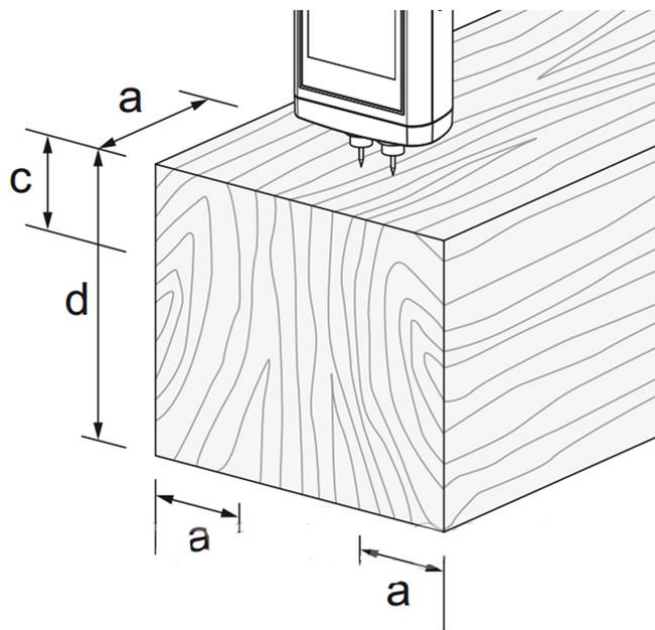


Рисунок 2.8 – Схема розміщення вологоміра на зразку деревини

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИЛАДУ

3.1 Загальний аналіз невизначеностей вимірювань

Оцінювання невизначеності здійснюють на основі експериментальних даних (тип А) та з використанням додаткової, зокрема експертної, інформації (тип В). Зазвичай для представлення результату вимірювання застосовують розширену невизначеність $U_p(x)$, тоді як для проміжних величин, що використовуються при отриманні кінцевого результату, визначають стандартні невизначеності: типу А $u_A(x)$, типу В $u_B(x)$, а також сумарну (комбіновану) невизначеність $u_C(x)$ і $u_C(y)$.

Метод обчислення стандартної невизначеності типу А $u_A(x)$ у разі багаторазових вимірювань залежить від закону розподілу отриманих результатів.

Стандартну невизначеність типу В $u_B(x)$ загалом визначають нестатистичними методами, наприклад, виходячи з наперед заданої густини розподілу $p(x)$ джерела невизначеності, застосовуючи імовірнісний підхід:

$$u_B(x) = \sqrt{D_x} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} (x - \xi)^2 p(x) dx}, \quad (2.16)$$

де ξ – центр розподілу; D_x – стандартна дисперсія результатів спостережень величини x , що описуються відповідним законом розподілу.

Сумарна стандартна невизначеність $u_C(x)$ – невизначеність одного прямого вимірювання з декількома джерелами похибки.

Розширена стандартна невизначеність (expanded uncertainty) – це інтервал навколо результату вимірювання, в який, з високою ймовірністю, потрапляє більшість можливих значень вимірюваної величини.

Розширену стандартну невизначеність позначають через $U_p(x)$ і вона залежить від фактора покриття (розширення, охоплення) k_p , ймовірності $\bar{P}$, з якою оцінюють розширену невизначеність і попередньо визначених стандартних невизначеностей (сумарної, комбінованої тощо).

Комбіновану стандартна невизначеність $u_c(y)$ визначають так:

$$u_c(y) = \sqrt{u_c^2(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)}, \quad (2.17)$$

де f – функція, що описує залежність $y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$; $u(x_i)$ – стандартна невизначеність для кожної вхідної величини x_i (тип А чи тип В, залежно від методу оцінки).

Числові значення коефіцієнтів чутливості $c_i = \partial f / \partial x_i$ оцінюють, підставляючи у вирази $\partial f / \partial x_i$ числові значення всіх параметрів функції f , а також оцінені раніше значення вхідних величин x_i .

Сумарну стандартну невизначеність $u_C(x)$ розраховують так:

$$u_c(x) = \sqrt{u_A^2(x) + \sum_{i=1}^d u_{Bi}^2(x)}, \quad (2.18)$$

де $u_A(x)$ – стандартна невизначеність типу А результату вимірювання величини x ; $u_{Bi}(x)$ – невизначеність типу В i -ого впливного фактора, що визначається i -тим джерелом похибки величини x ; d – кількість впливних факторів.

Слід відмітити, що розмірності $u_C(x)$, $u_A(x)$, $u_{Bi}(x)$ є такими ж, як розмірність вимірюваної величини x .

Розширену стандартну невизначеність $U_p(x)$ отримують множенням сумарної стандартної невизначеності $u_C(x)$ на фактор покриття k_p , тобто

$$U_p(x) = k_p u_c(x). \quad (2.19)$$

Індекс « p » фактора покриття k_p вказує на ймовірність $\bar{P}_{зад.}$ (0,95; 0,99), з якою буде представлена розширена стандартна невизначеність результату вимірювання величини x .

Допускають, що для нормального закону розподілу результатів спостережень величини x орієнтовне значення $k_p \approx 2$ для $\bar{P}_{зад.} = 0,95$ і $k_p \approx 3$ для $\bar{P}_{зад.} = 0,99$. Але іноді значення k_p може виходити за вказані межі. Тому його необхідно визначати за допомогою таблиці розподілу Стюдента (табл. 2.5 [14]) для заданого значення $\bar{P}_{зад.}$ і для кількості ступеней свободи $\nu = n - 1$ як квантиль розподілу Стюдента, тобто $k_p = t_{p, \nu}$. Для рівномірного закону розподілу результатів спостережень величини x рекомендують $k_p = 1,65$ для $\bar{P}_{зад.} = 0,95$ і $k_p = 1,71$ для $\bar{P}_{зад.} = 0,99$.

Результати вимірювання згідно концепції невизначеності можна подавати, використовуючи такі форми:

1) у випадку, коли визначили тільки сумарну стандартну невизначеність $u_c(x)$ прямого однакратного чи багатократного спостереження вимірюваної величини x

$$x = \bar{x} \pm u_c(x), \quad (2.20)$$

де $\bar{x}$ – оцінене значення вимірюваної величини x ;

2) у випадку, коли визначили тільки комбіновану стандартну невизначеність $u_c(y)$ опосередкованого вимірювання фізичної величини y як при однократних, так і багатократних спостережень вхідних величини x_i

$$y = \bar{y} \pm u_c(y), \quad (2.21)$$

де $\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m)$ – оцінене значення фізичної величини y ;

3) у випадку, коли визначили розширену стандартну невизначеність $U_p(x)$ прямого однократного чи багатократних спотережень однієї вимірюваної величини x

$$x = \bar{x} \pm U_p(x), \quad \bar{P} = \bar{P}_{зад.}, \quad (2.22)$$

де $\bar{P}_{зад.}$ – вибране значення рівня довіри (0,95; 0,99);

4) у випадку, коли визначили розширену стандартну невизначеність $U_p(y)$ опосередкованого вимірювання фізичної величини y при одній чи декількох вхідних вимірювальних величинах x_i

$$y = \bar{y} \pm U_p(y), \quad \bar{P} = \bar{P}_{зад.}. \quad (2.23)$$

Так як збору статистичних даних для встановлення типу розподілу і величини невизначеності провести не являється можливим, тому оцінювання невизначеності різних елементів приладу для контролю тиску буде здійснюватись за типом В. Розглянемо більш детальніше методи оцінювання невизначеності типу В.

3.2 Розрахунок невизначеностей контролю вологості

На сумарну невизначеність контролю вологості мають вплив велика кількість елементів приладу: давач, перетворювач живлення давача, підсилювач, аналого-цифровий перетворювач. Давач створює невизначеність у вимірювальному сигналі через зміну характеристик, які зумовлені впливом зміни температури, відхиленнями у розмірах при виготовленні його деталей.

Розглянемо складові невизначеності контролю вологості виробів з деревини. Невизначеність напруги живлення давача залежить від параметрів опорної напруги мікросхеми MCP34063. Згідно специфікації виробника на цю мікросхему діапазон зміни опорної напруги становить 1,225 — 1,275 В, а додаткова зміна значення опорної напруги при зміні температури знаходиться в діапазоні 1,21 — 1,29 В. Розрахуємо невизначеності джерела опорної напруги:

$$u_{1U_{ref}} = \frac{1,275 - 1,225}{\sqrt{12}} = 0,01443 \text{ В}, \quad (2.24)$$

$$u_{2U_{ref}} = \frac{1,29 - 1,21}{\sqrt{12}} = 0,0231 \text{ В}, \quad (2.25)$$

$$u(U_{ref}) = \sqrt{u_{1U_{ref}}^2 + u_{2U_{ref}}^2} = \sqrt{0,01443^2 + 0,0231^2} = 0,027236 \text{ В}, \quad (2.26)$$

Перед аналізом накопичення невизначеностей слід зауважити, що прилад при виготовленні калібрується. Тому невизначеності опорів схеми не будуть впливати на сумарну невизначеність, а вплив мають тільки ті параметри, які відображені на рис. 3.1.

Знайдемо невизначеність напруги живлення давача. Невизначеностями опорів резисторів R_3 і R_4 знехтуємо

$$u(U_{nep}) = \sqrt{\left(\frac{(R_3 + R_4)}{R_4} \cdot u(U_{ref}) \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{(5,1 \cdot 10^6 + 220 \cdot 10^3)}{220 \cdot 10^3} \cdot 0,027236 \right)^2} = 0,6586 \text{ В}.$$



Рисунок 3.1 – Невизначеності контролю вологості виробів з деревини

Знайдемо невизначеність опору давача, яка обумовлена похибкою його виготовлення і зміною розмірів давача внаслідок лінійного розширення матеріалу при зміні температури. При виготовленні давача його розміри (розмір d згідно (2.7)) контролюють з похибкою $\pm 0,05$ мм. Коефіцієнт лінійного розширення поліуретану, з якого виготовлений ізолятор давача, становить $110 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Зміна розміру d при зміні температури від 0° до $+40^\circ$ становить $79,2 \cdot 10^{-6}$ м. Так як невизначеність обумовлена лінійним розширенням матеріалу є малою, то нею знехтуємо. Знаходимо невизначеності розміру d :

$$u(d) = \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 28,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \quad (2.27)$$

Нехтуючи невизначеністю числа π і густини ρ знаходимо невизначеність опору давача:

$$u(R) = \sqrt{\left(\frac{\rho_{min}}{2\pi d^2} \cdot u(d) \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{10^6}{2\pi (18 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 28,86 \cdot 10^{-6} \right)^2} = 14,18 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Коефіцієнт підсилення підсилювача в розробленій схемі практично цілком

залежить від опорів резисторів R6 і R7. Опір резисторів при зміні температури змінюється незначно тому таким ефектом можна знехтувати. Неточність виготовлення резисторів виробником можна компенсувати шляхом калібрування приладу при його настроюванні. Таким чином невизначеністю підсилювача можна знехтувати.

Згідно специфікації виробника неточність перетворення аналого-цифрового перетворювача не перевищує ± 2 одиниці. Тоді невизначеність перетворення аналого-цифрового перетворювача буде рівною $u(\text{ADC}) = 2/\sqrt{3} = 1,154$. Мікроконтролер приладу живиться від стабілізатора напруги 1m7805. Згідно специфікації виробника похибка напруги на виході цієї мікросхеми становить $\pm 0,25$ В. Звідси невизначеність опорної напруги $u(U_{on})$ аналого-цифрового перетворювача буде становити :

$$u(U_{on}) = \frac{0,25}{\sqrt{3}} = 0,1443 \text{ В.} \quad (2.28)$$

З врахуванням формул (2.9) — (2.12) співвідношення між параметрами приладу можна подати так:

$$D = k \cdot K_U \cdot R_9 \frac{1023 \cdot U_{nep}}{(R_5 + R_9 + R_o) \cdot U_{on}}, \quad (2.29)$$

де k — коефіцієнт, який враховує калібрування приладу.

Так як $(R_5 + R_9) \ll R_o$, то з метою спрощення знехтуємо сумою цих опорів. Також зробимо заміну $K = k \cdot K_U \cdot R_9 = 13,88 \cdot 10^4$. Від похибки контрольно-вимірювальних приладів, які використовують при калібруванні вологоміра залежить невизначеність обчислення коефіцієнта K . Наприклад, при обчисленні коефіцієнта K з відносною похибкою в 1%, невизначеність цього коефіцієнта буде рівною $u(K) = 0,01 \cdot 13,88 \cdot 10^4 / \sqrt{3} = 801,3$ Ом. З врахуванням спрощень (2.29) перепишеться

$$D = \frac{K \cdot 1023 \cdot U_{nep}}{R_o \cdot U_{on}}, \quad (2.30)$$

Знайдемо значення часткових похідних від виразу (2.30):

$$\frac{\partial D}{\partial K} = \frac{1023 \cdot U_{nep}}{R_o \cdot U_{on}} = 0,008538 \text{ 1/Ом}, \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial D}{\partial d} = \frac{K \cdot U_{nep}}{R_o \cdot U_{on}} = 1,158, \quad (2.32)$$

$$\frac{\partial D}{\partial U_{nep}} = \frac{K \cdot 1023}{R_o \cdot U_{on}} = 39,21 \text{ 1/В}, \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial D}{\partial R_o} = \frac{-K \cdot 1023 \cdot U_{nep}}{R_o^2 \cdot U_{on}} = -0,001340 \text{ 1/Ом}, \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial D}{\partial U_{on}} = \frac{-K \cdot 1023 \cdot U_{nep}}{R_o \cdot U_{on}^2} = -289,3 \text{ 1/В}, \quad (2.35)$$

Розрахуємо комбіновану стандартну невизначеність результату перетворення аналого-цифрового перетворювача:

$$u_c(y) = \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial K}\right)^2 u^2(K) + \left(\frac{\partial D}{\partial d}\right)^2 u^2(ADC) + \left(\frac{\partial D}{\partial U_{nep}}\right)^2 u^2(U_{nep}) + \left(\frac{\partial D}{\partial R_o}\right)^2 u^2(R_o) + \left(\frac{\partial D}{\partial U_{on}}\right)^2 u^2(U_{on})} = 53,096.$$

Обрахована невизначеність відповідає коду аналого-цифрового перетворювача 971, який в свою чергу відповідає вологості деревини 30%. Звідси сумарна стандартна невизначеність контролю вологості буде рівною 1,637 %.

Знаходимо розширену невизначеність результатів контролю вологості:

$$U_p(x) = 1,71 \cdot 1,637 = 2,8 \text{ \%}.$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Законодавче та нормативно-правове забезпечення охорони праці

Використовувати розроблений прилад для контролю вологості виробів з деревини передбачається на підприємствах із заготовлювання деревини і виготовлення виробів із деревини. Тому в цьому розділі детальніше будемо розглядати вимоги безпеки до технологічних процесів під час оброблення деревини та виробництва виробів з деревини.

В нашій державі діють наступні документи, які регламентують охорону праці в деревообробній промисловості: Правила охорони праці в деревообробній промисловості [16],

Правила охорони праці в деревообробній промисловості, крім виробництва деревноволокнистих плит, (далі - Правила) поширюються на підприємства, установи й організації (далі - підприємства) незалежно від їх підпорядкування і форми власності та на фізичних осіб, які займаються оброблюванням деревини. Правила регламентують безпечне виконання робіт та технологічних процесів в деревообробній промисловості. Вимоги цих Правил є обов'язковими для роботодавців та працівників, які організовують та контролюють роботу з охорони праці на підприємствах деревообробної промисловості.

4.2 Організація роботи з охорони праці на підприємстві

Розглянемо загальні вимоги з охорони праці згідно правил охорони праці в деревообробній промисловості.

Територія підприємства і розташовані на ній будівлі мають відповідати вимогам правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом МНС України від 19.10.2004 N 126 (з1410-04), зареєстрованих у Мін'юсті України 04.11.2004 за N 1410/10009 (далі - Правила пожежної безпеки), та цих Правил.

Територія підприємства (основні та допоміжні цехи, склади тощо) має бути упорядкована і утримуватись в чистоті. Сміття та відходи виробництва необхідно вивозити за межі підприємства або знищувати. При тимчасовому їх зберіганні необхідно запобігати забрудненню ними ґрунту, води, повітря.

Розташування виробничих і допоміжних будівель, споруд на території підприємства повинне відповідати технологічному процесу виробництва.

Територія промислових майданчиків має бути вирівняна і спланована так, щоб був забезпечений відвід стічних вод від будівель, майданчиків, проїздів та пішохідних доріжок до водостоків. На території підприємства в зоні з найменшим впливом виробничих шкідливостей необхідно упорядкувати озеленені майданчики для відпочинку працівників.

Перед в'їздом на територію підприємства необхідно розмістити інформацію (схему, план) про розташування виробничих підрозділів, доріг, пожежних гідрантів, водоймищ тощо.

На території підприємства мають бути влаштовані дороги із твердим покриттям (асфальт, бетон тощо) для руху транспорту, техніки і пішохідні доріжки. Дороги і пішохідні доріжки необхідно систематично очищувати від бруду та снігу, а в темну пору доби освітлювати.

Рух залізничних поїздів і окремих вагонів, а також автомобільного та інших видів транспорту на території підприємства повинен регулюватися дорожніми знаками і покажчиками відповідно до вимог державного стандарту "Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування" (ДСТУ 4100-2002) та Правил дорожнього руху, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 N 1306 (1306-2001-п) (далі - Правила дорожнього руху). Швидкість руху транспорту на території підприємства не повинна перевищувати 10 км/год на прямих ділянках дороги, 5 км/год на поворотах і 2 км/год у виробничих приміщеннях.

При перетині залізничних колій з пішохідними і автомобільними дорогами необхідно влаштувати переходи та переїзди через рейкові колії, обладнані попереджувальними знаками, світловою та звуковою сигналізацією.

Виходи з приміщень, що розташовані поблизу від залізничної колії, мають бути паралельні колії. Якщо виходи розташовані в напрямку перпендикулярному до залізничної колії, то перед виходом необхідно установлювати огорожувальні бар'єри довжиною не менше ніж 5 м в кожному напрямку від входу.

Для пішоходів на території підприємства потрібно обладнувати тротуари шириною 1,5 м. При пішохідному русі менше ніж 100 чоловік на годину в обох напрямках дозволяється улаштовувати проходи шириною 1 м.

Під'їзні та внутрішні автомобільні дороги необхідно проектувати згідно з вимогами ДБН Б.2.2-12:2019. Ширина автодоріг на території підприємства повинна визначатися в залежності від типу транспорту і категорії дороги. Ширина проїзної частини повинна бути на 1 м більшою від ширини наявних на підприємстві транспортних засобів.

При проектуванні й експлуатації виробничого транспорту всіх видів необхідно передбачити заходи, спрямовані: на захист житлових районів від шуму, який створюють транспортні засоби; на усунення шкідливого впливу пилу, який виникає під час транспортування, навантаження та розвантаження лісоматеріалів; на попередження забруднення повітряного простору, земельних угідь, водних басейнів і підземних вод; на забезпечення вибухопожежобезпеки, а також безпеки проведення транспортних та вантажно-розвантажувальних робіт.

Пожежні водойми, траншеї, конденсаційні, каналізаційні та інші технічні колодязі, що влаштовуються з виробничою метою, мають бути огорожені або закриті міцними кришками, а в темну пору доби забезпечені освітленням. Огородження пожежної водойми не повинне заважати заїзду пожежних автомобілів та доступу особового складу пожежної охорони.

Для зберігання різних матеріалів та вантажів на території підприємства необхідно передбачити спеціальні майданчики, стелажі і підставки. Складування повинне виключати падіння або обрушення матеріалів.

Не дозволяється складування матеріалів, будівництво різних приміщень,

стоянка транспортних засобів в охоронній зоні високовольтної лінії без погодження з організацією, яка експлуатує лінію.

Резервуари, баки та інші ємності для зберігання паливних і мастильних матеріалів слід розташовувати на спеціально відведених місцях (ділянках) відповідно до вимог Правил пожежної безпеки (з1410-04).

Територію та майданчики для тимчасової стоянки автомобілів та інших транспортних засобів перед в'їздом на територію і виїздом з неї необхідно розташовувати осторонь від під'їзних доріг. Вони мають бути з твердим покриттям, здатним сприймати проектне навантаження від вантажів.

Спосіб та місце прокладання проводів і кабелів на території підприємства необхідно здійснювати відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), затверджені наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017-№ 476.

Газопостачання підприємства повинне відповідати вимогам Правил безпеки систем газопостачання України, затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України від 01.10.97 N 254 (з0318-98), зареєстрованих у Мін'юсті України 15.05.98 за N 318/2758 (ДНАОП 0.001.20-98).

Небезпечні зони на території промислових майданчиків підприємств, транспортних шляхів, у виробничих приміщеннях і на робочих місцях мають бути позначені знаками безпеки відповідно до державного стандарту ДСТУ EN ISO 7010:2022 — «Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки» і обгороджені.

Виробничі будівлі і споруди необхідно оглядати два рази на рік (навесні та восени) з метою визначення їх подальшої експлуатації відповідно до вимог Положення про безпечну та надійну експлуатацію виробничих будівель і споруд, затвердженого наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України і Держнаглядохоронпраці України від 27.11.97 N 32/288 (з0424-98), зареєстрованого у Мін'юсті України 06.07.98 за N 424/2864, із змінами і доповненнями.

Виробничі будівлі та споруди мають бути обладнані засобами пожежогасіння, сигнальними та аварійними пристроями відповідно до державних будівельних норм

"Пожежна автоматика будинків і споруд", затверджених наказом Держбуду України від 28.10.98 N 247 (ДБН В.2.513-98), Правила пожежної безпеки в Україні (затверджені Наказом МВС № 1417 від 30.12.2014)), ДСТУ EN 1127-1:2020 «Вибухонебезпечне середовище. Запобігання вибухам та захист від вибухів.

Евакуаційні шляхи і виходи необхідно утримувати вільними, нічим не захащувати і в разі виникнення пожеж та аварій забезпечувати безпеку під час евакуації людей, які перебувають у приміщеннях будівель і споруд. Кількість та розміри евакуаційних виходів з будівель і приміщень, їх конструктивні та планувальні рішення, умови освітленості, забезпечення незадимлення, протяжність шляхів евакуації, їх оздоблення мають відповідати вимогам ДБН В.2.2-27:2025.

Підлоги у приміщеннях цехів мають бути рівними, мати тверде покриття з гладкою неслизькою поверхнею, зручною для очищення та ремонту, а також не бути джерелом утворення пилу. У приміщеннях з холодною підлогою місця постійного перебування працівників мають бути із теплоізолювальним покриттям.

Канали потоку деревної маси, люки колодязів, жолоба та траншеї у підлозі для конвеєрів, стоків мають бути закриті суцільними або ґратчастими настилами, кришками. Якщо, згідно до вимог технологічного процесу, вони мають бути відкриті, їх необхідно обгородити поручнями висотою 1,1 м і суцільними бортами висотою не менше 0,1 м від підлоги.

В цехах, де виконуються оздоблювальні роботи, не допускається улаштування каналів, які можуть стати місцем скупчення пилу або вибухонебезпечних газів.

У приміщеннях, де виконуються оздоблювальні роботи, підлога повинна бути вологостійка та унеможливлувати іскроутворення під час транспортування деталей та виробів. На ділянках, де застосовуються агресивні та отруйні речовини, підлога має бути стійкою до дії хімічних речовин.

Внутрішні поверхні стін у приміщеннях, де проводяться оздоблювальні роботи, необхідно облицьовувати на висоту, не менше 2 м від підлоги вогнетривкими матеріалами, які від ударів та тертя по них не дають іскроутворення, а також легко чистяться від забруднень.

Вхідні двері виробничих приміщень, біля яких розташовані робочі місця, а також відкриті технологічні отвори опалюваних будівель і споруд, розташованих в

районах з розрахунковою температурою зовнішнього повітря для холодного періоду року - 15 град.С і нижче, мають бути обладнані тамбурами або повітряно-тепловими завісами. Двері тамбурів обладнують безпечними пристроями для самостійного закривання та фіксації у відкритому положенні.

Протипожежні перешкоди (стіни, перегородки, перекриття, протипожежні зони, двері, клапани та ін.) вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщень повинні мати межу вогнетривкості відповідно до вимог ДБН В.1.1-7-2002 (v0195509-04). Для усіх будівель та приміщень виробничого, складського призначення і лабораторій (у тому числі для зовнішніх виробничих і складських дільниць) повинна бути визначена категорія щодо вибухопожежної та пожежної небезпеки згідно галузевих норм технологічного проектування "Визначення категорії приміщень і будівель щодо вибухопожежної та пожежної небезпеки", а також клас зони згідно ПВЕ, які необхідно позначати на входних дверях до приміщення.

Транспортні та комунікаційні галереї і естакади повинні мати вільний від обладнання і комунікацій прохід шириною не менше 0,7 м.

Проїзди в цехах мають бути постійно вільними і позначеними на підлозі смугами, що відрізняються від кольору підлоги іншим забарвленням.

Мінімальна ширина проїзду під час перевезення деталей та виробів всередині виробничих приміщень повинна бути більше на 1,2 м від ширини транспортного засобу з вантажем, а під час перевезення рейковим транспортом - на 1,4 м. Ширина постійних проходів має бути не менше 1 м.

У виробничих та допоміжних приміщеннях паропроводи та інші джерела виділення тепла (вище 40 °С), розташовані на висоті до 2 м від підлоги, мають бути термоізовані вогнетривкими матеріалами.

У виробничих приміщеннях, де технологічний процес пов'язаний з використанням великої кількості води, міжповерхові перекриття повинні мати гідроізоляцію, а підлоги - стоки до каналізації.

Побутові приміщення вибухопожежонебезпечних виробництв мають бути розташовані в окремих будівлях або на першому поверсі виробничого будинку, але не ближче 20 м від приміщення вибухопожежонебезпечних виробництв або робіт.

У всіх умивальнях має бути достатня кількість мила та чисті сухі рушники або повітряно-теплові сушарки для рук. За необхідності працівникам мають видаватись для очищення рук змивальні, дезінфікуючі, пом'якшуючі шкіру засоби.

Приймати їжу дозволяється тільки в спеціально обладнаних приміщеннях: їдальнях, кімнатах відпочинку та приймання їжі, які необхідно обладнувати умивальниками, питною водою, нагрівачами для води, холодильниками та необхідними меблями.

У всіх цехах і дільницях мають бути аптечки з медикаментами і перев'язочним матеріалом для надання першої медичної допомоги.

В більшості випадків розроблений прилад будуть використовувати в сушильних камерах, тому зупинимось на заходах забезпечення охорони праці в сушильних камерах.

Управління охороною праці на підприємстві в цілому здійснює керівник (головний інженер), в цехах, на виробничих дільницях і в службах – керівники відповідних підрозділів і служб.

Організаційно-методичну роботу по управлінню охороною праці, підготовку управлінських рішень і контроль за їх реалізацією здійснює служба охорони праці, безпосередньо підпорядкована керівнику (головному інженеру). Нормативною основою СУОП є кодекс законів про працю, система стандартів безпеки праці, норми, правила, положення, вказівки, інструкції з питань охорони праці. До основних організаційних документів з охорони праці в організаціях належать Положення про організацію роботи з охорони праці об'єднання (треста); Положення про відділ, в якому повинні бути відображені питання охорони праці, за які несе відповідальність даний відділ; Посадові інструкції керівних та інженерно-технічних працівників; Інструкції з охорони праці для робітників по професіях; Накази, постанови і розпорядження з охорони праці та інші інформаційні матеріали. СУОП передбачає комплексне вирішення питань з охорони праці на підприємстві, активну участь в цій роботі всіх інженерно-технічних і господарських служб, колективну відповідальність за створення безпечних умов праці на кожному робочому місці.

Керівні й інженерно-технічні працівники підприємства зобов'язані не рідше одного разу в рік (чи в три роки один раз, у залежності від займаної посади) здавати

екзамени з правил і норм охорони праці.

Інструктаж з техніки безпеки буває: вступний (первинний), безпосередньо на робочому місці (періодичний, позаплановий, цільовий).

Вступний інструктаж з техніки безпеки проводять працівники служби техніки безпеки підприємства в обладнаному кабінеті по техніці безпеки по спеціальній програмі, затвердженій головним інженером підприємства. Під час вступного інструктажу роз'яснюють загальні положення законодавства про працю, правила внутрішнього розпорядку підприємства, правила поведінки працівників на території підприємства, у виробничих цехах, вимоги до робочого місця, спецодягу і спецвзуття, основні вимоги особистої і виробничої гігієни, правила надання першої допомоги при нещасних випадках і захворюванні.

Інструктаж безпосередньо на робочому місці проводять до початку роботи з усіма новоприбулими на підприємство, а також з робітниками, переведеними з однієї роботи на іншу чи з одного виду устаткування на інший. Інструктаж проводить безпосередньо керівник робіт, виконавець робіт, майстер, під керівництвом якого знаходиться даний робітник. Під час інструктажу на робочому місці робітника знайомлять з основними безпечними прийомами праці на даній ділянці.

Періодичний інструктаж проводить безпосередній керівник робіт кожен квартал із усіма робітниками незалежно від їхньої кваліфікації і стажу роботи з даної професії, за програмою інструкцій на робочому місці.

Позаплановий інструктаж робітників безпечним методам праці проводять у випадку зміни технологічного процесу, заміни устаткування, що обслуговується, і механізмів, у результаті чого змінюються умови безпеки роботи; якщо через слабкі знання вимог техніки безпеки були нещасні випадки та професійні захворювання.

До роботи щодо обслуговування сушильних камер допускаються особи, що знають їх будову і правила технічної експлуатації. Основну небезпеку представляють заходи обслуговуючого персоналу у камери. Їх кількість повинна бути максимально скорочена, для чого необхідно застосовувати стаціонарні або дистанційні психрометри, пристосування для закладки і виїмки контрольних зразків з коридору управління [17].

При заході в камеру оператор сушильної установки повинен надягати брезентовий костюм з щільними застібками у ворота і кистей рук, рукавички, шолом і протипожеву маску з повітроохолоджувачем. Підлоги приміщення камер, особливо які мають підвал, повинні перебувати в справному стані. Камери мають бути обладнані електричним освітленням напругою 12-18 В. Якщо воно відсутнє, слід користуватися акумуляторними ліхтарями або переносними низьковольтними лампами з сіткою і броньованим шнуром.

Двері в камеру повинні мати зовнішні і внутрішні ручки. При вході в камеру необхідно стежити за тим, щоб двері випадково не закрили зовні. Якщо оператору треба зайти в гарячу камеру, біля її дверей повинен перебувати черговий.

Коридори управління камер, лабораторія, топкові приміщення газових камер повинні бути обладнані вентиляцією для того, щоб підтримувати температуру не вище 25° С.

Паропроводи необхідно теплоізолювати, фланці з'єднань паропроводів і калориферів закрити захисними екранами. Всі рухомі частини обладнання сушильних камер повинні бути закриті огороженнями.

В сушильному цеху необхідно періодично проводити навчання персоналу правилам охорони праці і техніки безпеки, а також інструктаж з виробничої санітарії. У цеху повинен бути обладнаний санітарний пост і стенди з наочними посібниками з техніки безпеки.

При експлуатації газових камер необхідно стежити за герметичністю газоходів, топків та дверей камер. Заходити в працюючі газові камери дозволяється тільки в протигазі і захисному костюмі.

Зольне приміщення топки повинно бути обладнане вентиляцією і мати двері, що ведуть назовні. Перед топковим отвором повинні бути встановлені екрани, що захищають робітників від впливу теплового випромінювання. Шибери і заслінки, що перекривають газоходи, повинні мати систему управління «ми з підлоги приміщення. Положення шиберів і заслінок повинно надійно фіксуватися запірними пристроями. Категорично забороняється ходити по зведення топки під час її роботи.

Необхідно виконувати такі протипожежні вимоги: регулярно прибирати приміщення камер, цеху та інших допоміжних приміщень, не допускаючи

скупчення відходів і сміття; у приміщенні сушильного - цеху не застосовувати відкритий вогонь (свічки, газові і паяльні лампи) і не курити; проводити зварювальні роботи с. дозволу представників пожежної охорони; своєчасно подавати мастило в підшипники вентиляторів і електродвигунів, не допускаючи їх перегріву.

У газових сушильних камерах, крім того, необхідно: стежити за станом топкових газів, не допускати вильоту іскор за межі іскрогасячої камери топки, користуватися тільки дозволеним для неї паливом; систематично чистити кнури і газоходи; не допускати прогарів топки і подачі великих мас палива, небезпечних у відношенні вибуху; золу з зольного приміщення вивозити не раніше ніж через 5 діб після її видалення з топки.

4.3 Основні причини нещасних випадків на виробництві та профзахворювань і заходи щодо їх попередження

Успішна профілактика виробничого травматизму та професійної захворюваності можлива лише за умови ретельного вивчення причин їх виникнення. Для полегшення цього завдання прийнято поділяти причини виробничого травматизму і професійної захворюваності на такі основні групи: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні, психофізіологічні [15].

Організаційні причини: відсутність або неякісне проведення навчання з питань охорони праці; відсутність контролю; порушення вимог інструкцій, правил, норм, стандартів; невиконання заходів щодо охорони праці; порушення технологічних регламентів, правил експлуатації устаткування, транспортних засобів, інструменту; порушення норм і правил планово-попереджувального ремонту устаткування; недостатній технічний нагляд за небезпечними роботами; використання устаткування, механізмів та інструменту не за призначенням.

Технічні причини: несправність виробничого устаткування, механізмів, інструменту; недосконалість технологічних процесів; конструктивні недоліки устаткування, недосконалість або відсутність захисного огороження, запобіжних

пристроїв, засобів сигналізації та блокування.

Санітарно-гігієнічні причини: підвищений (вище ГДК) вміст у повітрі робочих зон шкідливих речовин; недостатнє чи нераціональне освітлення; підвищені рівні шуму, вібрації; незадовільні мікрокліматичні умови; наявність різноманітних випромінювань вище допустимих значень; порушення правил особистої гігієни.

Економічні причини: нерегулярна виплата зарплати; низький заробіток; неритмічність роботи; прагнення до виконання понаднормової роботи; праця за сумісництвом чи на двох різних підприємствах.

Психофізіологічні причини: помилкові дії внаслідок втоми працівника через надмірну важкість і напруженість роботи; монотонність праці; хворобливий стан працівника; необережність; невідповідність психофізіологічних чи антропометричних даних працівника використовуваній техніці чи виконуваній роботі; незадоволення роботою; несприятливий психологічний мікроклімат у колективі.

Основні заходи щодо попередження та усунення причин виробничого травматизму і професійної захворюваності поділяються на технічні та організаційні.

До технічних заходів належать заходи з виробничої санітарії та техніки безпеки.

Заходи з виробничої санітарії передбачають організаційні, гігієнічні та санітарно-технічні заходи та засоби, що запобігають дії на працюючих шкідливих виробничих чинників. Це створення комфортного мікроклімату шляхом влаштування відповідних систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря; теплоізоляція конструкцій будівлі та технологічного устаткування; заміна шкідливих речовин та матеріалів нешкідливими; герметизація шкідливих процесів; зниження рівнів шуму та вібрації; встановлення раціонального освітлення; забезпечення необхідного режиму праці та відпочинку, санітарного та побутового обслуговування.

Заходи з техніки безпеки передбачають систему організаційних та технічних заходів та засобів, що запобігають впливу на працюючих небезпечних виробничих чинників. До них належать: розроблення та впровадження безпечного устаткування; механізація та автоматизація технологічних процесів; використання запобіжних пристосувань, автоматичних блокувальних засобів; правильне та зручне

розташування органів керування устаткуванням; впровадження систем автоматичного регулювання, контролю та керування технологічними процесами, принципово нових нешкідливих та безпечних технологічних процесів.

До організаційних заходів належать: правильна організація роботи, навчання, контролю та нагляду з охорони праці; дотримання трудового законодавства, законодавчих та інших нормативно-правових актів з охорони праці; впровадження безпечних методів та наукової організації праці; проведення оглядів, лекційної та наочної агітації та пропаганди з питань охорони праці; організація планово-попереджувального ремонту устаткування, технічних оглядів та випробувань транспортних та вантажопідіймальних засобів, посудин, що працюють під тиском.

4.4 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища.

Проведемо аналіз (табл. 4.1) потенційних небезпек та шкідливостей виробничих факторів, які можуть проявитись на підприємстві. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються за природою дії на організм людини на групи : фізичні, хімічні, біологічні, психофізичні [22].

Таблиця 4.1 - Аналіз потенційно небезпечних виробничих факторів

Джерело небезпеки	Характеристика потенційно небезпечних факторів і їх допустимі значення
Електрообладнання	$I_y = 3\text{ А}; U = 220\text{ В}; f = 50\text{ Гц}$
Сушильна камера	Температура повітря до 60°C

4.5 Забезпечення нормальних умов праці

Санітарно-побутове забезпечення полягає у влаштуванні виробничо-

побутових будівель і приміщень для зберігання одягу, особистої гігієни, відпочинку, медичного обслуговування, приймання їжі. Номенклатура-санітарно-побутових приміщень згідно [15] наведена в табл. 4.2.

Вплив метеорологічних умов на організм людини, стан повітряного середовища робить вплив на життєдіяльність організму людини, його трудову діяльність і є важливою характеристикою санітарно-гігієнічних умов праці. Значне відхилення параметрів мікроклімату робочої зони від оптимальних умов можуть бути причинами ряду фізіологічних порушень в організмі працюючого, приводить до зниження працездатності.

Таблиця 4.2 - Номенклатура санітарно-побутових приміщень

Назва приміщення	Найменування побутових пристроїв (обладнання)	Норма площі на одного працюючого	Кількість працюючих	Всього площі, м ²
Гардеробна	Шафа подвійна 50x40, шафа одинарна розмір 50x33	0,9	3	2,7
Туалетні приміщення	1 унітаз на 15 чоловік	0,07	3	0,21
Умивальник	1 кран на 15 чоловік	0,05	3	0,15
Приміщення для обігріву відпочинку і приймання їжі	-	1	3	3

Параметри мікроклімату робочої зони підприємств регламентуються нормативними документами [20]. Оптимальні значення метеорологічних умов у робочих зонах згідно [21] наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Оптимальні значення метеорологічних умов в робочих зонах виробничих приміщень

Характеристика приміщень	Категорія робіт	Період року	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Температура, °C
Операторна	Ia (легка фізична)	теплий	60-40	0,2	22-25
		холодний	60-40	0,2	20-23
	IIб (фізична середньої важкості)	теплий	60-40	0,4	20-22
		холодний	60-40	0,3	17-19

Вентиляція є головним засобом для створення нормальних метеорологічних умов. Оскільки може відбутися аварійний викид природного газу то крім природної вентиляції штучну. Характеристика вентиляції наведена в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Характеристика вентиляції

Приміщення	Тип вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітрообміну, 1/год
Операторна	Приточно-витяжна з природним спонуканням	через витяжку	5
	Аварійна витяжка	даховий вентилятор Ц4-70N4 (n=2900 об/хв, тип двигуна АОЛ41-2 з потужністю N=5,5кВт)	10

Для забезпечення нормальних умов праці необхідним є використання штучного освітлення. Для штучного освітлення основною нормативною величиною є мінімальна освітленість робочих поверхонь в залежності від розряду і підрозряду зорової роботи. Характеристика штучного освітлення робочих місць згідно наведена

в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Характеристика освітлення

Найменування приміщення або виду робіт	Розряд зорових робіт	Освітленість, лк				Типи світильників
Операторна	III, в	Загальна	Комбінована	Аварійна	Евакуаційна	НПО з лампами розжарення
		400	450	7,5	-	

Перелік засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) згідно [22] приведений в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 Засоби індивідуального захисту робітників

Шкідливий виробничий фактор	Призначення ЗІЗ	Назва ЗІЗ (марка, характеристика)	Професія працюючого
Шум з перевищенням ГДР до 10 дБ	Захист органів слуху	Протишумові вкладиші і "Беруши" ТУ-16-2402-80	Слюсар-монтажник

З метою зменшення величини струму, який може пройти через людину в разі її дотику до корпусів електричного обладнання використовуються захисні заземлення. Розрахуємо необхідне значення параметрів захисного заземлення згідно [15,24]

Для заземлення вибираємо вертикальні заземлювачі занурені в ґрунт і з'єднані горизонтальною смугою (рис. 4.1). Опір одного вертикального заземлювача (рис. 4.2):

$$R_B = \frac{\rho_{роз.г.}}{2\pi l} \left(\ln \left(\frac{2l}{d} \right) + 0.5 \ln \left(\frac{4t+l}{4t-l} \right) \right), \quad (3.1)$$

де t — відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м; l, d — довжина і

діаметр стержня, м (див. рис. 4.2); $\rho_{\text{роз.в.}}$ — розрахунковий питомий опір ґрунту, який розраховується за формулою:

$$\rho_{\text{роз.в.}} = \rho \Psi_v \quad (3.2)$$

де ρ — питомий опір ґрунту ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); Ψ_v — коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів (для II кліматичної зони нормальною вологістю він рівний 1.5 [24]).

Вибираємо: $l = 2.5 \text{ м}$; $d = 0,08 \text{ м}$; $t_0 = 0,7 \text{ м}$; $t = 0,5 \cdot l + t_0 = 0,5 \cdot 2,5 + 0,7 = 1,95 \text{ м}$.

Звідси:

$$R_B = \frac{100 \cdot 1.5}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 2.5}{0.08} \right) + 0.5 \ln \left(\frac{4 \cdot 1.95 + 2.5}{4 \cdot 1.95 - 2.5} \right) \right] = 43 \text{ Ом}$$

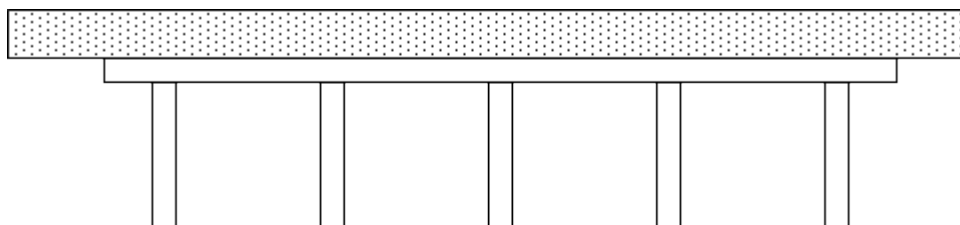


Рисунок 4.1 – Схема розміщення заземлювачів

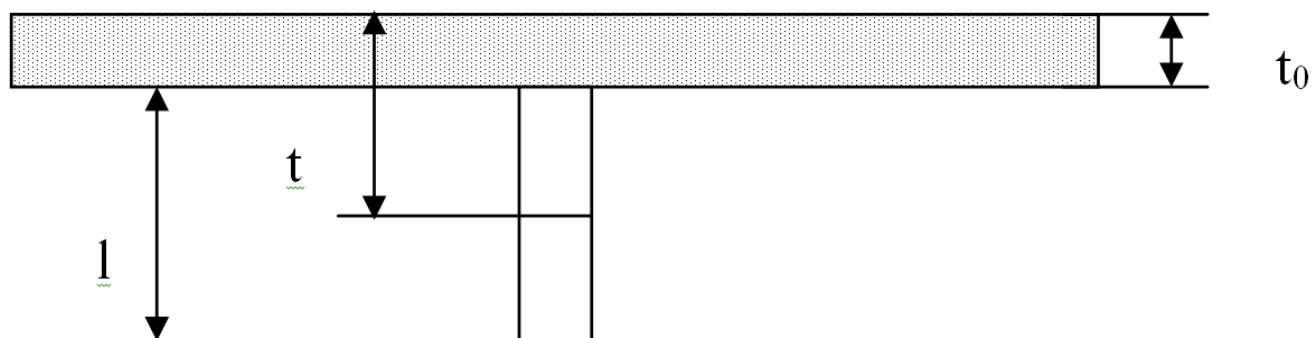


Рисунок 4.2. - Схема розміщення вертикального заземлювача.

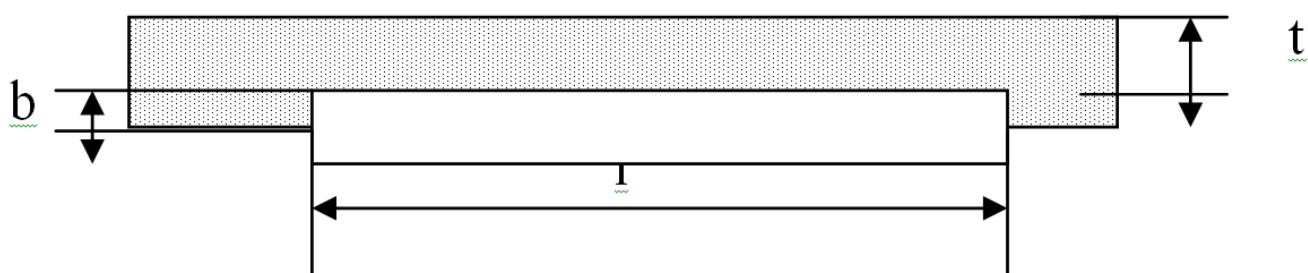


Рисунок 4.3 - Схема розміщення горизонтального заземлювача.

Опір смуги, що з'єднує електроди (рис. 4.3):

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{роз.з.}}}{2\pi d} \cdot \ln \frac{l^2}{dt}, \quad (3.3)$$

де $d = 0,5 b$; b — ширина смуги, м; d — довжина смуги, м; t — відстань від поверхні ґрунту до середини смуги, м;

$$\rho_{\text{роз.з.}} = \rho \Psi_{\text{г}} \quad , \quad (3.4)$$

Коефіцієнт сезонності $\Psi_{\text{г}}$ горизонтального заземлювача для II кліматичної зони з нормальною вологістю дорівнює 3,5 [24].

Вибираємо $l = 10\text{м}$; $b = 0,08$; $d = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 0,08 = 0,04\text{ м}$, $t = 1,95\text{м}$. Звідси:

$$R_{\Gamma} = \frac{100 \cdot 3,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 10} \ln \left(\frac{10^2}{0,04 \cdot 1,95} \right) = 40 \quad \text{Ом}$$

Кількість вертикальних заземлювачів дорівнює:

$$n = \frac{R_B}{R_{\text{доп}} \eta_B} \quad (3.5)$$

де $R_{\text{доп}}$ — допустимий по нормах опір заземлення (згідно [24] для $P > 100\text{ кВт}$, $R < 10\text{ Ом}$); η_B - коефіцієнт використання вертикального заземлювача.

Орієнтована кількість заземлювачів (при $\eta_B = 1$) дорівнює:

$$n = \frac{43}{10 \cdot 1} = 4,3 \quad \text{шт}$$

Кінцева кількість заземлювачів (при $\eta_B = 0,77$ для $n = 6$) дорівнює:

$$n = \frac{43}{10 \cdot 0,77} = 5,88 \quad \text{шт} = 6 \quad \text{шт}$$

Загальний опір заземлювача:

$$R = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B \eta_B + R_{\Gamma} \eta_{\Gamma} n}, \quad (3.6)$$

де η_{Γ} — коефіцієнт використання горизонтального заземлювача ($\eta_{\Gamma} = 0,84$). Звідси

$$R = \frac{40 \cdot 43}{40 \cdot 0,77 + 43 \cdot 0,84 \cdot 6} = 6,95 \quad \text{Ом}$$

Отже розрахований опір вибраної системи заземлювачів $R < 10\text{ Ом}$, що відповідає нормам.

4.6 Висновки до розділу

В даному розділі бакалаврської роботи розглянуто питання охорони праці на підприємствах, на яких використовують розроблений прилад. Проведено аналіз потенційно-небезпечних факторів, які існують на таких підприємствах і вказані засоби захисту. Здійснено розрахунок захисного заземлення електричного обладнання. Враховуючи специфіку умов праці на підприємстві, вказані умови для забезпечення нормальної та безпечної праці персоналу при виконанні їх службових обов'язків.

ВИСНОВКИ

Приведені вище результати роботи можна звести до таких висновків:

а) зроблено аналіз методів і приладів для контролю вологості деревини.

Обґрунтовано вибір для експрес-контролю вологості;

б) зроблено теоретичне обґрунтування вибраного методу;

в) розроблено структурну схему приладу;

г) розроблено електричну схему приладу і розраховано її елементи;

д) розроблено конструкцію давача приладу;

е) розроблено конструкцію блоку приладу;

ж) розроблено конструкцію приладу;

з) зроблено метрологічний аналіз приладу;

и) розглянуто умови забезпечення охорони праці на підприємствах з використанням розробленого приладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кречетов И. В. Сушка древесины.— 3-е изд. перераб.— М: Лесн. пром-сть, 1980.— 432 с.
2. <https://simvolt.ua/vimryuvannya-vologost-materalv-vologomrami-exotek-ua.html>
3. <http://yushchyshyn.com/uk/node/1458>
4. <https://chemtest.com.ua/ua/sistema-kontrolya-vlazhnosti-pilomaterialov-pik-200-ua>
5. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Навчальний посібник для студентів спеціальності 7.092500 «Автоматизоване управління технологічними процесами». - К.: Освіта України, 2012. - 352 с.
6. Берлинер М. А. Измерения влажности. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1973. 400 с.
7. <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>.
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/HD44780>.
9. Дорожовець М. М. Опрацювання результатів вимірювань. – Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2007. – 632 с.
10. Поджаренко В. О. Опрацювання результатів вимірювання на основі концепції невизначеності. / В. О. Поджаренко, О. М. Василевський, В. Ю. Кучерук – Вінниця. ВНТУ, 2008. – 128 с.
11. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювання: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Івано-Франківськ: Видавництво “Факел”, 2002. – 400 с.
12. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM – 1993). – 1995 First edition, 1993. – Corrected and reprinted. – ISO. – Geneva. – 1995.
13. Застосування "Руководства по выражению неопределенности измерений". – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 19 с.
14. Ціделко В. Д. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання

результату вимірювання: Монографія. / В. Д. Ціделко, М. А. Яремчук – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2002. – 176с.

15. Жидецький В. Ц. Практикум з охорони праці: підручник. / В. Ц. Жидецький , В. С. Джигирей, В. М. Сторожук– Львів: Афіша, 200. – 343с.

16. <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0306-05>

17. Расев А. В. Сушка деревини Підручник для проф .. -техн. училищ. М.: Вищ. школа, 1980 (Профтехосвіта. Деревообробна промисловість).

18. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

19. ДСТУ EN 12464-1:2022 «Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Робочі місця в приміщенні»

20. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»

21. ДСТУ EN 482:2022 «Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин»

22. Технічний регламент класифікації небезпечності, маркування та пакування хімічної продукції. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/116/f535381n21.pdf> (Дата звернення: 16.06.2026 р.)

23. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».

24. Калічак О. В. – Охорона праці. Методичні вказівки для виконання дипломного проекту. / О. В. Калічак, Г. Н. Семенцов, Я. Р. Когуч Івано-Франківськ, 2004 - 68 с.