

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"
на тему:
**Підвищення ефективності роботи машини для перероблення вовни в
утеплювач**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІз-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Рудяк Юрій Валерійович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Луц Павло Михайлович

Дніпро, 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«26» грудня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Рудяку Юрію Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності роботи машини для перероблення вовни в утеплювач

керівник роботи Івлєв Віталій Володимирович, канд. техн. наук

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«26» грудня 2023 року № 4084

2. Строк подання студентом роботи 12 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі механізації тваринництва та існуючих технічних засобів для переробки овечої вовни в утеплювач. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасного стану проблеми та визначення напрямків досліджень. 2. Теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів машини для перероблення вовни в утеплювач. 3. Програма і методика проведення експериментальних досліджень. 4. Результати експериментальних досліджень. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність використання машини для перероблення вовни в утеплювач. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень (2 аркуша, А4). 2. Аналіз адаптивних доїльних апаратів (2 аркуша, А4). 3. Аналітичні дослідження (1 аркуш, А4). 4. Експериментальні дослідження (2 аркуша, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (2 аркуша, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Івлєв В. В., доцент	26.12.2023	12.02.2024
Нормоконтроль	Івлєв В. В., доцент	26.12.2023	12.02.2024

7. Дата видачі завдання: 26 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний	26.12.2023-30.12.2023	виконано
2	Теоретичний	02.01.2024-15.01.2024	виконано
3	Експериментальний	16.01.2024-27.01.2024	виконано
4	Охорона праці	28.01.2024-01.02.2024	виконано
5	Економічний	01.02.2024-06.02.2024	виконано
6	Демонстраційна частина	06.02.2024-12.02.2024	виконано

Студент

(підпис)

Рудяк Ю. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Івлєв В. В.

(прізвище та ініціали)

Рудяк Ю. В. Підвищення ефективності роботи машини для перероблення вовни в утеплювач. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

В першому розділі проведено аналіз технологій первинної обробки вовни, надано класифікацію та аналіз існуючих конструкцій валяльних машин, обґрунтовано конструкційно-технологічну схему малогабаритної плитно-валяльної машини. В другому розділі обґрунтовано раціонального складу утеплювача із повсті на основі теоретичних досліджень його теплофізичних властивостей. Проведено обґрунтування геометричних параметрів робочої поверхні плитно-валяльної машини. Третій розділ присвячено програмі та методиці експериментальних досліджень. В четвертому розділі приведені результати лабораторних досліджень реологічних властивостей грубої овечої вовни і результати експериментальних досліджень технологічного процесу перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач. Частина з охорони праці, розглядає питання карти безпеки праці по розробленій машини для перероблення вовни. В розділі 6 приведена техніко-економічна оцінка та показана економічна доцільність прийнятих рішень.

Ключові слова: вовна, утеплювач, стиснення, деформація, машина, ефективність, фактор досліджень, параметри

ЗМІСТ

	Вступ	8
1	АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
	1.1 Аналіз технологій первинної обробки вовни	9
	1.2 Класифікація та аналіз існуючих конструкцій валяльних машин ..	14
	1.3 Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми малогабаритної плитно-валяльної машини	18
	1.4 Мета і завдання досліджень	21
	1.5 Висновки з розділу.....	22
2	ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИНИ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВОВНИ В УТЕПЛЮВАЧ	24
	2.1 Обґрунтування раціонального складу утеплювача із повсті на основі теоретичних досліджень його теплофізичних властивостей	24
	2.2 Обґрунтування геометричних параметрів робочої поверхні плитно-валяльної машини	29
	2.3 Висновки з розділу.....	34
3	ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
	3.1 Методика проведення досліджень реологічних властивостей грубої овечої вовни	35
	3.2 Методика експериментальних досліджень технологічного процесу перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач	37
	3.3 Планування експерименту	40
4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	45
	4.1 Результати лабораторних досліджень реологічних властивостей грубої овечої вовни	45

4.2	Експериментальні дослідження технологічного процесу перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач	49
4.3	Висновки з розділу.....	57
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
5.1	Результати обстеження розробленої машини для перероблення вовни в утеплювач	48
5.2	Дослідження дії небезпечних факторів на оператора машини для перероблення вовни в утеплювач	59
5.3	Карта безпеки праці по розробленій машині для перероблення вовни	61
5.4	Висновки з розділу.....	62
6	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИНИ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВОВНИ В УТЕПЛЮВАЧ	63
	ВИСНОВКИ	65
	БІБЛІОГРАФІЯ	67

ВСТУП

Україна спостерігає тенденцію збільшення поголів'я овець на протязі останніх років, і це збільшення становить від 6% до 10% щорічно. Також виробництво вівчарської продукції, зокрема напівгрубої, грубої та кросбредної вовни, збільшується на 12-18% щороку. Це свідчить про те, що галузь вівчарства переходить до великотоварного виробництва продукції вівчарства з формуванням великих отар, які налічують від 800 до 1000 овець.

Перебудова структури галузі вівчарства в Україні подібна до процесу, який відбувається в ряді східноєвропейських країн. Ця перебудова призводить до переорієнтації галузі на виробництво м'яса, молока, вовни та шуб, що призводить до збільшення виробництва напівгрубої та грубої вовни.

Проблема, що виникає в цьому контексті, полягає в низькій ціні на обрізану напіввовняну і грубошерсту шерсть, яку можуть продавати великими партіями тільки підприємства з первинної переробки вовни. Це часто призводить до того, що ціна не відшкодовує витрати на доставку вовни на переробні підприємства. За даними Асоціації заводчиків українських овець і кіз, на сьогоднішній день в Україні є 530 тонн незатребуваної вовни, в тому числі 3610 тонн грубої вовни. Однак його переробка стикається з певними труднощами: він продається за низькою ціною або взагалі не використовується за прямим призначенням. Тому необхідно розробляти передові і ресурсозберігаючі механізовані технології і створювати високоефективні технічні засоби для переробки грубих, малоцінних і проблемних вовняних виробів з вовни на виробничих майданчиках.

Виробництво обладнання для первинного перероблення вовни в повсякденні вироби в умовах господарств або сільськогосподарських обслуговуючих кооперативів, тобто в місцях, наближених до вівчарських господарств, в Україні відсутнє.

Первинне перероблення грубої та напівгрубої вовни в утеплювач тваринницьких приміщень, яке можна б було організувати безпосередньо в умовах господарств або сільськогосподарських об'єднань, дасть змогу отримати конкурентоздатну товарну продукцію із низькою собівартістю виробництва і за рахунок цього підвищити рентабельність галузі вівчарства в цілому.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз технологій первинної обробки вовни

В світовій практиці існує безліч напрямків для первинної обробки вовни. На сьогоднішній день виділяють 4 основних методи очищення вовни, які варто розглянути [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]:

- очищення вовни органічними розчинниками [11];
- заморожування вовни при різних температурах (0°C, -7°C, -17°C);
- використання звукових і ультразвукових коливань з інтенсивністю від 0,2 до 0,5 Вт/см² та частотою від 5 до 22 кГц [12, 13];
- промивання вовни [14].

Метод очищення вовни органічними розчинниками має свої недоліки, такі як великі витрати капіталу, підвищення ризику пожежі, негативний вплив на навколишнє середовище та заборону використання хлорорганічних речовин.

«Інші методи очищення вовни, такі як заморожування та використання звукових і ультразвукових коливань, залишаються поки що на стадії лабораторних та експериментальних досліджень» [17].

Але М.К.Ас Тимошенко (2007) вказала, що одним з перспективних напрямків первинної переробки вовни є екологічно чиста шерсть і ланолін, очищення стічних вод, методи очищення вовни для отримання повної нейтралізації і знезараження осаду [15].

Цей спосіб промивання вовни використовується в якості базової технології первинної обробки вовни і впроваджується Харківської та Чернігівської фабриками первинної обробки вовни (Ет). Після цієї обробки шерсть відправляється на подальшу переробку в різні вовняні вироби, такі як топи, стрічки, пряжа.

Для впровадження базових технологій первинної обробки вовни і подальшої переробки вовняних виробів використовуються відповідні машини і обладнання безперервної дії. Однак цей пристрій часто має великі розміри і відповідає вимогам

великосерійного виробництва при режимі соціалістичної епохи. Наприклад, на заводах первинної переробки вовни "ВС-2а" для очищення вовни використовуються різні установки для очищення вовни вітчизняних і зарубіжних виробників, такі як Івтекмаш (СРСР), МП-5Ш (Росія), Шерпантьє (Бельгія), Петрі Макнот (Великобританія), Текс (Німеччина). (Польща) та інші.

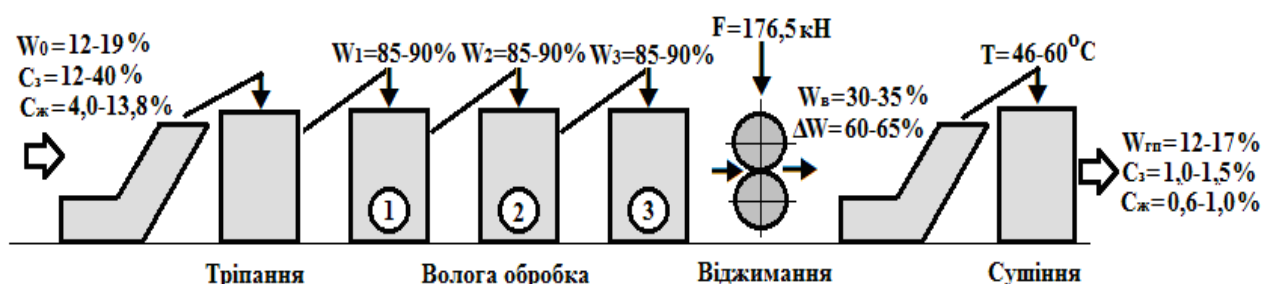


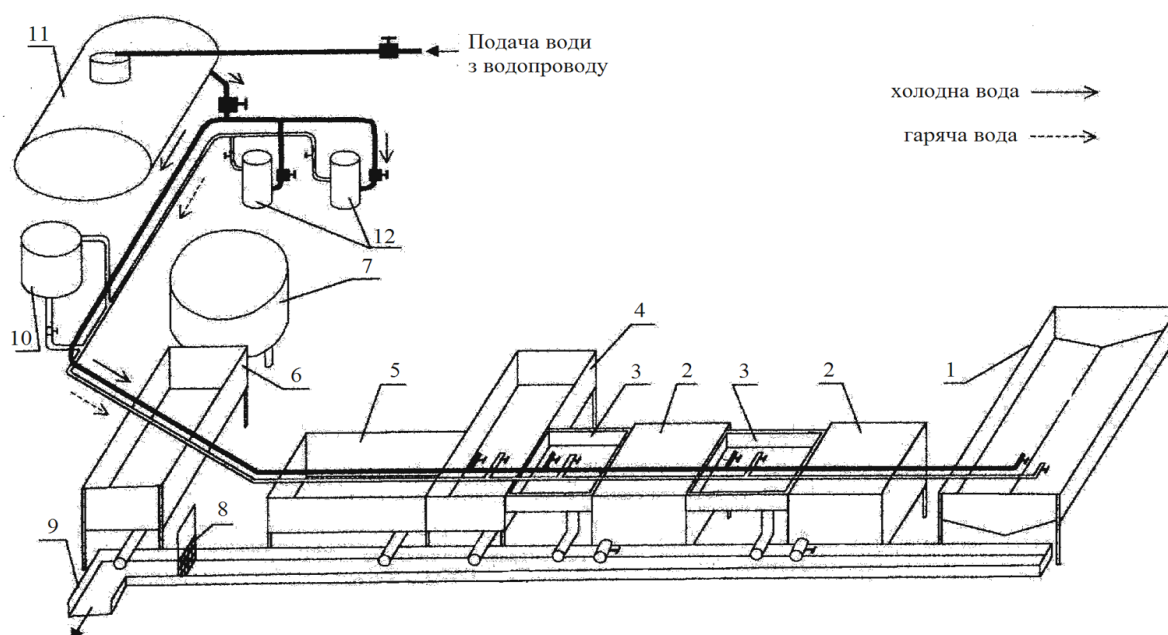
Рисунок 2.1 – Технологія обробки вовни на Чернігівській і Харківській фабриках

Базовий склад вовномийних агрегатів та технологічний процес промивання вовни однакові для всіх машин, проте в конструкціях цих агрегатів існують значні відміни, які впливають на якість процесу очищення вовни. Особливо важлива різниця спостерігається в конструкціях вовномийних машин, які мають від 3 до 6 барок. Для прання тонкої та напівтонкої вовни використовують агрегати з не менше ніж 5 барок, а для напівгрубої та грубої – 3-4. Для переміщення вовни в межах технологічного процесу та перевезення вологонасиченої вовни з однієї барки в іншу використовують грабельні та барабанні механізми. Вовну віджимають, головним чином, після вологої обробки, застосовуючи віджимні вали з навантаженням в 176,5 кН. Після віджимання вовну сушать у спеціальних «сушарках» при температурі 45-60 °С. Цей процес дозволяє виділити цінну сировину для парфумерії, яка називається ланолін жиропоту овець [16].

У сучасній Україні діють дві фабрики первинної переробки вовни – в Харкові і Чернігові. Вони мають застарілі методи очищення вовни, застаріле обладнання, і вони знаходяться далеко від місць виробництва вовни. У минулому ці фабрики здійснювали первинну переробку вовни з усієї України і навіть інших республік, але зараз обсяг збору і переробки вовни значно скоротився через обмежений

асортимент продукції, що надходить на ринок, і проблеми взаємодії між фабриками і виробниками первинної переробки вовни [17].

Для підвищення конкурентоспроможності вівчарської галузі в сучасних нестабільних ринкових умовах необхідна розробка альтернативних технологій механізації первинної переробки вовни безпосередньо на виробничих площах, особливо на сільськогосподарських підприємствах. Однак на сьогоднішній день в Україні немає технічних засобів для впровадження цих нових технологій [18].



1 – резервуар для вовни під час замочування; 2 – машина для прання вовни; 3 – піддон для проміжних операцій; 4 та 5 – ємності для полоскання вовни; 6 – контейнер для зберігання праної вовни; 7 – центрифуга для віджимання вологої вовни; 8 - пристрій для утримання вовни; 9 – жолоб для стоку використаної води; 10 – резервуар для нагрівання гарячої води; 11 – резервуар для зберігання холодної води; 12 – нагрівач води типу поточного гарячого водонагрівача

Рисунок 2.2 – Схема лінії обробки вовни за технологією ІТСП «Асканія-Нова» НААН

Перший спробою впровадження первинної обробки вовни на місцях її виробництва було створення технології для сухої очистки та послідууючої вологої обробки вовни, включаючи замочування, промивання, полоскання та

центрифугування з подальшим сушінням на відкритому повітрі. Ця експериментальна лінія мала свої переваги, такі як простота конструкції, висока надійність та низька витратність енергії для вологої обробки вовни. Проте вона мала і свої недоліки, такі як низька якість промивання вовни через залишки відпрацьованого миючого розчину, значні витрати води та миючих засобів, а також великі трудові витрати для виконання процесу промивання вовни.

На наступному етапі Інститутом механізації тваринництва Української академії аграрних наук була розроблена механізована технологія, яка сприяє збереженню ресурсів (див. рисунок 2.3). Для впровадження цієї технології був створений комплект обладнання у формі технологічного модуля під назвою ТМ ПОВ-8,0 (показано на рисунку 2.4) [19].

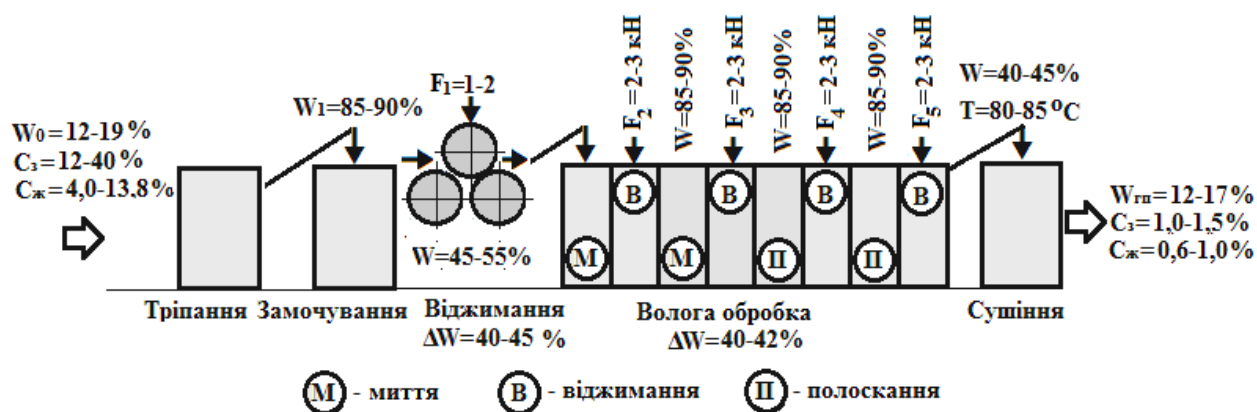
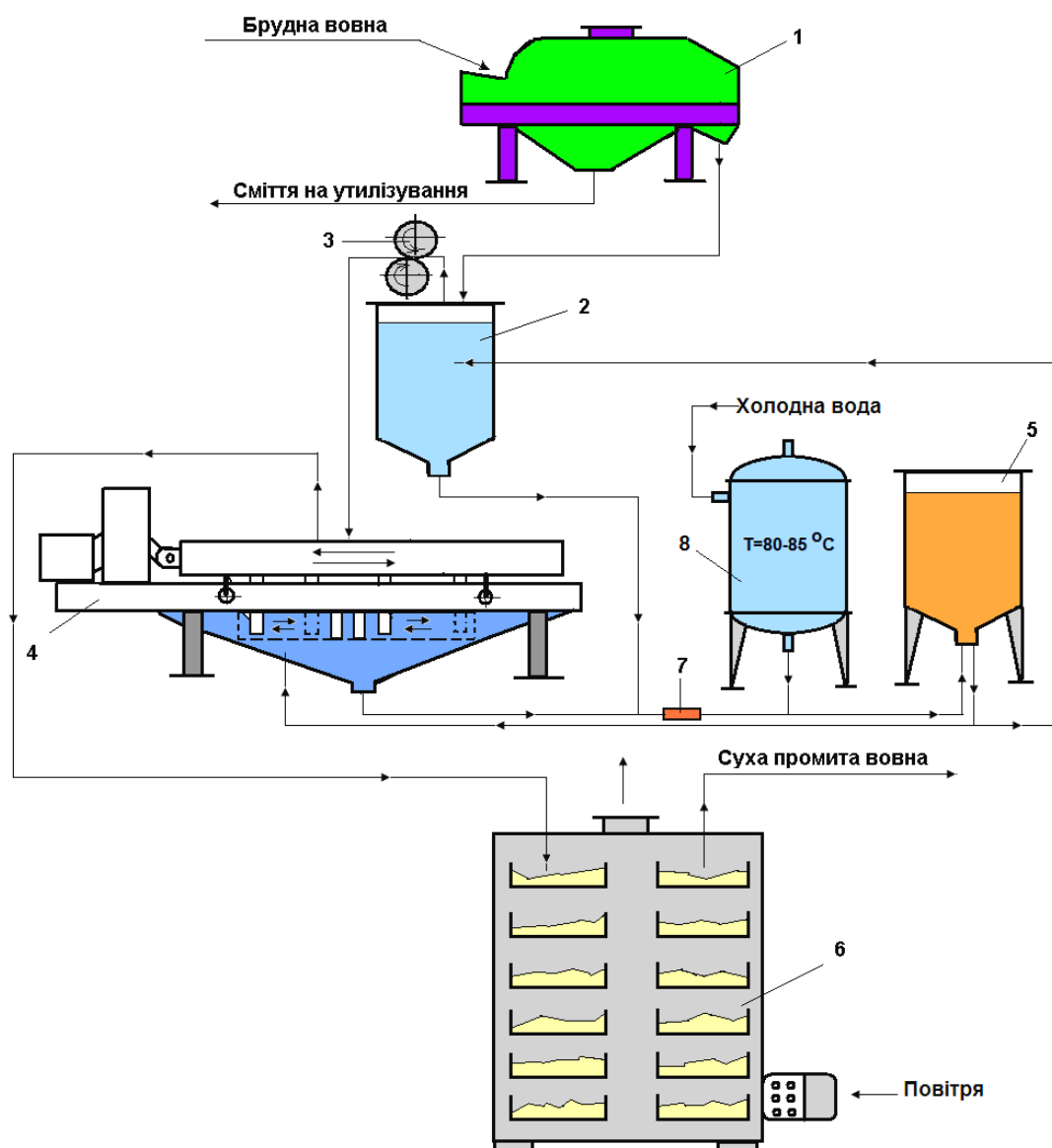


Рисунок 2.3 – Механізована технологія ІМТ НААН

Основний принцип розробки ґрунтується на ідеї послідовного віджимання вовни після кожного етапу вологої обробки: після процесу замочування - за допомогою віджимного валкового пристрою ВВП-8,0, і після промивання та полоскання - використовуючи мийно-віджимну машину МВМ-0,24 [20, 21].



1 – пристрій для розпушування вовни типу 2БТМ-420; 2 – обладнання для впровадження процесу замочування вовни; 3 – віджимний валковий пристрій ВВП-8,0; 4 – машини для прання та віджимання вовни МВМ-0,24; 5 – установка для підготовки миючого розчину; 6 – сушильна камера типу КС-1; 7 – покращений система фільтрації Ф-3,0; 8 – нагрівач води типу САОС-800/90

Рисунок 2.4 – Модуль обробки вовни ТМ ПОВ-8,0 за ІМТ НААН

В ході виробничих випробувань технічного модуля ТМ ПОВ-8,0 було встановлено, що даний дослідний зразок модуля дозволяє досягти задовільних показників в експлуатації і технічних характеристиках. Використання технології механізації інституту механізації тваринництва Національної академії наук,

заснованої на безперервному витягуванні вовни після кожного етапу вологої обробки (зокрема, замочування, прання і полоскання) з використанням волочильного роликового пристрою ВВП-8,0 і пральної волочильної машини МВМ-0,24, а також використання проточної фільтрації розчинів миючих засобів через вдосконалений проточний фільтр Ф-3.0 підвищує якість очищення вовни на 25 %. У той же час втрати води і миючого засобу в процесі чищення вовни скорочуються в 1,5-2,0 рази, а трудовитрати і енерговитрати знижуються до 30 % [22, 23, 24].

1.2 Класифікація та аналіз існуючих конструкцій валяльних машин

У світовій практиці існує безліч технологій валяльно-повстяного виробництва різних виробів (повсть, валяне взуття, повсть, валяне сукно) з грубої вовни, що ґрунтуються на різних способах оброблення та перероблення в товарну продукцію. Однак відомі базові технології здебільшого розраховані на великосерійне промислове виробництво, потребують значних капіталовкладень, а створювані для їхньої реалізації повстяні машини мають високу питому матеріаломісткість і енергоємність техпроцесу.

З аналізу основних технологій валяння і виробництва повсті та наявних технічних засобів для їхньої реалізації [25, 26, 27, 28, 29] видно, що основу цих технологій становлять різні валяльні машини, які можна згрупувати й класифікувати за такими характерними ознаками (рисунок 2.5)

- 1 – за кількістю перероблюваної вовни (малі, великі);
- 2 – за типом продукції (повсть, взуття, фетр, стрічка, тканина);
- 3 – за типом робочого органу (тарілка, молоток, барабан, голкопробивний верстат);
- 4 – за типом руху робочого органу (вібрація, обертання);
- 5 – за рухом частини тіла (верхня пластина, верхня і нижня пластини одночасно);

б – за напрямком руху (поперечний, уздовж, круговий, еліптичний, діагональний).

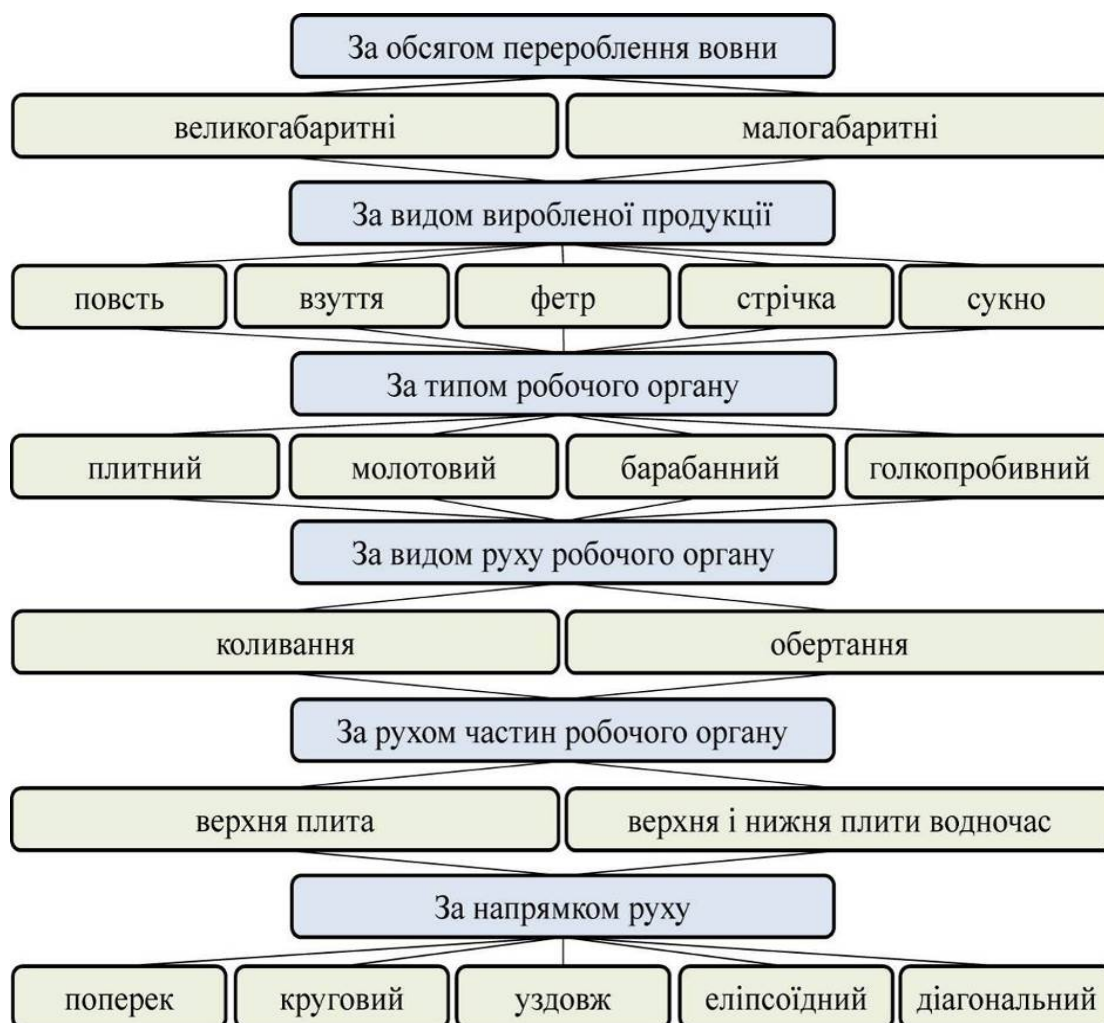


Рисунок 2.5 – Класифікація існуючих конструкцій валяльних машин

Базова конфігурація повстяної машини і технологічний процес виробництва повстяної грубої вовни єдині для всіх машин і агрегатів. Однак їх конструкція володіє унікальними особливостями, які істотно впливають на якісні показники їх роботи при здійсненні технічного процесу валяння з грубої вовни.

Розглянемо конструкцію наявних великих повстяних машин для переробки грубої вовни в різні повстяні вироби (табл. 2.1).

До недоліків цих повстяних машин відносяться великі габарити, вузька спеціалізація, обмежена функціональність, високий питома витрата матеріалу і енергоємність робочого процесу.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз великогабаритних валяльних машин

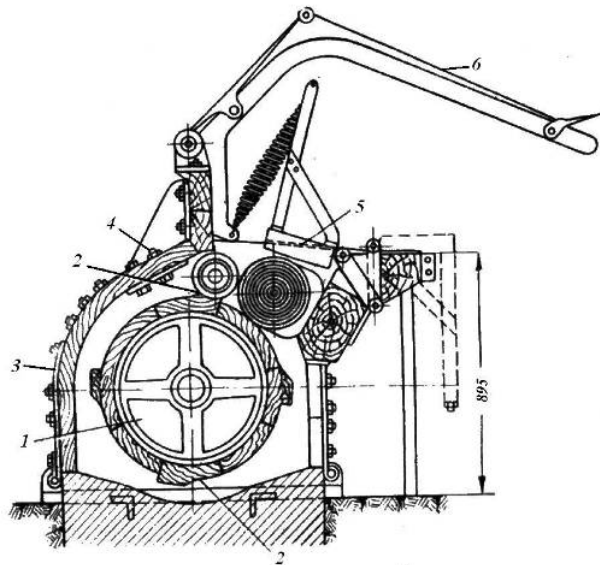
Показник	Валяльні машини і агрегати					
	Молотова машина вертик. бою	Двухмолотова машина горизон. бою	Молотова машина з підвісним боєм	Машина Гросселена	Кільцева машина	Машина Нікуліна
Продукт., кг/год.	50	50	170	45	30	70
Потуж., кВт	5,6	4,2	14,3	4,1	0,9	2,3
Кількість органів	1	2	1	2	4	3
Ширина, м	0,51-0,76	0,77	1,72	1,63	0,61	1,72
Обертання, об./хв.	120-130	80-130	80-130	70-130	165-240	240
Об'єм, м ³	0,26	0,34	0,25	0,31	—	—
Завантаження, кг	37-39	37-39	180-190	31-36	—	—
Персонал, люд.	I	I	I	I	I	I
Розміри, м	2,2×1,8×1,9	2,4×1,5×1,7	2,3×2,1×3,3	2,5×1,7×2,6	1,6×1,2×1,2	2,6×1,6×1,5
Маса, кг	2200	2100	3800	3750	3860	4670
Матеріаломісткість, кг-год/кг	53,1	52,2	22,4	103,5	199,0	75,3
Енергоємність, кВт-год/кг	0,13	0,11	0,07	0,11	0,03	0,05
Продукція	основа взуття	стрічка	стрічка, основа взуття	стрічка, основа взуття	стрічка, основа взуття	фетрові ковпаки

Розглянемо відому і найтипівішу конструкцію невеликих повстяних машин, що використовуються для подібних цілей: конструкція кулачкової машини "В'язовий" (рис. 2.6), призначеної для виробництва повстяної стрічки зі щільністю полотна 110-130 кг/м³, заслуговує на увагу.

Конструктивні особливості: однобарабанний робочий орган зі 145 оборотами на хвилину, з чотирма ребрами, що вдаряють по фетровій стрічці з частотою до $4 \times 145 = 580$ ударів/хв.

Переваги: простота конструкції і надійність в експлуатації.

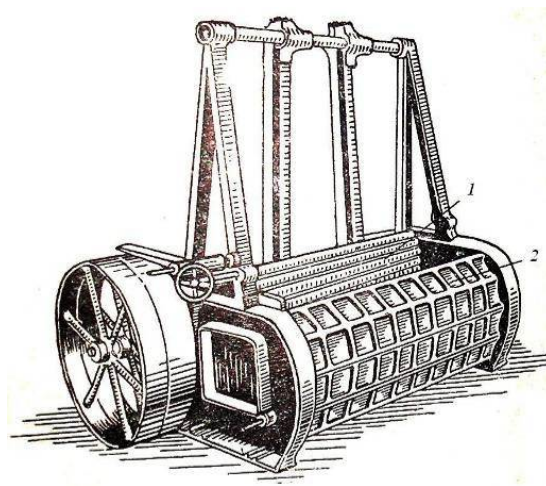
Недоліки конструкції: великий розмір, переривчастість, обмежена функціональність, висока витрата матеріалу й енергії в процесі валяння грубої вовни або суміші у повстяний шар, на який вона спирається.



1 – барабани, 2 – ребра, 3 – корпус, 4 – кришки, 5 – ролик, 6 – ручка

Рисунок 2.6 – Машина В'язового

На велику увагу заслуговує конструкція бильної машини "Дзулко" (рис. 2.7), призначеної для виробництва високощільної повстяної стрічки зі щільністю полотна 150-170 кг/м³.



1 – молот; 2 – корито

Рисунок 2.7 – Молотова машина Дзулко

Конструктивні особливості: один вібромолот завдає ударів по повстяній стрічці з частотою до 110 ударів на хвилину.

Переваги: проста конструкція, висока продуктивність, надійність робочого процесу.

Недоліки конструкції: великі розміри, висока матеріаломісткість та енергоємність процесу перетворення грубої вовни або сумішей на її основі на повстяну стрічку.

1.3 Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми малогабаритної плитно-валяльної машини

На підставі проведених раніше наукових досліджень [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36] та аналізу існуючих конструкцій машин для виробництва повстяних виробів із грубої вовни можна стверджувати, що досягнення оптимальних показників продуктивності, якості та ефективності технічного процесу валяння грубої вовни можливе за таких умов:

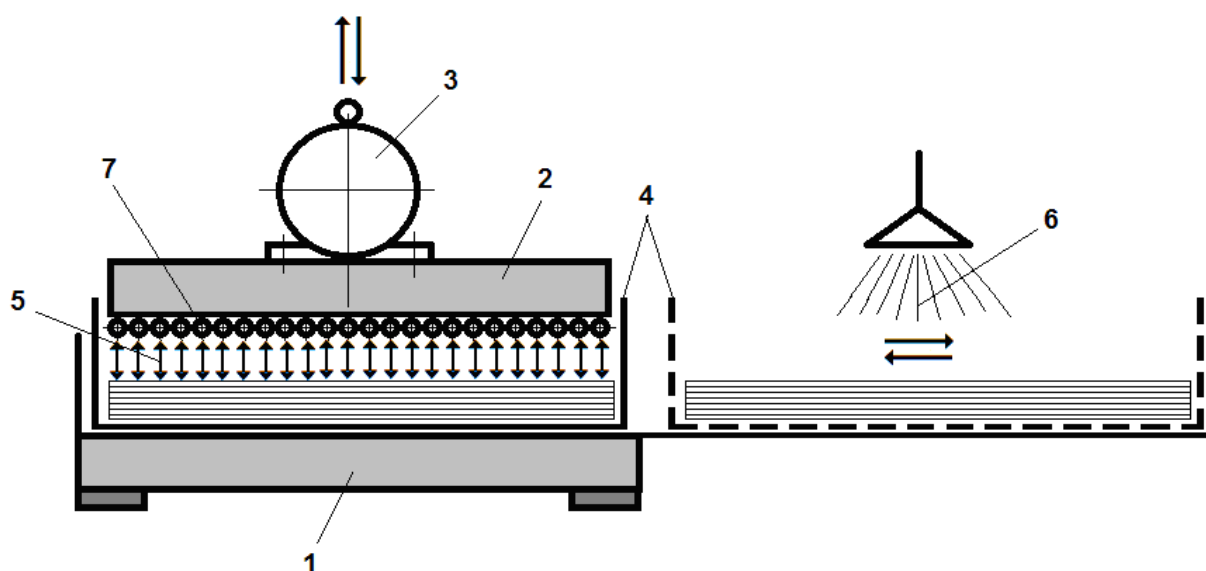
– здійснення процесу валяння грубої овечої вовни в повстяний пласт за рахунок ударно-механічного віброущільнення шару зволоженої грубої вовни, що дозволить забезпечити достатньо високу продуктивність робочого процесу при низьких енерговитратах;

– застосування періодичного зволоження шару грубої овечої вовни в процесі віброущільнення, що дозволить забезпечити достатньо високий ступінь її ущільнення;

– інтенсифікація процесу валяння грубої овечої вовни за рахунок застосування фігурних рифлів на робочій поверхні верхньої рухомої плити, що дозволить організувати направлену найбільш інтенсивну ударну дію на шар зволоженої грубої вовни.

Для досягнення поставлених вимог розроблено [37] та обґрунтовано [38] конструктивно-технологічну схему малогабаритної плитно-валяльної машини, яка призначена для організації процесу виробництва із незатребуваної овечої вовни утеплювача у вигляді повстяного пласта.

Компактна валяльна машина (показана на рис. 2.8) для створення утеплювача з грубої вовни має горизонтально розташовані плити: нижню нерухому плиту 1 і верхню рухому плиту 2, яка може здійснювати вертикальний рух і коливальний рух. Машина також включає дебалансовий вібродвигун 3 зі змінною амплітудою коливань для приводу. Додатково, в машині є піддон 4, розташований між плитами 1 і 2 в області валяння 5, який може виконувати зворотно-поступальний рух в горизонтальній площині. Також в машині передбачена зона для формування та зволоження заготовок 6. По нижній поверхні верхньої рухомої плити 2 розташовані поздовжні рифи 7.



1 – нижня стаціонарна плита; 2 – верхня рухома плита; 3 – вібродвигун із дебалансом; 4 – піддон; 5 – область валяння; 6 – сегмент для створення та зволоження заготовок; 7 – ребра на робочій поверхні верхньої рухомої плити

Рисунок 2.8 – Конструкційно-технологічна схема плитно-валяльної машини для виготовлення повсті з грубої вовни

Малогабаритна плитно-валяльна машина працює за такою послідовністю операцій. Спочатку, перед початком валяння грубої овечої вовни, верхня рухома плита 2 піднімається вертикально до верхньої точки відносно нижньої стаціонарної

плити 1 і фіксується в цій позиції. Піддон 4 переміщується горизонтально зі зони валяння 5 в область формування та зволоження заготовок 6. Заготовка з грубої овечої вовни, або сумішка на її основі (груба вовна – до 70 %; малоцінна, проблемна або дефектна – до 30 %), рівномірно розкладається на піддоні 4 і одночасно зволожується спеціальним розчином. Завантажений піддон 4 знову переміщується в зону валяння 5. Верхня плита 2 опускається до контакту з поздовжніми рифлями 7, розташованими на нижній робочій поверхні верхньої плити 2, і ущільнює заготовку, яка знаходиться в піддоні 4, завдяки коливальному руху верхньої плити 2, спричиненому вібродвигуном 3 з дебалансом.

Наприкінці першого циклу формування верхня плита 2 піднімається в найвище положення і фіксується в цьому положенні. Піддон 4 переміщується в зону формування і змочування заготовок 6, де повертається на 90° за годинниковою стрілкою, і заготовки знову змочуються спеціальним розчином.

Потім піддон 4 знову переміщується в зону валяння 5. Верхня плита 2 опускається до контакту із поздовжніми рифлями 7 і ущільнює заготовку. Кожен наступний цикл ущільнення виконується з більшою амплітудою коливання порівняно з попереднім циклом. Піддон 4 також обертається на 90° за годинниковою стрілкою після кожного циклу ущільнення заготовки, і заготовка знову зволожується спеціальним розчином.

Кількість циклів ущільнення визначається технологічними вимогами до виготовлення продукції.

Розташування поздовжніх рифлів циліндричної форми на нижній робочій поверхні верхньої плити дозволяє надати направлену та інтенсивну дію на заготовку грубої овечої вовни (або сумішки) під час процесу валяння, що сприяє високому ступеню її ущільнення і значно підвищує ефективність всього процесу валяння в необхідний повстяний пласт.

Використання як приводу верхньої рухомої плити дебалансного вібротора зі змінною амплітудою коливань дає змогу чинити найсильніший ударно-механічний та вібраційно-вібраційний вплив зі змінною амплітудою коливань на шар вологих заготовок у піддоні, забезпечуючи досить високий ступінь стиснення,

що значно підвищує ефективність процесу валяння не звальної шерсті у повстяний шар теплоізоляційного матеріалу.

Технологічний процес валяння грубої вовни передбачає зміну її фізико-механічних властивостей. Запропонована базова технологічна схема процесу валяння грубої овечої вовни (рисунок 2.9) дозволяє отримати із очищеної грубої овечої вовни з щільністю 50-70 кг/м³ й вологістю 13-14 % сухий повстяний пласт з щільністю 140-180 кг/м³ й вологістю 13-14 %.

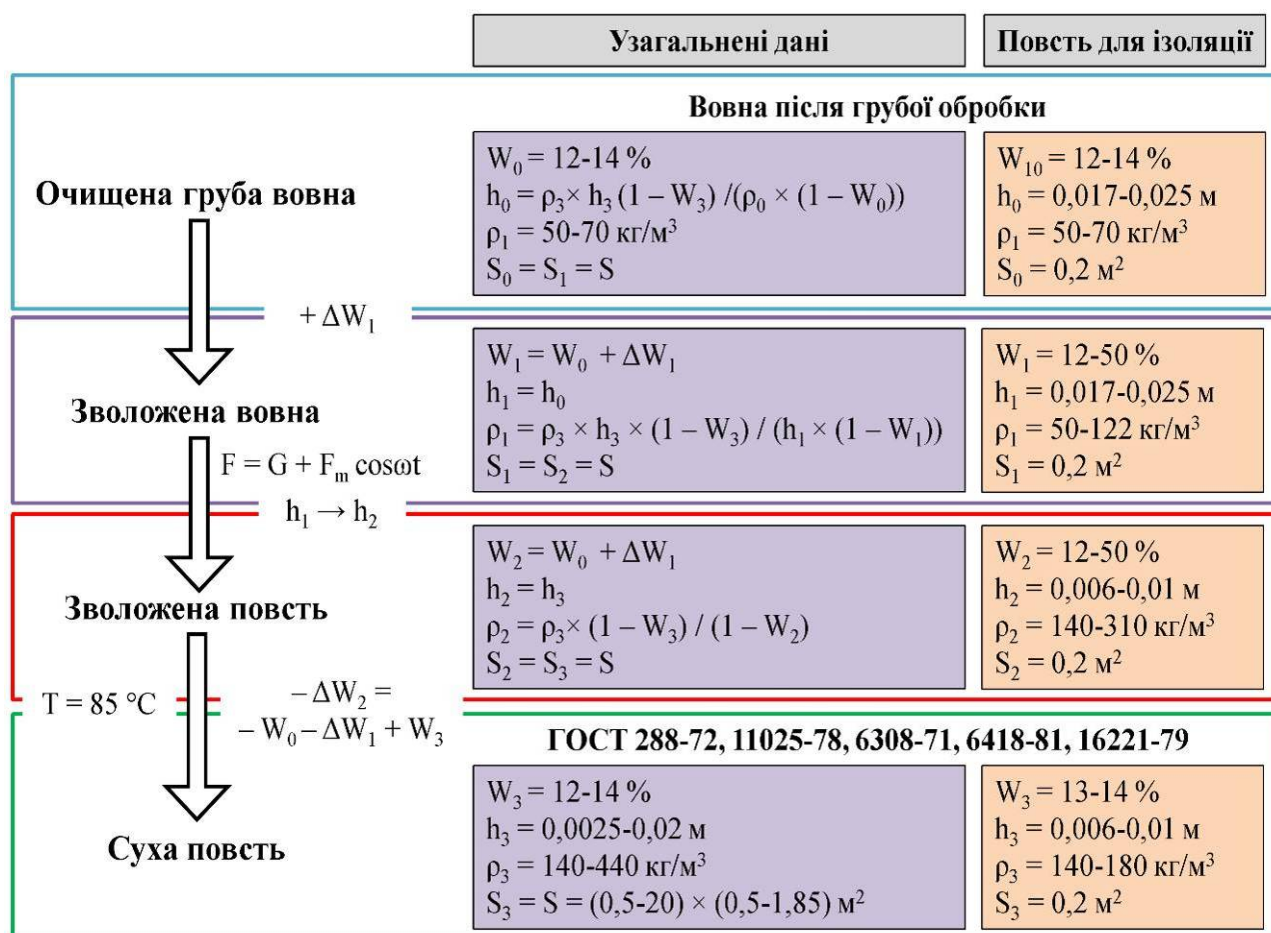


Рисунок 2.9 – Технологічна схема процесу валяння грубої овечої вовни

1.4 Мета і завдання досліджень

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу валяння овечої вовни шляхом створення та використання конструкції валяльної машини з

оптимальними конструкційно-технологічними параметрами, здатними забезпечити необхідні фізико-механічні властивості повсті.

Основні задачі досліджень полягають в наступному:

1. Проаналізувати існуючі технології і конструкції валяльних машин для первинного оброблення й перероблення овечої вовни в повстяні вироби та обґрунтувати конструкційно-технологічну схему технічного засобу для її ефективного віброущільнення.

2. Експериментально дослідити фізико-механічні властивості зволоженої овечої вовни під час ущільнення та встановити її реологічну модель.

3. Розробити та дослідити математичну модель процесу віброущільнення зволоженої овечої вовни у повстяний пласт.

4. Експериментально дослідити вплив конструкційно-технологічних параметрів та режимів роботи малогабаритної плитно-валяльної машини та фізико-механічних властивостей овечої вовни на технологічні показники робочого процесу формування повстяного пласта.

6. Визначити техніко-економічну ефективність запропонованої малогабаритної плитно-валяльної машини на основі практичного впровадження результатів досліджень.

1.5 Висновки з розділу

1. На основі аналізу ситуації в галузі вівчарство встановлено, що у теперішній час відсутня можливість організації оброблення та перероблення значних обсягів незатребуваної овечої вовни, що на сьогодні є в Україні, безпосередньо на місцях виробництва сировини, а саме в умовах сільськогосподарських формувань. Однією з причин тому є відсутність в Україні ефективних ресурсощадних технологій та малогабаритних технічних засобів здатних забезпечити перероблення незатребуваної вовни в конкурентоспроможну товарну продукцію.

2. За результатами аналізу технологій первинної обробки вовни

обґрунтовано конструктивно-технологічну схему та склад пересувного техніко-технологічного модуля для перероблення грубої овечої вовни в утеплювач. Встановлено, що основою такого модуля повинні бути малогабаритні тріпальна та плитно-валяльна машини.

3. На основі останніх наукових досліджень та публікацій щодо валяння грубої вовни в повстяні вироби, ми приходимо до висновку, що на сьогодні день існують невирішені питання, пов'язані із належним ущільненням грубої вовни під час процесу валяння на лініях її первинної обробки, особливо при використанні невеликих стискальних зусиль. У наявних конструкціях валяльних машин ущільнення грубої вовни не досягається, що серйозно впливає на якість і подальше використання цієї вовни. Важливо відзначити, що на сьогоднішній день немає малогабаритних технічних засобів, які б могли забезпечити високу ефективність процесу валяння (і ущільнення) зволоженого шару грубої вовни за допомогою інтенсивного вдарно-механічного впливу на неї під час валяння. Із наявних конструкцій валяльних машин, які здатні забезпечити високу ефективність процесу валяння грубої вовни, можна виділити тільки плитні валяльні машини, де вдало використовується комплексна вдарно-механічна дія робочого органу на шар зволоженої та підігрітої вовни в м'якому режимі валяння.

4. За результатами аналізу відомих конструкцій валяльних машин розроблено та обґрунтовано конструктивно-технологічну схему малогабаритної плитно-валяльної машини періодичної дії, яка дозволяє реалізувати процес виробництва повстяного пласта з грубої вовни. Її робочим органом є двухплитний модуль, верхня рухома плита якого має рифлі й здійснює інтенсивний зворотно-поступальний рух.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИНИ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВОВНИ В УТЕПЛЮВАЧ

2.1 Обґрунтування раціонального складу утеплювача із повсті на основі теоретичних досліджень його теплофізичних властивостей

У останні роки при будівництві тваринницьких приміщень поширено використання трьохшарових сендвіч-панелей. Ця популярність пояснюється їх легкістю, стійкістю, міцністю та високими показниками шумо- та теплоізоляції.

Проте в галузі вівчарства в Україні є проблема надлишкового залишку грубої, малоцінної та проблемної овечої вовни, яка на сьогоднішній день продається за низькою ціною і приймається фабриками первинної обробки великими партіями [39]. Проте наявна механізована технологія обробки і переробки цієї вовни може перетворити її у конкурентоспроможний екологічно безпечний будівельний матеріал – будівельну повсть. Цей матеріал може бути використаний як утеплювач для сендвіч-панелей [40].

Сендвіч-панелі – це великі конструкції, в яких теплоізолюючий шар розташований між жорсткими покриттями. Хоча сендвіч-панелі мають свої переваги, у них також є недоліки, пов'язані з матеріалами, що використовуються в їх конструкціях.

Аналіз показує, що теплоізоляційні матеріали мають схожі теплофізичні властивості. Однак, при врахуванні екологічних факторів, будівельна повсть видається найбільш безпечним теплоізоляційним матеріалом.

Оцінка параметрів жорсткого покриття сендвіч-панелей засвідчила, що орієнтовано-стружкова плита має кращі ізоляційні властивості, ніж оцинкована або профільована сталь, хоча й має нижчу паропроникність.

Мета цього дослідження полягає в тому, щоб шляхом теоретичних досліджень теплофізичних властивостей будівельної повсті встановити

оптимальний склад сендвіч-панелі для використання її в тваринницьких приміщеннях.

Розрахунок теплофізичних властивостей сендвіч-панелі, зокрема опору теплопередачі і паропроникності, здійснюється за допомогою наступних формул [41]:

– для окремого шару:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (2.1)$$

де δ_i – товщина шару, м; λ_i – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С);

– для конструкції, що складається з декількох шарів:

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}; \quad (2.2)$$

– загальний опір теплопередачі конструкції з урахуванням теплопереходів у внутрішньої ($R_{in} = 1/\alpha_{in}$) і зовнішньої ($R_{out} = 1/\alpha_{out}$) поверхонь:

$$R = \frac{1}{\alpha_{in}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{out}}; \quad (2.3)$$

де α_{in} , α_{out} – коефіцієнти тепловіддачі, Вт/(м²·°С).

Для досягнення вихідних вимог щодо теплозахисту, загальний опір теплопередачі конструкції (позначений як R) повинен перевищувати необхідний опір теплопередачі (позначений як R_{norm}). Величина R_{norm} визначається кліматичними умовами місця будівництва і залежить від призначення будівлі (наприклад, житлова, громадська або виробнича) і виду огорожувальних конструкцій (таких як стіни, покриття, перекриття, вікна тощо) [42].

Досягнення цієї нерівності можливе шляхом зміни товщини теплоізоляційних шарів у конструкції сендвіч-панелі (позначеної як δ_i) або застосування матеріалів з різними коефіцієнтами теплопровідності (позначеними як λ_i).

Крім того, нормативні документи, такі як ДБН В.2.6-31:2006 та СП 23-02-2003, встановлюють вимоги до контролю накопичення пароподібної (конденсованої) вологості. Ці вимоги включають наступне:

1. Вимогу, щоб конденсована волога, яка накопичується в сендвіч-панелі протягом зимового періоду, випаровувалася протягом літнього періоду, забезпечуючи відсутність накопиченої вологості впродовж року.

2. Встановлення верхньої межі допустимого накопичення вологості (позначеної як ΔW) в огорожувальних конструкціях згідно з нормами.

Забезпечення ненакопичення пароподібної вологості в сендвіч-панелі є важливою умовою при проектуванні теплозахисту. Цю умову можна виконати, враховуючи опір паропроникності шару в конструкції.

$$R_{pi} = \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (2.4)$$

де μ_i – коефіцієнт паропроникності, мг/(м·год·°С).

Значення R_{pi} для окремого шару можна регулювати шляхом зміни товщини шару δ_i або вибору матеріалу із іншим коефіцієнтом паропроникності μ_i . Якщо неможливо усунути паропроникність за допомогою цих параметрів, то доцільно розглядати конструкцію із вентиляваним повітряним прошарком.

Для розрахунку теплофізичних властивостей сендвіч-панелі із будівельної повсті ми використовуватимемо програмний пакет Smartcalc.

За тип приміщення прийнято тваринницьке, яке характеризується параметрами представленими в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Теплофізичні параметри тваринницького приміщення

Параметр	Значення
Вологість в приміщенні ϕ , %	65
Коефіцієнт залежності положення зовнішньої поверхні n	1
Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні α_{in} , Вт/(м ² ·°С)	8,7
Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні α_{out} , Вт/(м ² ·°С)	23
Нормований температурний перепад $\Delta t(n)$, °С	4

Результати розрахунків теплофізичних характеристик різних конструкцій сендвіч-панелей із будівельною повстю представлено у вигляді графіків, де показано розподіл температури і точки роси по їх ширині (рисунки 2.1).

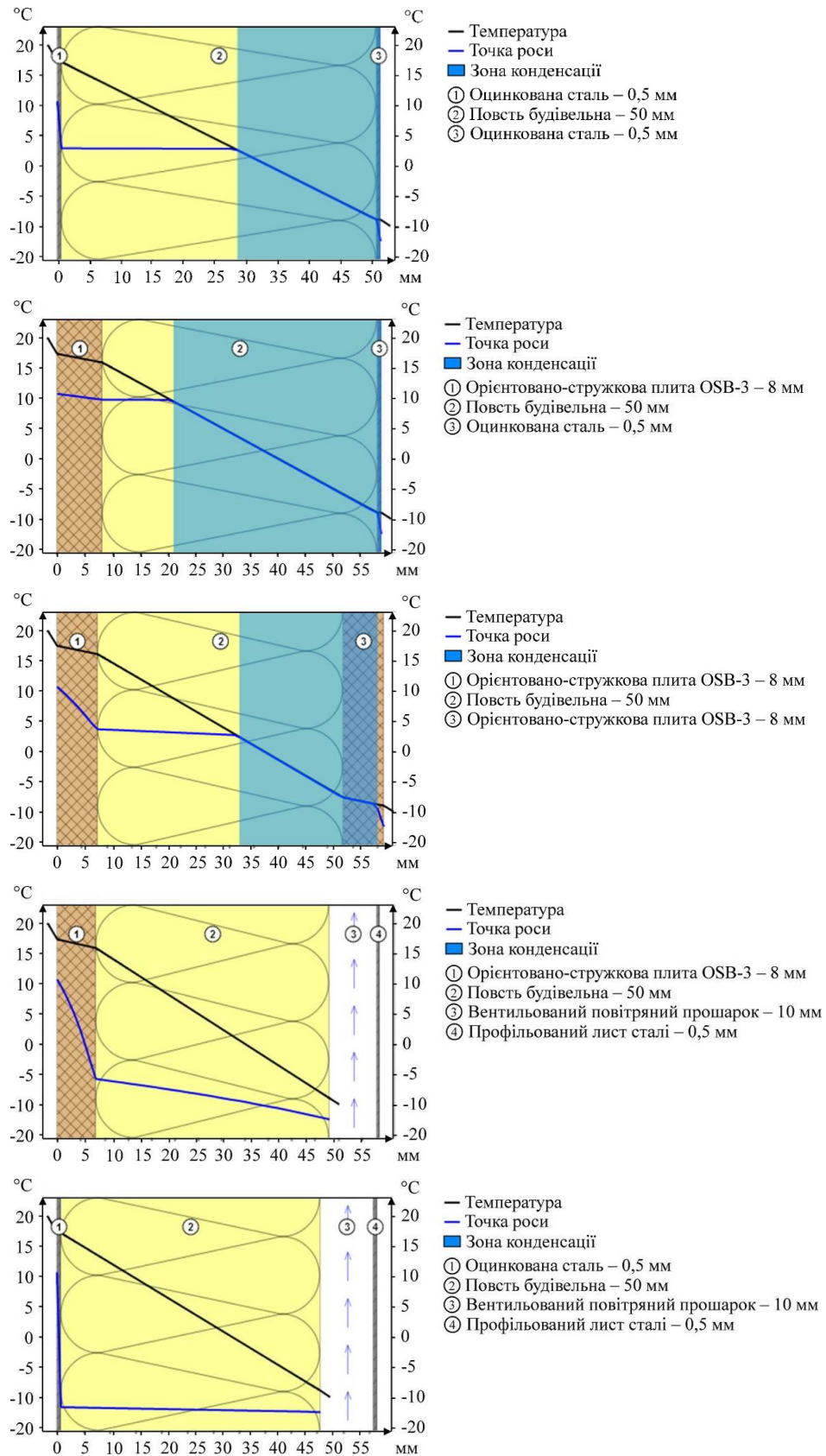


Рисунок 2.1 – Розподіл температури і точки роси сендвіч-панелі

З погляду теплопередачі і паропроникності найефективнішими виявилися сендвіч-панелі OSB (8 мм) - повсть (20 мм) - проміжний шар (10 мм) - сталь (0,5 мм).

Розглянемо залежність питомих теплових витрат Q крізь обрану сендвіч-панель від її загального опору теплопередачі R (рисунок 2.2). Значення $R = 1,18 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ відповідає санітарно-гігієнічним вимогам для Запорізької області й тваринницького приміщення. Для зменшення загального опору теплопередачі R необхідно збільшити товщину будівельної повсті δ або змінити її коефіцієнт теплопровідності λ , який досягається зміною її щільності ρ .

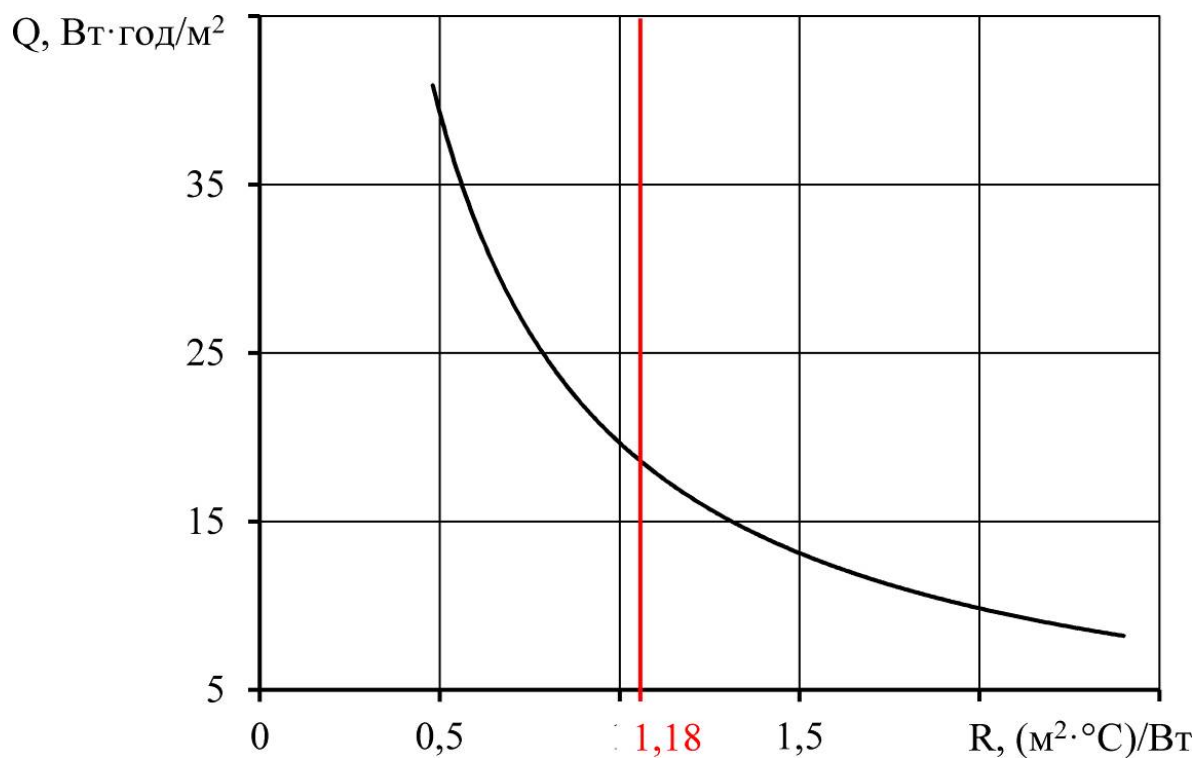


Рисунок 2.2 – Залежність питомих теплових витрат Q крізь сендвіч-панель типу «OSB (8 мм) – повсть (20 мм) – прошарок (10 мм) – сталь (0,5 мм)» від її загального опору теплопередачі R

На основі аналізу теплових властивостей сендвіч-панелей з будівельною повстю було визначено оптимальний склад з опором теплопередачі $R = 1,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ і питомими тепловтратами $Q = 14,78 \text{ Вт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$.

2.2 Обґрунтування геометричних параметрів робочої поверхні плитно-валяльної машини

Під час аналізу результатів попередніх експериментів щодо процесу ущільнення мокрої вовни було помічено, що деформація вовни під дією робочої поверхні рифленої верхньої рухомої плити відбувається нерівномірно за її товщиною. Ці спостереження дали змогу висунути гіпотезу про взаємодію мокрої грубої вовни з робочою поверхнею верхньої рухомої плити дрібносортового прокатного стану. Згідно з цією гіпотезою, використання рифлених поверхонь порівняно з плоскими призводить до збільшення площі, на яку впливають напруження, що виникають у шарі грубої вовни під час навантаження.

Для перевірки висунутої гіпотези щодо доцільності використання рифлів на робочій поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини розглянемо напружено-деформаційний стан зволоженої грубої вовни, яка навантажена по всій області на її поверхні. В прийнятій системі координат гранична поверхня співпадає з площиною XU , а вісь OZ направлена по товщині вовни. Навантаження направлено паралельно вісі OY і має ширину $2a$ вздовж вісі OX ; по цій вісі діють нормальні і дотичні зусилля, які залежать тільки від координати x . Приймаємо, що в грубій вовні в результаті прямолінійного навантаження реалізується стан плоскої деформації, тобто $\varepsilon_y = 0$.

На рисунку 2.3 представлено переріз зволоженої грубої вовни. Поверхневі зусилля $p(x)$ і $q(x)$ діють на границю на ділянці від $x = -a$ до $x = a$. Визначимо компоненти напружень, які спричинені зусиллями $p(x)$ і $q(x)$ у будь якій точці.

Рівняння рівноваги напруженості для плоскої задачі має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} &= 0. \end{aligned} \quad (2.5)$$

де σ_x, σ_z – нормальні напруженості, що діють на елемент грубої вовни вздовж OX і OZ ; τ_{xz} – дотичне напруження, що діє на елемент грубої вовни.

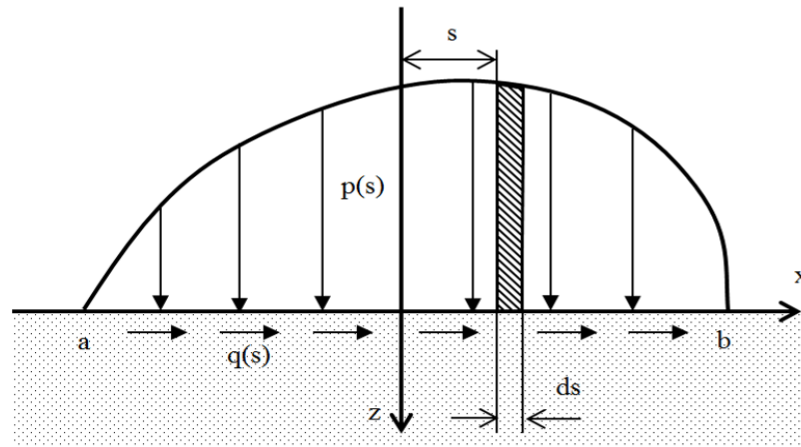


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема деформації зволоженої грубої вовни

Відповідні деформації ε_x , ε_y і γ_{xz} повинні задовольняти рівнянню сумісності:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xz}}{\partial x \partial z}, \quad (2.6)$$

де ε_x , ε_z – лінійна деформація елемента грубої вовни вздовж OX і OZ; γ_{xz} – кутова деформація елемента грубої вовни.

В умовах плоскої деформації маємо:

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= 0, \\ \sigma_y &= \nu(\sigma_x + \sigma_z), \end{aligned} \quad (2.7)$$

тоді рівняння для пружно-в'язко-пластичного тіла, що пов'язує напруженість і деформацію має вигляд

$$\begin{aligned} \eta \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial t} + E \varepsilon_x &= \xi [(1 - \nu^2) \sigma_x - \nu(1 + \nu) \sigma_z], \\ \eta \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial t} + E \varepsilon_z &= \xi [(1 - \nu^2) \sigma_z - \nu(1 + \nu) \sigma_x], \\ \eta \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial t} + E \gamma_{xz} &= \xi [2(1 + \nu) \tau_{xz}], \end{aligned} \quad (2.8)$$

де η – коефіцієнт в'язкості; E – модуль пружності; ν – коефіцієнт Пуассона; ξ – коефіцієнт пластичності.

В подальшому розрахунку розглянемо стаціонарну задачу (миттєвий момент часу найбільшої деформації), тобто $\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial t} = 0$:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_x &= \frac{\xi}{E} [(1 - \nu^2) \sigma_x - \nu(1 + \nu) \sigma_z], \\
\varepsilon_z &= \frac{\xi}{E} [(1 - \nu^2) \sigma_z - \nu(1 + \nu) \sigma_x], \\
\gamma_{xz} &= \frac{\xi}{E} [2(1 + \nu) \tau_{xz}].
\end{aligned} \tag{2.9}$$

Зусилля, що діє на елемент поверхні шириною ds в точці, яка розташована на відстані s від початку координат, можна інтерпретувати, як зосереджені сили [43] величини pds , що діє по нормалі до поверхні, і величини qds по дотичній:

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= -\frac{2z}{\pi\xi} \int_{-a}^a \frac{p(s)(x-s)^2 ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2} - \frac{2}{\pi\xi} \int_{-a}^a \frac{q(s)(x-s)^3 ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2}, \\
\sigma_y &= -\frac{2z^3}{\pi\xi} \int_{-a}^a \frac{p(s)ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2} - \frac{2z^2}{\pi\xi} \int_{-a}^a \frac{q(s)(x-s)ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2}, \\
\tau_{xz} &= -\frac{2z^2}{\pi\xi} \int_{-a}^a \frac{p(s)(x-s)ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2} - \frac{2z}{\pi\xi} \int_{-a}^a \frac{q(s)(x-s)^2 ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2}.
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Розглянемо напружено-деформаційний стан зволоженої грубої вовни під дією навантаження $p(x) = \text{const}$, $q(x) = 0$, яке спричинено плоскою робочою поверхнею верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини (рисунок 2.4). При цьому відносна деформації вздовж вісі OZ становитиме:

$$\varepsilon_z(x) = \varepsilon_0 = \text{const}. \tag{2.11}$$

Вирішуючи систему диференціальних рівнянь (2.10)-(2.11) чисельними методами в програмному пакеті Maple і враховуючи, що $p(x) = p_0 = \text{const}$ і $q(x) = 0$, отримуємо графіки розподілу нормальних напруженостей σ_z і σ_x в кожній точці шару зволоженої грубої вовни (рисунок 2.5).

Розглянемо напружено-деформаційний стан зволоженої грубої вовни під дією навантаження $p(x)$, $q(x) = 0$, яке спричинено робочою поверхнею плитно-валяльної машини із рифлями (рисунок 2.6). Для спрощення розрахунків приймаємо профіль робочої поверхні у вигляді функції $z = \frac{\lambda}{2} \cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right)$. При цьому

відносна деформації вздовж вісі OZ становитиме:

$$\varepsilon_z(x) = \varepsilon_0 + \frac{\lambda}{2H} \cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right). \quad (2.12)$$

де λ – геометричний параметр рифлів; H – товщина шару вовни.

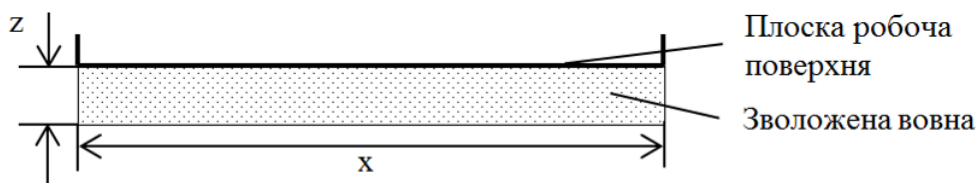


Рисунок 2.4 – Плоска робоча поверхня верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини

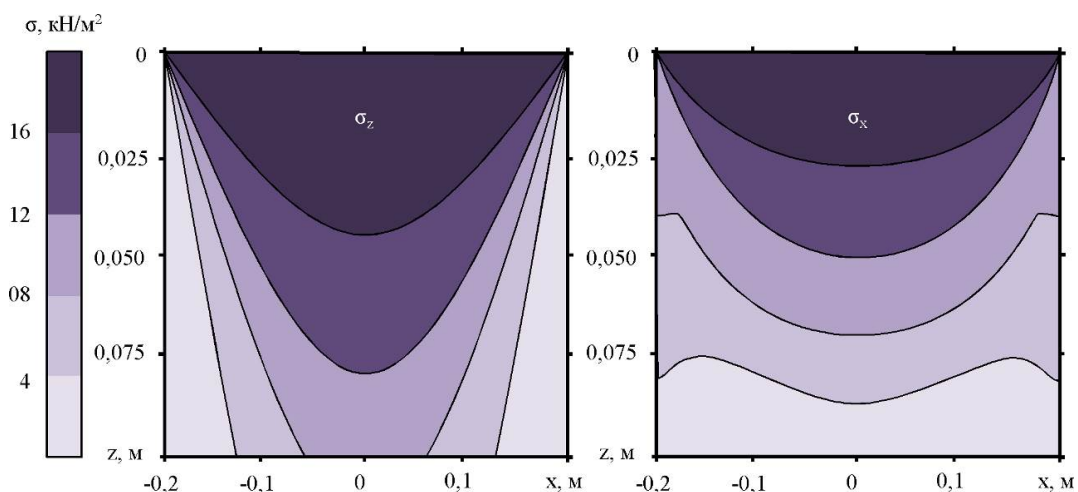


Рисунок 2.5 – Графіки розподілу нормальних напруженостей σ_z і σ_x в кожній точці шару зволоженої грубої вовни під дією плоскої робочої поверхні

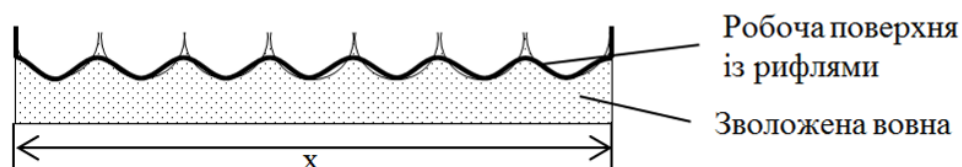


Рисунок 2.6 – Робоча поверхня верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини із рифлями

Згідно досліджень синусоїдальна форма поверхні преса призводить до синусоїдальним змінам напруженості по всій площі дії в матеріалі, що пресується. Тому вирішуючи систему диференціальних рівнянь (2.9), (2.10) і (2.12) чисельними

методами в програмному пакеті Maple і враховуючи, що $p(x) = p_0 \cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right)$ і $q(x) = 0$, отримуємо графіки розподілу нормальної напруженості σ_z в кожній точці шару зволоженої вовни при різних геометричних параметрів рифлів λ (рисунок 2.6).

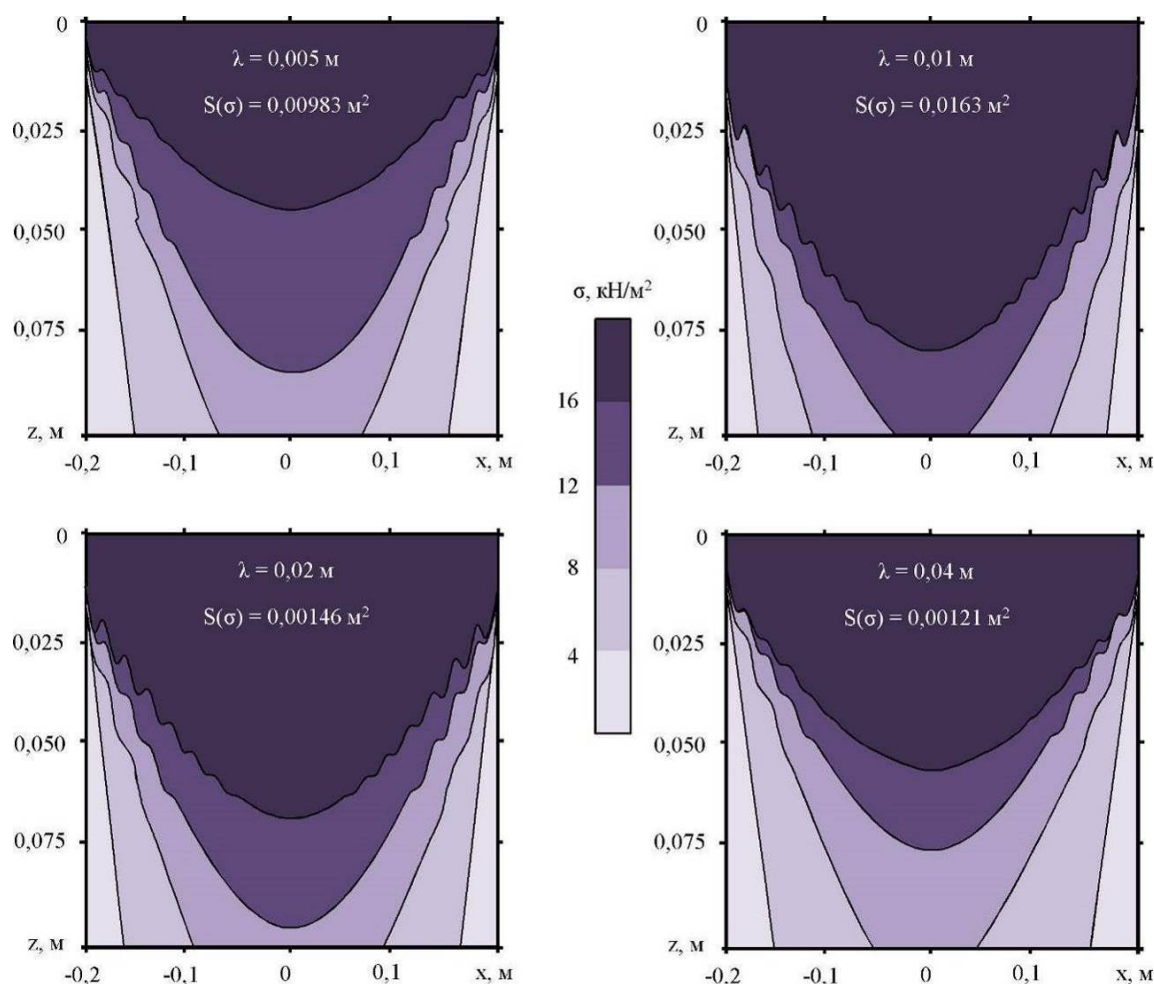


Рисунок 2.7 – Графіки розподілу нормальної напруженості σ_z в кожній точці шару зволоженої грубої вовни під дією робочої поверхні верхньої рухомої плити із рифлями з різним геометричним параметром λ

Графік залежності площі дії напруженості від геометричного параметра рифлів (рисунок 2.8) підтверджує поставлену гіпотезу про взаємодію робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини із зволоженою вовною [44].

З рисунку 2.8 видно, що максимальна площа дії напруженості спостерігається при геометричному параметрі рифлів $\lambda = 0,011 \text{ м}$. Відповідно до

цього геометрія рифлів робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини повинна бути представлена у вигляді функції $y = 0,0056 \cdot \cos(285,5 \cdot x)$ (м).

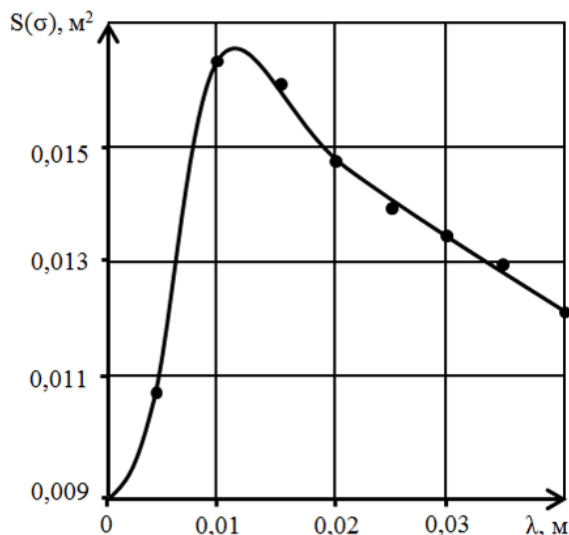


Рисунок 2.8 – Графік залежності площі дії напруженості $S(\sigma)$ від геометричного параметра рифлів λ

2.3 Висновки з розділу

1. На підставі теоретичних аналізів теплофізичних властивостей сендвіч-панелі із будівельної повсті був встановлений оптимальний склад конструкції, який включає наступні характеристики: опір теплопередачі $R = 1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, та питомі теплові втрати $Q = 14,77 \text{ Вт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$.

2. Розглянуто геометричні параметри хвилястості робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної пластинчастої валяльної машини з метою підвищення продуктивності процесу валяння грубої вовни в шари повсті. Для досягнення максимальної площі під навантаженням геометрія хвилястості робочої поверхні верхньої рухомої плити валяльної машини була знайдена у вигляді такої функції $y = 0,0056 \cdot \cos(285,5 \cdot x)$ (м).

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика проведення досліджень реологічних властивостей грубої овечої вовни

Матеріалом, що використовується для дослідження деформаційних властивостей зволоженої грубої вовни в умовах лабораторії, є рунна та розпушена груба овеча вовна романівської породи овець. Дослідження деформаційних характеристик вологої грубої шерсті при стисненні проводиться в три етапи.

На першому етапі готується зразок вовни, який включає зважування сирової або грубої вовни після тріпання (вага $G_i = 100$ г) і зволоження до певної вологості (W_i). Цей етап виконується 3 рази для кожного зразка.

Другий етап передбачає вивчення динаміки зміни відносної деформації вихідного і вологого шару грубої вати при одноразово заданій статичному навантаженні в замкнутому обсязі скляного циліндра без можливості бічного розширення.

На третьому етапі визначається залежність від часу (релаксації) після зняття навантаження пружного розширення спресованої грубої вовни.

У процесі вивчення деформаційних характеристик зволоженої грубої шерсті передбачається, що вона змінює фактори, визначені на основі аналізу попередніх досліджень автора (Таблиця 3.1). [45, 46, 47].

Таблиця 3.1 – Рівні факторів досліджень

Рівні факторів	Вологість вовни	Тиск стискання (маса вантажу)
	W, %	P, кПа (m, кг)
+1	68,7	4,825 (3,25)
0	51,0	3,248 (6,58)
-1	15,2	1,722 (10,02)

Визначення властивостей зволоженої грубої вовни під час стиснення виконується відповідно до схеми, яка подана в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – План досліджень реологічних властивостей грубої вовни

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P, кПа	1,71	3,24	4,82	1,71	3,24	4,82	1,71	3,24	4,82
W, %	15,2	15,2	15,2	51,0	51,0	51,0	68,7	68,7	68,7

Під час проведення досліджень, ми плануємо визначити, як змінюється відносна деформація зволоженої грубої вовни під час її стискання.

а) розчин ($t=34-41\text{ }^{\circ}\text{C}$)б) зважування вовни ($m=200\text{г}$)в) зволоження вовни (до W_i)

д) завантаження вовни в циліндр

е) встановлення вантажу (G_i)

ж) зняття вантажу

Рисунок 3.1 – Методика дослідження реологічних властивостей грубої вовни

Ми використовуємо однофакторний експеримент для визначення модуля пружності зволоженої грубої вовни, і план цих досліджень наведено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – План досліджень реологічних властивостей грубої вовни

№	1	2	3	4	5	6	7
Тиск, кПа (маса, г)	0 (0)	0,021 (45)	0,051 (145)	0,091 (245)	0,161 (345)	0,201 (445)	0,251 (545)
№	8	9	10	11	12	13	14
Тиск, кПа (маса, г)	0,301 (645)	0,341 (745)	0,391 (845)	0,431 (945)	0,531 (1145)	0,621 (1345)	0,711 (1535)

3.2 Методика експериментальних досліджень технологічного процесу перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач

Об'єкт дослідження – технологічний процес перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач.

Предмет дослідження – взаємозв'язок конструктивних і технологічних параметрів для технологічних процесів перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач під дією робочих органів устаткування.

Мета досліджень – визначити, оптимальні умови технологічного процесу перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач, дії та конструкцію робочих органів, основні впливові фактори роботи для формування якісного повстяного утеплювача, параметри повстяних зразків утеплювача.

Програма і методика досліджень технологічних процесів перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач складена на основі науково-дослідних робіт і розроблення відповідних технічних завдань виконуються відповідно до ДСТУ3973-2000, СОУ НАН 73.1-001:2011.

Методики та експериментальні дослідження технологічних процесів перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач відповідно до ОСТ10.32.4, ОСТ70.1.1.

Порядок представлення і проведення досліджень згідно з РД10.32.4 і даної методики досліджень.

Підготовка вовни до валяння. Кількість вовни для досліджень повинна бути достатньою для оцінки якості роботи експериментальних зразків технічних засобів

та визначення показників якості зразків вовняного утеплювача – товщиною до 50 мм.

Дослідження проводять для – грубої вовни 100 %.

Вовна повинна бути підготовлена до валяння наступним чином (для отримання однорідних по властивостям зразків):

- тріпання для видалення бруду;
- промивання в миючому розчині при температурі $+50^{\circ}\text{C}$;
- видалення вологи віджимом на вальцях;
- сушіння вовни при $+75^{\circ}\text{C}$ до вологості не більше 13%;
- тріпання для розпушування;
- прочісування на чесальній машині;
- намотування ватки на вихідний барабан в кількості необхідній для одного шару закладки основи;
- формування основи з шарів ватки вовни необхідних розмірів.

Валяння повсті. Сформовану основу заправити в валяльний механізм (рис. 3.2) і провести валяння з перевертанням зразка по необхідності при варіюванні значень наступних факторів:

- частоти робочих ходів (вібрації), або швидкість обертів електродвигуна регулюють перетворювачем частоти FC51 серії VLT Micro в 3 рівнях – мінімальна, середня та номінальна (частота струму 20; 35; 50 Гц) при умові стійкої роботи на заданій мінімальній частоті;
- навантаження на зразок (тиск) в 3 рівнях, які будуть визначені після експертизи;
- амплітуди робочих ходів або вібрації регулюванням механізму настройки при можливості в 3 рівнях – мінімальна, середня та номінальна.
- температури валяння при можливості в 3 рівнях – мінімальна $+50^{\circ}\text{C}$, середня $+75^{\circ}\text{C}$ та номінальна $+100^{\circ}\text{C}$.

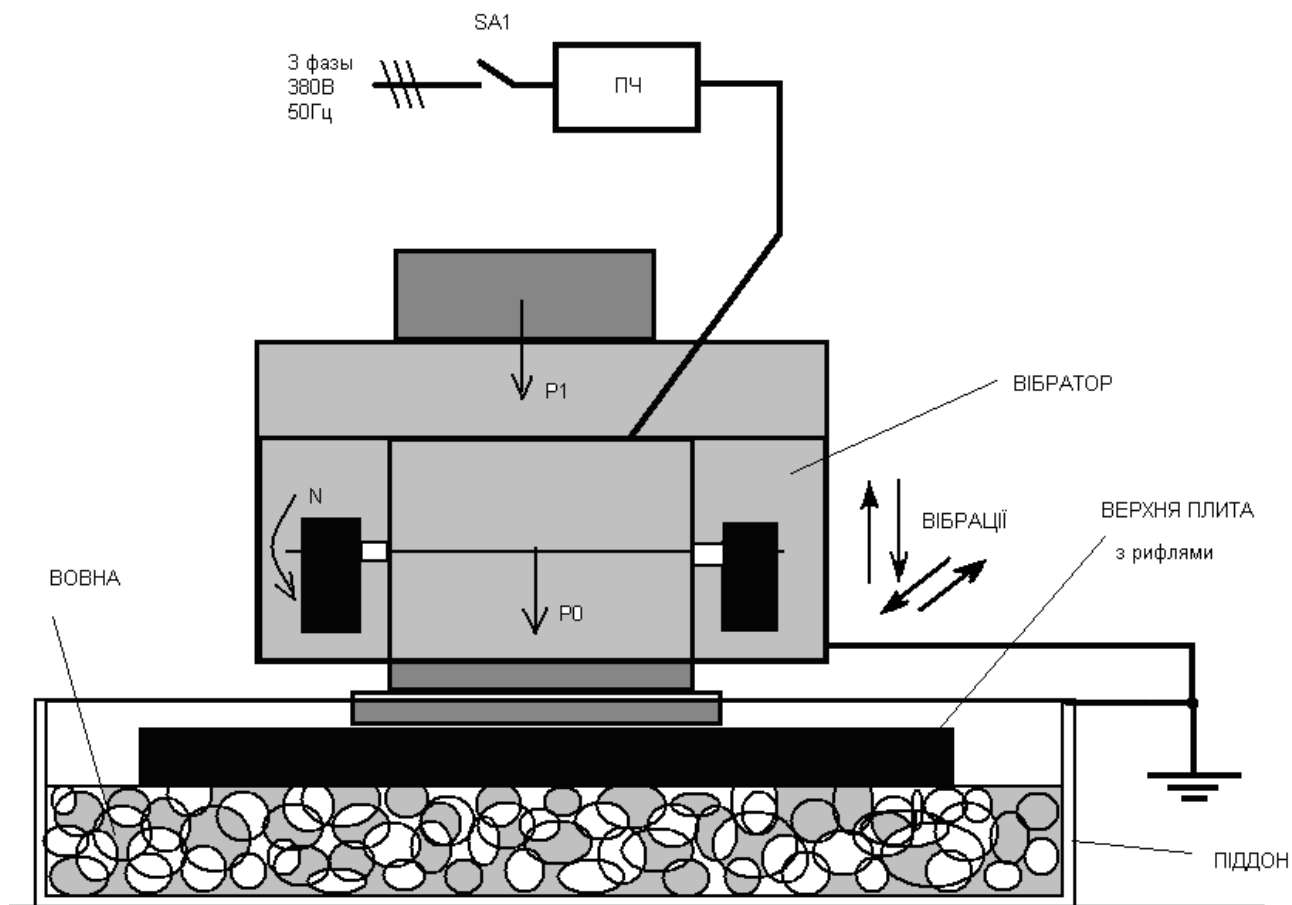
Фіксують параметри:

- Т, час обробки (до отримання належної щільності повсті не менше $0,4 \text{ г/см}^3$), машина повинна мати лічильник часу роботи, оскільки часті зупинки для

перевороту зразка не дозволяють визначити час основної роботи за звичайним годинником.;

– температуру змочувального мильного розчину 2 % мила, 5 % кальцинованої соди;

– вологість, температуру і час сушки (до вологості 13 %).



ПЧ- перетворювач частоти FC 51 серії VLT Micro (потужність W , напруга U , струм I , частота f); p_0 – вага вібратора; $p_{\text{доп}}$ – додаткові грузи; S_1 – вимикач

Рисунок 3.2 – Схема досліджень валяння вовни

Для отримання залежності щільності від часу обробки через певний час брати зразки повсті (не менше п'яти точок на графіку), інтервали часу $t=T/5$, або визначати товщину шару вовни.

Для отриманих зразків повсті та зразка фабричної повсті визначаються наступні показники, які вносять в Додаток 3 і порівнюють:

– розміри виробів (зразків, довжина, ширина, товщина);

– щільність

$$\rho = m/v, \quad (3.1)$$

де m – маса зразка, г; v – об'єм, см^3 ;

– міцність на розрив

$$K = F/S, \quad (3.2)$$

де F – міцність розриву, Н або кгс; S – перетин зразка, см^2 ;

– подовшення – розтягування при розриві

$$\Pi = l/l_0 \times 100 \%, \quad (3.3)$$

де l_0 – початкова довжина, см; l – довжина при розриві, см;

– коефіцієнт пружності – відношення пружного подовшення до загального при навантаженні 50 % від розривного;

– вид сировини;

– чистота виробу (зразків) або вміст інерідних домішок;

– рівномірність виробу (по зовнішньому вигляду);

– рівномірність товщини виробу;

– теплоізоляційні якості шляхом порівняння залежності температури однакових ємностей, обгорнутих повстяним утеплювачем від часу порівняно з 1-2 контрольними зразками з пінополістиролом, мінватою або іншим утеплювачем з відомим коефіцієнтом тепло.

3.3 Планування експерименту

Обробка результатів методом множинної регресії та визначення залежностей і впливових факторів по рівню p значимості – в програмі Statistica та Microsoft Excel.

Вихідною функцією моделі процесу є щільність повсті, всі інші фактори – незалежні змінні. Для послідовної обробки при варіюванні ходів побудувати залежність щільності від часу обробки (числа ходів механізму) при різних тисках на зразок та амплітудах руху.

Математичне експериментальне проектування в кілька разів скорочує обсяг досліджень і кількість експериментів. Воно дає змогу кількісно оцінити вплив

чинників, дає можливість отримати необхідну математичну модель процесу, визначити оптимальні умови його перебігу тощо.

Для опису оптимальної області найчастіше використовують квадратичне програмування, а математична модель може бути отримана у вигляді квадратичного полінома.

$$y = b_0 + b_i x_i + b_j x_i x_j + b_{ii} x_i^2, \quad (3.4)$$

де b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} – коефіцієнти регресії.

Модель вважається адекватною, якщо вона представляє експериментальні дані з помилками, що не перевищують помилки експерименту. Для перевірки моделі її адекватність визначається за допомогою дисперсії реплікації експерименту і використовується стандартний метод критерію Фішера.

Найекономічнішим є варіювання фактора на трьох рівнях, а факторне кодування здійснюється відповідно до такого рівняння

$$x_i = \frac{X_i - X_{oi}}{\varepsilon}, \quad (3.5)$$

де x_i - кодоване значення (безрозмірна величина) фактора, позначене +1, 0 і -1 для верхнього, експериментального центру і нижнього рівнів відповідно; X_i - натуральне значення фактора; X_{oi} - натуральне значення фактора на нульовому рівні; ε - натуральне значення інтервалу варіації фактора.

Дані, отримані в результаті кількох одночасних вимірювань, розподіляються за центральною граничною теоремою і за канонічним правилом. Вони замінюються середнім арифметичним, тобто найімовірнішим значенням вимірювань.

У даній роботі використовується триразове повторення експериментів, що гарантує помилку менше трьох стандартних значень з імовірністю 95%.

Якщо величину вимірюють більше одного разу, перевіряють гіпотезу про сумарну похибку і випадковість вибірки, оскільки отримані результати можуть викликати сумніви щодо їхньої достовірності. Гіпотезу про виключення значущих помилок перевіряють за допомогою тесту Стьюдента і методу різниці [23].

$$t = \frac{Y_{\max, \min} - Y_{k-1}}{S}, \quad (3.6)$$

де $Y_{\max, \min}$ – відповідно мінімальне та максимальне значення результатів вимірювань; \bar{Y}_{k-1} – середньоарифметичне значення результатів вимірювань розраховане для послідуочих результатів (за виключенням сумнівного) $\bar{Y}_{k-1} = K_1/(k-1)$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^k Y_i}{k-1}, \quad (3.7)$$

де k – повторюваність експерименту; Y_i – значення i -го вимірювання; S – стандарт, розрахований для послідуочих результатів вимірювань (за значенням сумнівного) та дорівнює:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})^2}{k-2}}, \quad (3.8)$$

При $t > t_2$, $k-1$ (у нашому випадку $t = 4.969$) значення, яке розглядається є грубою помилкою з прийнятою вірогідністю.

Гіпотеза про випадкову помилку використовує метод різностей тобто критерій τ

$$\tau = \frac{c^2}{s_k^2}, \quad (3.9)$$

де $c^2 = \frac{1}{2(k-1)} \sum_{i=1}^k (Y_{i+1} - Y_i)^2$, s_k^2 – скорегована дисперсія кожної серії

вимірювань, $s_k^2 = \frac{1}{k-1}$, \bar{Y}_k – середньоарифметичне значення вимірювань.

При умові, що $\tau < \tau_{kp} = \tau_\alpha$, $k-1$ гіпотеза про випадковість вибірки відторгається, тобто вибірка не випадкова з вірогідністю α .

Як критерій такої оцінки приймається критерій ступеня надійності

$$\varepsilon' = |x_c - \bar{X}| / [\sigma_x \sqrt{(n+1)/n}], \quad (3.10)$$

де ε' – ступінь надійності отриманого результату при вимірі; x_c – сумнівний результат; \bar{X} – математичне очікування; σ_x – середнє квадратичне відхилення; n – кількість точок експериментальних даних.

Розрахований критерій ε' порівнюється з табличним ε_T для прийнятого рівня імовірності P . Якщо $\varepsilon' > \varepsilon_T$, то сумнівна точка виключається з масиву і їх кількість зменшується на одиницю. При $\varepsilon' < \varepsilon_T$, аналізована точка зберігається.

Відтворюваність дослідів перевіряється за критерієм Кохрена з виконанням 2-4 серій рівнобіжних дослідів у розглянутій схемі зміни факторів при 3-х повторах на кожному рівні.

Однак якщо гіпотеза про випадковість вибірки відкидається, тобто вибірка не є випадковою, то з імовірністю 95% можна гарантувати, що стандартна помилка буде меншою за 3.

Розрахункові і експериментальні дані, одержані в процесі досліджень обробляються методом математичної статистики, а окремо - графоаналітичним методом.

Користуючись методом варіаційної статистики визначаються:

– середнє арифметичне значення вимірювальної величини

$$X_{cp} = (\sum x_i) / n, \quad (3.11)$$

– середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \{[\sum (x_i - x_p)^2] / (n - 1)\}^{-0.5}; \quad (3.12)$$

– коефіцієнт варіації

$$V_x = (\sigma / x_{cp}) \cdot 100 \% ; \quad (3.13)$$

– помилка середнього арифметичного

$$\pm \Delta = \sigma_i / n; \quad (3.14)$$

– точність дослідів

$$p = (m / x_{cp}) \cdot 100 \% ; \quad (3.15)$$

де n – кількість дослідів; x_i – поточне значення досліджуваного параметра.

Результати дослідів обробляються загальноприйнятими методами статистичної обробки експериментальних даних і крім табличної форми представлення оформляються в графічному виді, а також у виді аналітичних залежностей, при яких більш наочно проглядається взаємозв'язок досліджуваних факторів.

Абсолютна та відносна похибка вимірювань розраховується відповідно за формулами:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}_k)^2}{k(k-1)}}, \quad (3.16)$$

$$\Delta_o = \frac{m}{\bar{Y}_k} 100\%, \quad (3.17)$$

З урахуванням систематичної помилки приладу Δ_n , який використовується при вимірюваннях, остаточний результат вимірювань розраховується за формулою:

$$Y = \bar{Y}_k [1 \pm (\Delta_o + \Delta_n)], \quad (3.18)$$

Цифровий матеріал обробляється на персональному комп'ютері з використанням стандартних широко відомих оригінальних програм.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати лабораторних досліджень реологічних властивостей грубої овечої вовни

Під час дослідження деформаційних характеристик зволоженої грубої вовни під час стиснення, було встановлено, що груба вовна має конкретні пружні властивості, а її вологість є основним фактором, який впливає на ступінь деформації.

Графічну інтерпретацію результатів перевірки представлено на рисунках 4.1-4.3.

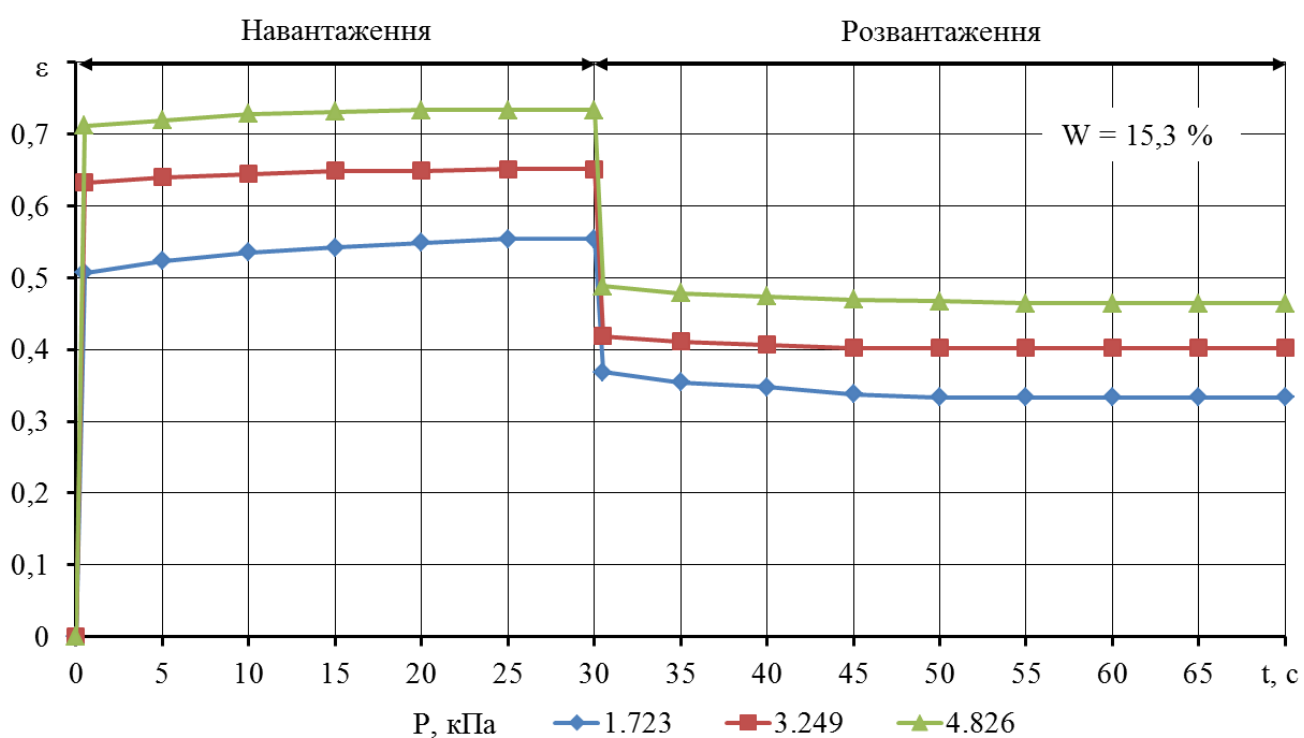


Рисунок 4.1 – Динаміка зміни деформації ε вовни ($W = 15,2\%$) в залежності від тиску

Аналіз цих графіків показує, що процес деформації під час ущільнення відбувається у два етапи. Спочатку відбувається миттєва пружна деформація ε_0 .

Подальше ущільнення вовни призводить до поступової деформації до певного значення ϵ_1 .

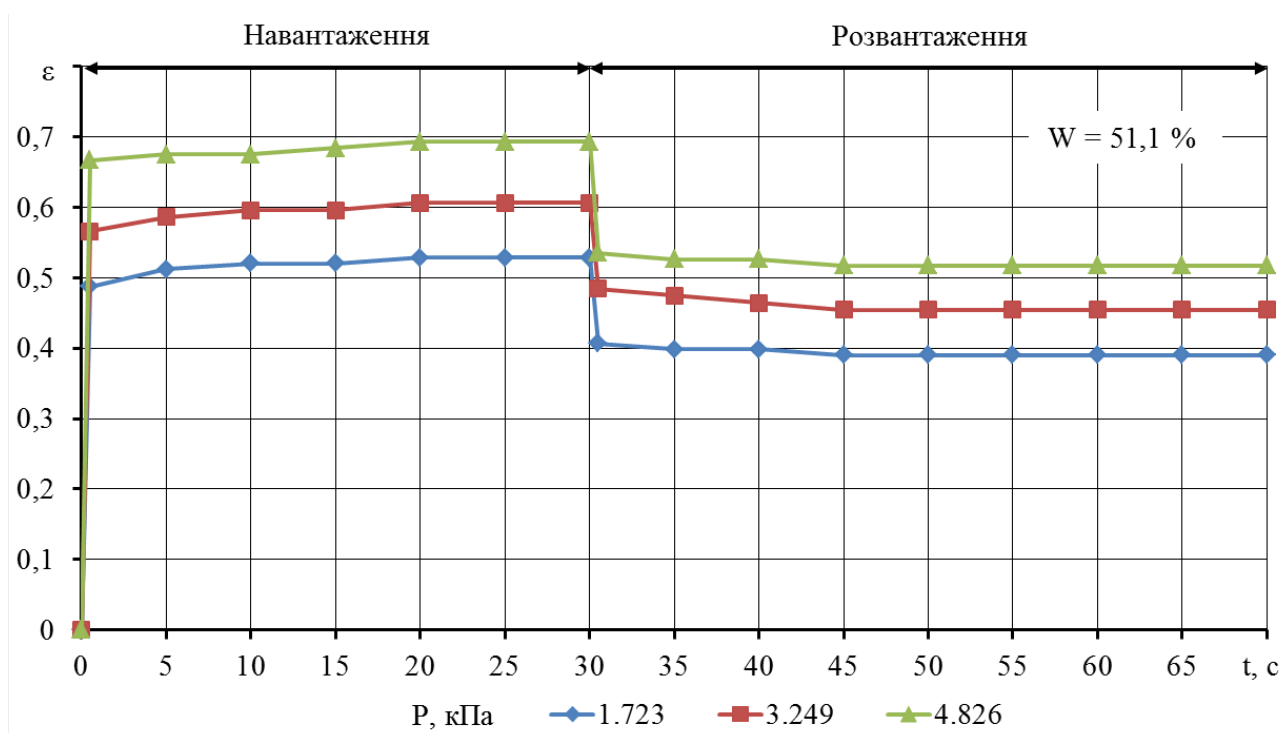


Рисунок 4.2 – Динаміка зміни деформації ϵ вовни (W = 51,0 %) в залежності від тиску

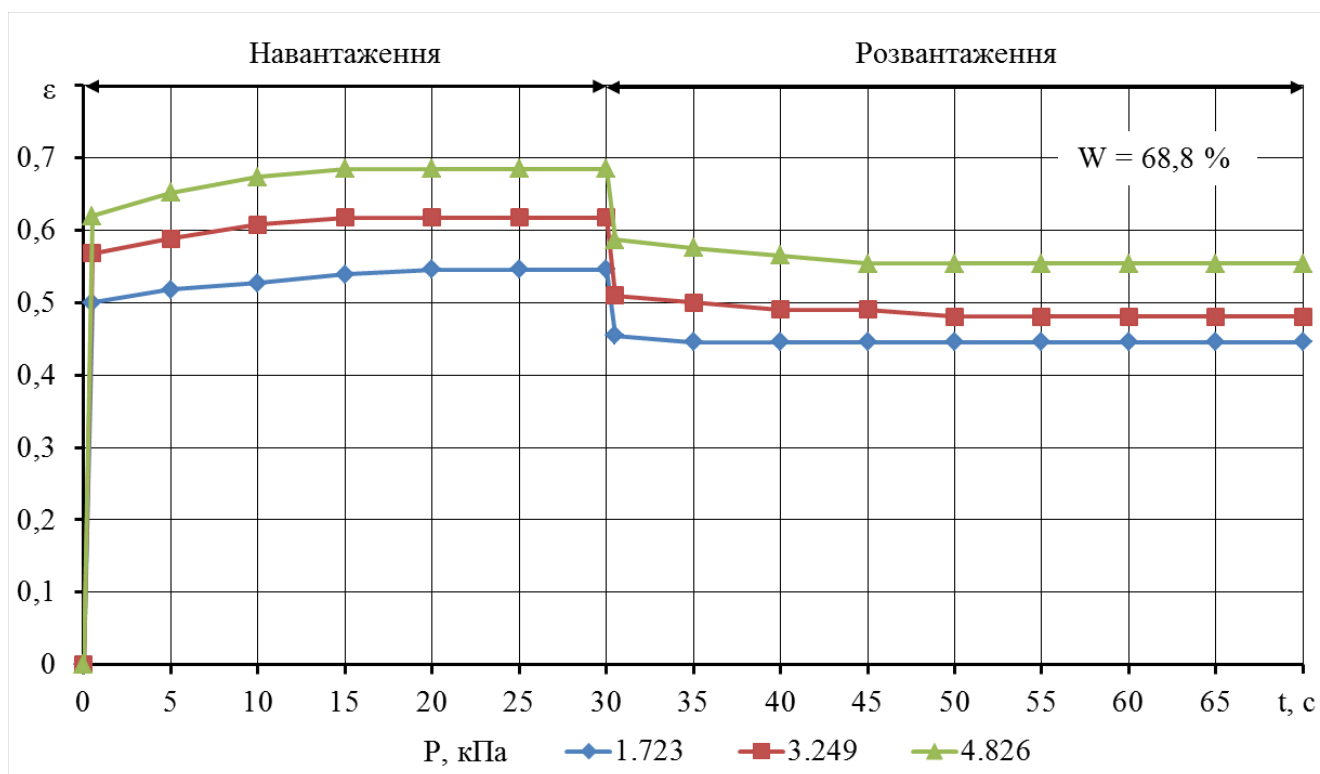


Рисунок 4.3 – Динаміка зміни деформації ϵ вовни (W = 68,7 %) в залежності від тиску

Подібно, процес релаксації грубої вовни після зняття навантаження протікає у два етапи:

- Миттєва релаксація ε_2 , що характеризує пружні властивості матеріалу.
- Подальший процес релаксації триває певний час до досягнення стаціонарного значення деформації ε_3 .

Спостережувана деформація волокнистого матеріалу, вологої грубої вовни, під час навантаження і розвантаження дала змогу побудувати реологічну модель у вигляді пружно-в'язко-пластичного тіла, як показано на малюнку 4.4.

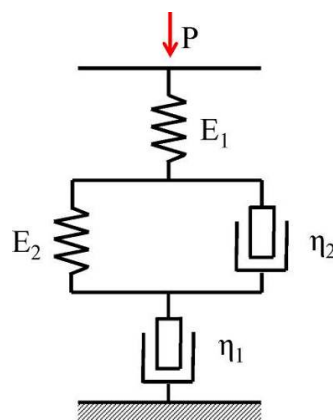


Рисунок 4.4 – Реологічна модель зволоженої грубої вовни (пружно-в'язко-пластичне тіло)

Рівняння деформації для пружно-в'язко-пластичних тіл засновані на [48, 49] і мають такий вигляд:

$$\varepsilon = P \cdot \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2 t}{\eta_2}} \right) + \frac{t}{\eta_1} \right), \quad (4.1)$$

де P – тиск, Па; ε – відносна деформація; η_1, η_2 – динамічна в'язкість, Па·с; E_1, E_2 – модуль пружності, Па; t – час, с.

З графіків 4.1–4.2 можна визначити, що початкова та залишкова деформації зволоженої грубої вовни ε_0 та ε_3 змінюються в залежності від її вологості і рівня навантаження. На основі розрахунків коефіцієнтів регресії була отримана математична модель, яка відображає вплив вологості грубої вовни і рівня навантаження на початкову та залишкову деформацію:

$$\varepsilon_0 = 0,4179 + 0,0581 P - 0,000658 W, \quad (4.2)$$

$$\varepsilon_3 = 0,2258 + 0,03968 P + 0,00198 W, \quad (4.3)$$

де W – вологість грубої вовни, %; P – тиск навантаження, кПа.

Графічну інтерпретацію залежностей (4.2) й (4.3) представлено на рисунках 4.5-4.6.

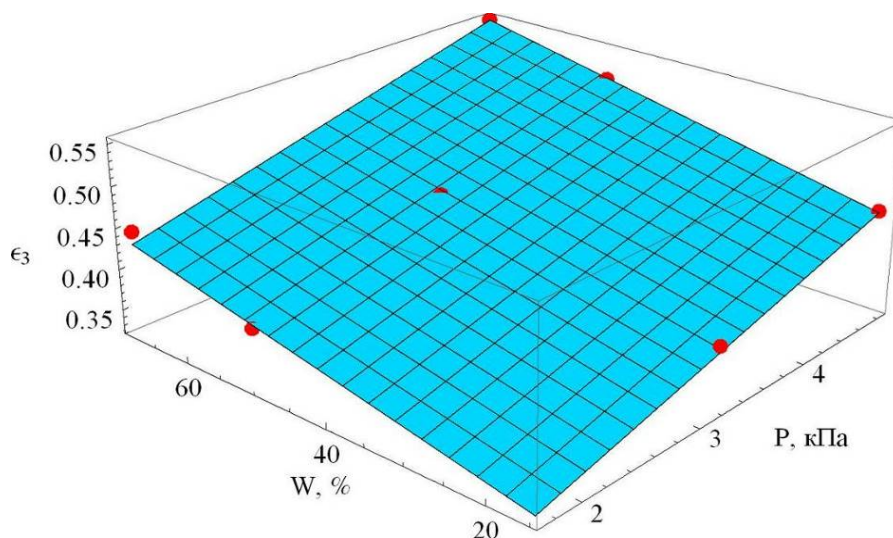


Рисунок 4.5 – Залежність початкової деформації зволоженої грубої вовни ε_0 від тиску навантаження P і її вологості W

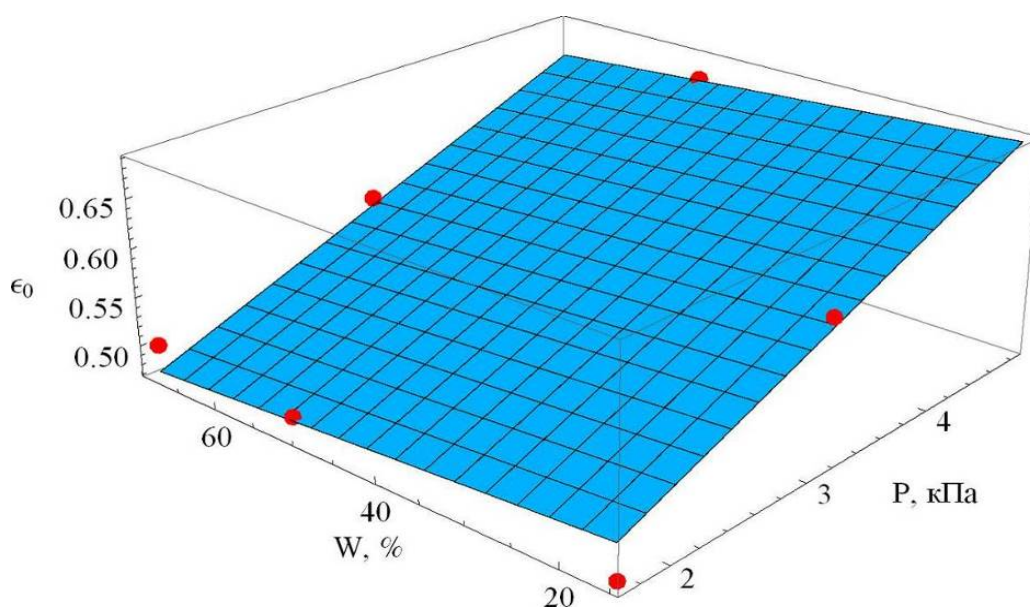


Рисунок 4.6 – Залежність залишкової деформації зволоженої грубої вовни ε_0 від тиску навантаження P і її вологості W

Після проведення досліджень модуля пружності грубої вовни в залежності від її вологості було встановлено зв'язок між відносною деформацією та тиском навантаження (див. рисунок 4.7). З рисунку 4.7 можна побачити, що спочатку спостерігається лінійна залежність, що вказує на пружну деформацію. Зв'язок модуля пружності від вологості можна представити у наступному вигляді:

$$E_1 = 5,2208 W + 385,5 \quad (4.4)$$

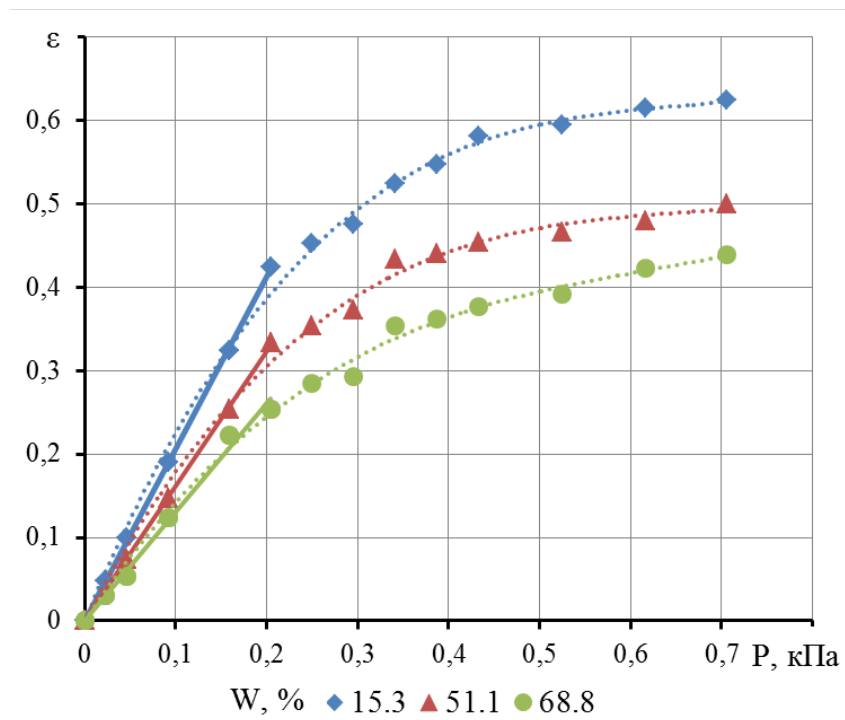


Рисунок 4.4 – Залежність відносної деформації зволоженої грубої вовни ϵ_0 від тиску навантаження і її вологості

4.2 Експериментальні дослідження технологічного процесу перероблення грубої вовни в повстяний утеплювач

Для отримання якісних зразків повсті проводиться тріпання вовни, яке видаляє бруд та розтріпує вовну до стану вати. Доцільність тріпання доведена експериментально, для порівняння було проваляно не тріпанний зразок, див. в кінці процесу.



Рисунок 4.7 – Підготовка машини до роботи та огляд заземлення перед роботою

Гаряча вода поступає з електроіндукційного котла ЕІК-700, електрошафа підключена до мережі 3 фази 380 В 50 Гц.



Рисунок 4.8 – Підвід гарячої води в піддон через кран і до батареї, стік води – через пластикові труби



Рисунок 4.9 – Завантаження вовни та перевірка рівномірності тріпання вовни, укладаємо вовну в піддон



Рисунок 4.10 – Замочування вовни гарячою водою з миючим засобом

Додаємо миючий порошок і соду в об'єм половини піддону води – 12,5 л.



Рисунок 4.11 – Рівномірно розподіляємо вовну на площі піддону і ставимо верхню плиту з вібратором



Рисунок 4.12 – Ставимо верхню плиту з вібратором, вимірюємо температуру миючого розчину (+70°C)

Вмикаємо вібратор – починається валяння вовни в повсть і мийка вовни.



Рисунок 4.13 – Вимірюємо температуру води на вході і починаємо валяння вовни



Рисунок 4.14 – Вовна одночасно валяється і миється, піднімаємо верхню плиту



Рисунок 4.15 – Зразок за 5 хв починає слабо звальватися, перевертаємо зразок



Рисунок 4.16 – Наповнюємо гарячою і знову звальємо

До гарячої води додаємо порошок і соду, знову валяємо 5 хв з реверсом вібратора, перевертаємо – і так до 10 разів

Перевертаємо зразок, валяємо, в кінці процесу промиваємо гарячою водою останній раз – видно що промивна вода чиста – виймаємо зразок, час валяння 30 хв., загальний час 60 хв., переворотів – 8-10. Зразок достатньо щільний, вода стікає. Аналогічно валяємо зразки на різний час валяння 15, 30, 45, 60 хвилин роботи вібратора, помічаючи додаванням тонкої білої вовни або іншим чином. Отримано зразок без попереднього тріпання вовни - зваляна неоднорідно



а



б

а – зразок валяний 60 хв – щільність і міцність максимальна; б – зразки 60 і 30 хв.
– щільність зростає пропорційно часу валяння

Рисунок 4.17 – Валка повсті



Рисунок 4.18 – Сушка повсті

Сушка повсті в сушильній шафі при +85 °С. Інші зразки сушилися на відкритому повітрі – при +35-40 °С – до 3-4 днів.

Таблиця 4.1 – Характеристика процесу валяння повсті

№	Примітка	Час валяння	Заг. час	Переворотів	Потужність Вт	Температура С	Заливок води по 12,5л
1		30	60	8	276	+70	8
2	нетріпана	30	60	7	276	+70	8
3	+1біл. шар	60	90	10	276	+70	8
4	+2біл. шар	45	89	10	288	+70	8
5	рихла	15	28	7	276	+70	5
6	1кр нить+ ½ біл шар	60	90	10	288	+68	8
7		30	62	7	276	+72	8

Якість валяння сильно залежить від тріпання вовни і укладки вовни.

Недотріпана вовна звалюється неоднорідно, з пропусками і зазорами між шарами. При розриві вона має невисоку міцність. Чим більше укладено шарів вовни з перпендикулярною орієнтацією, тим міцніший та щільніший отримується зразок.

Аналіз процесу валяння на машині ПВМ-1 при врахуванні початкової щільності вовни показує, що в загальному він має нелінійний характер і більшу частину щільності повсть набуває за перші 15 хвилин – це і є мінімальний час валяння – рис. 4.19.

Після цього процес валки стає практично лінійним і апроксимується за формулою (4.4) (рис. 4.20).

$$y = 0,0007 x + 0,0698 \quad (4.4)$$

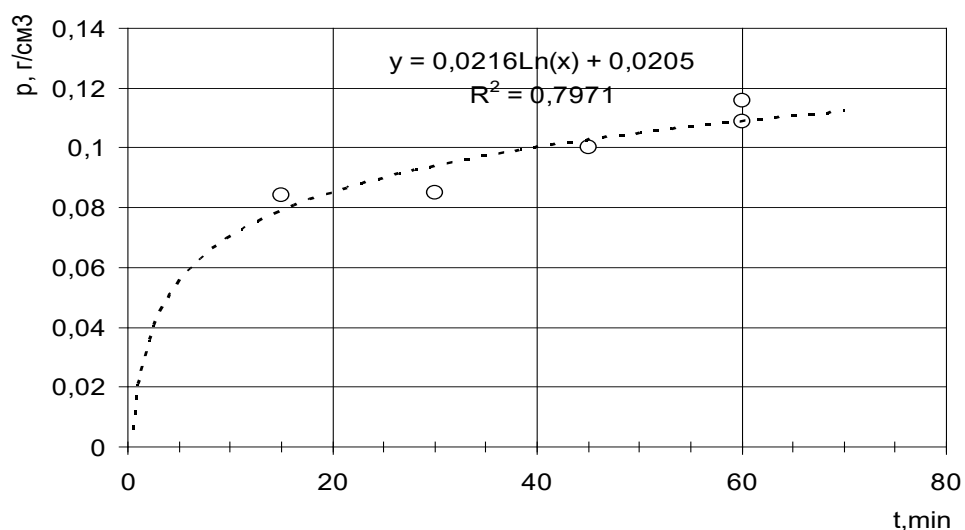


Рисунок 4.19 – Загальний характер процесу валяння повсті

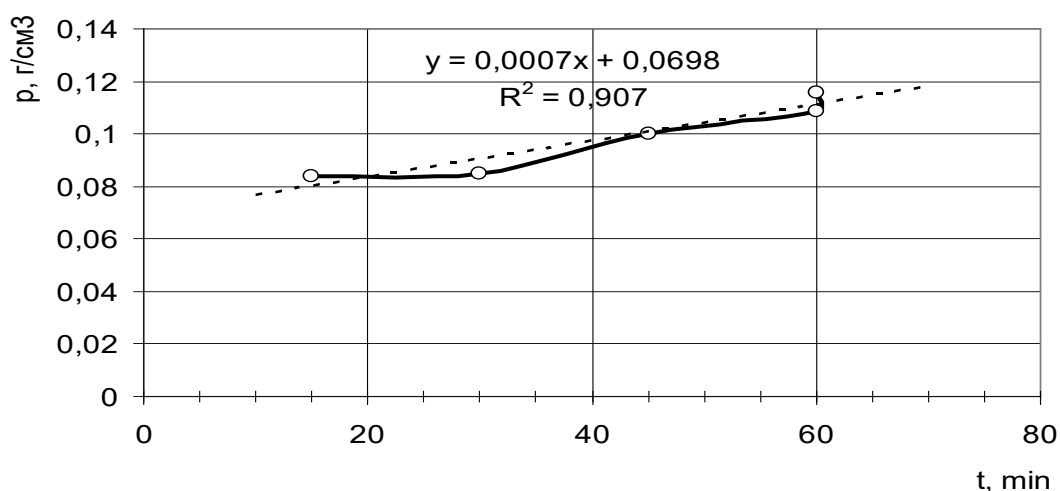


Рисунок 4.20 – Залежність щільності повсті від часу валяння

Графік показує на незначне підвищення щільності від часу роботи. Причиною цього є слабка дія плити вібратора на шар вовни - мала амплітуда вібрації.

Саме тому машина має недостатньо високу продуктивність. Практично для досягнення високої продуктивності амплітуда коливань плити повинна бути пропорційна товщині зразка.

4.3 Висновки з розділу

1. Плитна валяльна машина ПВМ-1 в цілому придатна для виготовлення повстяного утеплювача у вигляді квадрата розміром 50x50 см товщиною 2-3 см щільністю 0,08-0,11 г/см³ і вагою 0,7 кг за час 0,5-1 год.

2. Якість валяння сильно залежить від тріпання вовни і укладки вовни. Недотріпана вовна звалюється неоднорідно, з пропусками і зазорами між шарами. При розриві вона має невисоку міцність. Чим більше укладено шарів вовни з перпендикулярною орієнтацією, тим міцніший та щільніший отримується зразок.

3. Аналіз процесу валяння на машині ПВМ-1 показує, що в загалому він має нелінійний логарифмічний характер і більшу частину щільності повсть набуває за перші 15 хвилин – це і є мінімальний час валяння.

4. Після цього процес валки стає практично лінійним і апроксимується за формулою:

$$y = 0,0007 x + 0,0698.$$

5. Незначне підвищення щільності від часу роботи пояснюється слабкою дією плити вібратора на шар вовни – малою амплітудою вібрації через значну площу плити і малим ударним тиском: для підвищення продуктивності необхідно збільшити амплітуду коливань та силу дії плити, її площу, що можливо двома шляхами: збільшувати розміри плити або валяти повсть в рулоні.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Результати обстеження розробленої машини для перероблення вовни в утеплювач

Оцінка технічного та організаційного рівня робочого місця здійснюється шляхом аналізу наступного:

- Відповідність технічних процесів проектам, обладнанню, нормативно-технічній документації, а також характеру і обсягу виконуваних робіт, оптимальність технічного режиму;;

- Технічне оснащення робочого місця (наявність і технічний стан технічного обладнання, інструментів, контрольно-вимірювальних приладів);

- Відповідність вимогам технічних процесів, обладнання, оснащеності інструментами, нормам безпеки та охорони праці, а також засобам управління;;

- Вплив технологічних процесів, що відбуваються на інших робочих місцях.

Дослідження експериментального зразка розробленої машини для обробки вовняної ізоляції показало, що її компоненти потребують певної уваги з точки зору безпеки оператора.:

- Вантажність;
- Робоча пластина;
- Електропровідня;
- Кнопка запуску і зупинки;
- Електричний провідник;
- Звукова і світлова сигналізація;
- Рамка.

Причинами порушення безпеки оператора є рівні шуму та освітлення [43].

5.2 Дослідження дії небезпечних факторів на оператора машини для перероблення вовни в утеплювач

Небезпечними факторами виробництва називаються такі фактори виробництва, вплив яких при певних умовах призводить до травм людини, позбавляє його працездатності або навіть життя.

Небезпечні виробничі фактори, які можуть виникнути при роботі на розробленій машині, включають:

- «Коливання поточного напруги і частоти електромережі» [33];
- «Можливість падіння з висоти різних деталей і предметів» [33];
- «Пил в повітряному середовищі» [33];
- «Вплив шуму, вібрації» [33].

1. Відхилення напруги живильної мережі від номінального допускається при тривалій експлуатації при номінальних навантаженнях в діапазоні від +10 до -5%. Коли напруга в живильній мережі електродвигуна машини Tгірал перевищує 5%, втрати міді в обмотках статора більше не можуть бути компенсовані, що збільшує струм і втрати ротора. У зв'язку з цим температура обмотки статора може перевищувати допустиме значення. А це може привести до займання електродвигуна і виникнення пожежі. У свою чергу, в результаті пожежі люди можуть отримати опіки різного ступеня.

2. У процесі виробничої діяльності оператор машини trірал може піддаватися впливу таких небезпечних і шкідливий факторів:

- Рухомі частини машин і механізмів, а саме обертові барабани і валки;
- Будівельні матеріали, які можуть бути зруйновані, наприклад, палі, прикріплені до барабанів;;
- Відлітає фрагмент, коли захисна кришка відкрита або не закріплена;
- Гострі кромки, задирки, Інструменти та обладнання.

3. При високих навантаженнях на розроблений верстат у повітряному середовищі може утворюватися пил. У разі потрапляння пилу в організм людини через органи дихання він може спричинити такі серйозні захворювання, як пилові

хвороби (наприклад, силікоз, олігоз), пиловий бронхіт, бронхіальна астма і пневмонія. У разі потрапляння на шкіру пил може спричинити такі захворювання, як закупорка потових залоз, фурункульоз та екзема.

4. Під час роботи машини виникає шум, спричинений рухом різних механізмів. Шкідливий і небезпечний вплив шуму на організм людини наразі добре і надійно встановлено. Шум є звичайним фізіологічним подразником і за певних обставин може впливати на більшість органів і систем людського організму. Тому, на думку лікарів, вплив шуму може викликати неврологічну чутливість, серцево-судинні захворювання, виразку шлунка, порушення обміну речовин, погіршення слуху тощо. Останніми роками частка перерахованих вище захворювань, спричинених впливом шуму, значно зросла.

5. Прилад оснащений блоком керування електродвигуном і відповідними кнопками. Недотримання норм безпеки може призвести до ураження електричним струмом. Коли електричний струм проходить через тіло людини, він супроводжується тепловим, електролітичним і біологічним ефектами. Тепловий вплив електричного струму - це нагрівання тканин і випаровування води, що спричиняє опіки, обпалення тканин і руйнування їх парою. Ступінь теплової дії струму залежить від величини струму, опору струму і тривалості його впливу. За короткочасного впливу струму термічна складова є визначальною в характері та тяжкості ураження. Електролітична дія електричного струму проявляється в розкладанні органічних речовин, зокрема крові (електроліз), що призводить до зміни їхніх фізико-хімічних і біохімічних властивостей. Останнє призводить до руйнування біохімічних процесів у тканинах і органах, що становлять основу життєдіяльності організму. Біологічна дія електричних струмів проявляється у вигляді стимуляції та дисфункції живих тканин організму, зокрема на клітинному рівні. Це призводить до руйнування біоелектричних процесів в організмі, які нормально функціонують і мають відношення до життєдіяльності [33].

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори реалізуються в травмах і захворюваннях у небезпечних умовах експлуатації техніки. Під час огляду машин,

призначених для переробки вовни в ізоляцію, інших небезпечних факторів виявлено не було.

5.3 Карта безпеки праці по розробленій машині для перероблення вовни

Для розробленої машини для перероблення вовни в утеплювач складено карту безпеку праці, яка приведена в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Карта безпеки праці по розробленій машині для перероблення вовни в утеплювач

№	Найменування вузла	Технічні вимоги безпеки	Методи і засоби контролю	Періодичність
1	Завантажувальна ємність	Під час роботи машини завантажувальний вікно повинно бути захищене спеціальним кожухом.	Зовнішній оглядом.	
2	Електропровід	Ніякого пилу і бруду. Надійність кріпильних елементів. Наявність і ремонтпридатність заземлення. Ступінь нагріву. Надійність з'єднувальних контактів.	Зовнішній огляд. Випробування.	
3	Кнопки «Пуск і Стоп»	Кнопка " Пуск " повинна бути зеленою, " Стоп " – червоною і виступати над поверхнею панелі.	Зовнішній огляд.	
4	Електропровідники	Вони повинні бути захищені від механічних впливів завдяки вологостійкої ізоляції. Всередині металевої втулки знаходиться панель управління. Опір ізоляції має становити не менше 0,5 Мом.	Зовнішній огляд.	
5	Сигналізація звукова і світлова	Повинна бути справною.	Випробування.	

№	Найменування вузла	Технічні вимоги безпеки	Методи і засоби контролю	Періодичність
6	Рама	Надійність зварних конструкцій.	Випробування.	△
7	–	Під час роботи машини рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБА.	Перевіряти шумоміром ВШВ-003	△
8	–	Освітлення в робочій зоні машини – не менше 60 люкс.	Перевіряти люксометром Ю-16.	△

де ○ – щозмінний; □ – щомісячний; △ – сезонний (річний).

5.4 Висновки з розділу

На підставі нормативних документів, відповідно до вимог охорони праці, ми провели обстеження розроблених машин для переробки вати в утеплювач, встановили вплив небезпечних факторів на неї і оператора. У даній статті коротко описана схема безпеки роботи розробленої машини для переробки вовни в утеплювач.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИНИ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВОВНИ В УТЕПЛЮВАЧ

В ході експериментальних досліджень, відповідно до технології розробників, була оцінена економічна ефективність використання запропонованої конструкції пластинчастих повстяних машин пвм-1 і аналогів при переробці грубої вовни в повстяний шар товщиною 20 мм. Розрахунок показників економічної ефективності використання повстяних машин проводиться за існуючими методиками.

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності
використання валяльних машин

Показник	Значення показника		
	плитно- валяльна машина ПВМ-1	кулачкова машина В'язового	молотова машина Дзулко
Річне завантаження, год.	2727	1800	720
Річний обсяг виробництва, т	18	18	18
Вартість машини, грн.	4×3560=14240	25600	38400
Термін служби машини, років	5	5	5
Річні витрати праці, люд.-год.	2727	3600	1440
Річні витрати електроенергії, кВт·год.	2727	8100	9360
Річні витрати води, м ³	12,6	18,0	18,0
Тарифна ставка оплати праці, грн./год.	50	50	50
Ціна електроенергії, грн./кВт·год.	6,195	6,195	6,195
Вартість 1 м ³ води та стоків	51,78	51,78	51,78
Річні витрати на оплату праці, грн.	142622,1	188280	75312
Річні витрати на електроенергію, грн.	16893,75	50179,5	57985,2
Річні витрати на воду, грн.	652,45	932,05	932,05
Відрахування на амортизацію, %	16,6	16,6	16,6
Відрахування на капітальний ремонт і ТО, %	7,0	7,0	7,0
Річні витрати на відновлення обладнання, грн.	11819,2	21995	31872
Річні витрати на капітальний ремонт і ТО, грн.	4984	9425	13440

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності використання повстяних машин для виробництва повстяних виробів із грубої вовни наведено в таблиці 6.1.

Показники економічної ефективності використання повстяних машин для переробки грубої вовни на повстяні вироби наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Показники економічної ефективності використання валяльних машин при переробленні грубої вовни у повстяні вироби

Показник	Значення показника		
	плитно-валяльна машина ПВМ-1	кулачкова машина В'язового	молотова машина Дзулко
Затрати праці, люд.-год./т	151,5	200,0	80,0
Питомі експлуатаційні витрати, грн./т	9821,75	15036,8	9974,5
у тому числі:			
- оплата праці	7923,45	10460	4184
- електроенергія	938,55	2787,75	3221,4
- вода	36,25	51,8	51,8
- амортизація	656,6	1221,95	1770,65
- капітальний ремонт і ТО	266,9	515,3	746,65
Сукупні витрати на одиницю виробітку, грн./т	10410,9	16140,95	11574,5
Річний економічний ефект від експлуатації запропонованої машини, грн.	<u>103140,9*</u> 20944,8**	*)	**)
Термін окупності інвестиційних вкладень, років	0,65*	*)	
Собівартість виробництва повстяного пласта, грн./пласт	9,8	15,00	10,00

Як видно з таблиці 6.2, при переробці 18 тонн грубої вовни в товарну продукцію у вигляді повстяних шарів річний економічний ефект при використанні запропонованої конструкції пластинчастої повстяної машини пвм-1 становить 103140,9 грн. у порівнянні з аналогами. Термін окупності запропонованої машини для виробництва листового повсті становить 0,65 року. Вартість виготовлення одного шару повсті становить 9,80 грн/шт.

ВИСНОВКИ

В цілому за результатами роботи отримано наступне:

1. За результатами аналізу відомих конструкцій валяльних машин розроблено та обґрунтовано конструктивно-технологічну схему малогабаритної плитно-валяльної машини періодичної дії, яка дозволяє реалізувати процес виробництва повстяного пласта з грубої вовни. Її робочим органом є двухплитний модуль, верхня рухома плита якого має рифлі й здійснює інтенсивний зворотно-поступальний рух і тим самим забезпечує високий ступень ущільнення зволоженої грубої вовни.

2. Враховуючи теоретичний аналіз теплофізичних властивостей панелей із будівельної повсті був встановлений оптимальний склад її конструкції, який включає наступні характеристики: опір теплопередачі $R = 1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, та питомі теплові втрати $Q = 14,77 \text{ Вт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$.

3. Розглядаються геометричні параметри рифлення робочої поверхні верхньої рухомої плити малопластинчастої повстяної машини з метою підвищення продуктивності процесу валяння грубого волосу у повстяний шар. З метою досягнення максимальної площі, на яку діє напруженість під час навантаження, була знайдена форма рифлів робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини у вигляді функції $y = 0,0056 \cdot \cos(285,5 \cdot x)$ (м).

4. Плитна валяльна машина ПВМ-1 в цілому придатна для виготовлення повстяного утеплювача у вигляді квадрата розміром 50x50 см товщиною 2-3 см щільністю 0,08-0,11 г/см³ і вагою 0,7 кг за час 0,5-1 год. Якість валяння сильно залежить від тріпання вовни і укладки вовни. Недотріпана вовна звалюється неоднорідно, з пропусками і зазорами між шарами. При розриві вона має невисоку міцність. Чим більше укладено шарів вовни з перпендикулярною орієнтацією, тим міцніший та щільніший отримується зразок.

5. Аналіз процесу валяння на машині ПВМ-1 показує, що в загалому він має нелінійний логарифмічний характер і більшу частину щільності повсть набуває за

перші 15 хвилин – це і є мінімальний час валяння. Після цього процес валки стає практично лінійним і апроксимується за формулою: $y = 0,0007x + 0,0698$. Незначне підвищення щільності від часу роботи пояснюється слабкою дією плити вібратора на шар вовни – малою амплітудою вібрації через значну площу плити і малим ударним тиском: для підвищення продуктивності необхідно збільшити амплітуду коливань та силу дії плити, її площу, що можливо двома шляхами: збільшувати розміри плити або валяти повсть в рулоні.

6. На підставі нормативних документів і відповідно до вимог охорони праці було проведено експертизу розробленої машини для виробництва вовняної ізоляції з метою визначення небезпеки для машини та працівників. Складено карту безпеки праці розробленої машини для виробництва вовняної ізоляції.

7. При переробці 18 тонн грубої вовни в товарну продукцію у вигляді повстяних шарів річний економічний ефект при використанні пропонованої конструкції пластинчастої повстяної машини ПВМ-1 становить 103140,9 грн. у порівнянні з аналогами. Термін окупності пропонованої машини для виробництва листового повсті становить 0,65 року. Вартість виготовлення одного шару повсті становить 9,80 грн/шт.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Рогачов Н.В. Первинна обробка вовни/Н.В. Рогачов, В.А. Федерів.: Легка промисловість, 1967. 328 с.
2. Гусев В.Є. Сировина для вовняних та нетканих виробів та первинна обробка вовни / В.Є. Гусев.: Легка промисловість, 1977. 405с.
3. Горбачова М.В. Оцінка нових м'яких препаратів для промивання брудної вовни/М.В. Горбачова, Н.П. Підлісних, Ю.В. Логінов// Вівці, кози, вовняна справа. 2000. №2. С. 37-38.
4. Розумєєв К.Є. Класифікація вітчизняної вовни/К.Є. Розумієв // Вівці, кози, вовняна справа. 2003. №1. С. 1-8.
5. Розумєєв К.Є. Вимірювання довжини, міцності та положення точки розриву штапелю немітої вовни / К.Є. Розумієв // Вівці, кози, вовняна справа. 2003. №1. С. 30-32.
6. Розумєєв К.Є. Сучасні методи визначення основних характеристик вовни / К.Є. Розумієв // Вівці, кози, вовняна справа. 2003. №1. С. 38-48.
7. Тимошенко Н.К. Нові - старі проблеми промивання овечої вовни / Н.К. Тимошенко// Вівці, кози, вовняна справа. 2004. №2. 19-20.
8. Туринський В.М. Обґрунтування і розробка системи технологічних рішень та способів виробництва продукції вівчарства: дис. ... доктора с.-г. наук: 06.02.04 / Туринський Василь Михайлович. Асканія-Нова, 2005. 416 с.
9. Рогачов Н.В. Шерсть - первинна обробка та ринок / Н.В. Рогачов, Л.Г. Васильєва, Н.К. Тимошенко та ін. під ред. Н.К. Тимошенко: ВНДІ м'яс. пром. РАСХН, 2000. С. 14-111.
10. Горбунова Л.С. Первинна обробка вовни: Навч. для средн. спец. навч. закладів/Л.С. Горбунова, Н.В. Рогачов, Л.Г. Васильєв, В.М. Колдарєв. М.: Легка харчова промисловість, 1981. С. 150.
11. Пат. 4080028 Україна, МПК (2006) D 06M11/00. Спосіб карбонізації вовни / Стапай П.В., Макар І.А., Гавриляк В.В., Параняк Н.М., Кочетов С.В., Тис

К.О.; заявник і патентовласник Ін-т біології тварин УААН. – u200813820; за-явл. 01.12.2008; опубл. 27.04.2009, Бюл. №8.

12. Пат. 17185А Україна, МПК (2006) D 01C3/00. Спосіб миття вовни/ Тіманов В.М., Платонов М.О., Цуркін В.Н., Чечель В.К., Гнатенко Є.К., Стріжикозіна С.П.; заявник і патентовласник Тіманов В.М., Платонов М.О., Цуркін В.Н., Чечель В.К., Гнатенко Є.К., Стріжикозіна С.П. – №95052228; заявл. 04.05.1995; опубл. 18.03.1997, Бюл. №5.

13. Пат. 35834А Україна, МПК (2006) D 01B3/00. Спосіб промивання вовни/ Свергун Ю.Ф., Андрійчук Є.І., Гордійчук І.Й., Ванькевич В.В., Кріщук М.І., Черенков О.Д., Столяров В.І., Туринський В.М.; заявник і патентовласник Свергун Ю.Ф., Андрійчук Є.І., Гордійчук І.Й., Ванькевич В.В., Кріщук М.І., Черенков О.Д., Столяров В.І., Туринський В.М. – №98126606; заявл. 15.12.1998; опубл. 16.04.2001, Бюл. №3.

14. Дубінін О.М. Малогабаритна мийно-сушильна лінія для митої вовни / О.М. Дубінін, Ю.В. Логінов, А.І. Нестерова // Вівці, кози, вовняна справа. 2002. №1. С. 54-55.

15. Тимошенко Н.К. Стан та перспективи розвитку первинної обробки вовни / Н.К. Тимошенко// Вівці, кози, вовняна справа. 2007. №4. С. 46-50.

16. Марков В.В. Первинна обробка луб'яних волокон/В.В. Марков, Н.М. Суслов, В.М. Картовенко. М.: Ростехіздат, 1961. 360 с.

17. Ванькевич В.В. Нова ресурсозберігаюча технологія первинної обробки вовни [Електронний ресурс]: Міністерство аграрної політики України / В.В. Ванькевич, О.Д. Горлова, В.С. Пличко, Ю.Ф. Свергун, В.М. Туринський, О.Д. Черепов// Урядовий портал. 2005. Режим доступу: <http://www.minagro.gov.ua/page/8?2224>.- Назва з екрана.

18. Саблук П.Т. Реформування та розвиток підприємств агропромислового виробництва / П.Т. Саблук. К.: ІАЕ, 1999. 232 с.

19. Пат. 55426 Україна, МПК (2009) D01B3/00. Спосіб первинного оброблення вовни/ Шевченко І.А., Лиходід В.В., Сухарльов В.О.; заявник і патенто-

власник Ін-т мех. тв.-ва УААН. u2010 07775; заявл. 21.06.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. №23.

20. Пат. 51205 Україна, МПК (2009) D 01B3/00. Технологічний модуль для первинного оброблення вовни / І.А. Шевченко, В.В. Лиходід, В.М. Забудченко В.І. Вороненко, О.Д. Горлова; заявник і патентовласник Ін-т мех. тв.-ва УААН. № у 2009 13288; заявл. 21.12.2009; опублік. 12.07.2010, Бюл. № 13.

21. Пат. 57408 Україна, МПК (2011.01) D01B3/00. Валковий пристрій для віджимання волокнистих матеріалів після вологого оброблення/ Шевченко І.А., Лиходід В.В.; заявник і патентовласник Ін-т мех. тв.-ва УААН. u2010 09765; заявл. 05.08.2010; опубл. 25.02.2011, Бюл. №4.

22. Лиходід В.В. Технологічний модуль для первинного оброблення вовни ТМ ПОВ-8,0 в умовах господарств / В.В. Лиходід, В.М. Забудченко, І.С. Цис // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету «Сучасні проблеми землеробської механіки». Спец. вип. №. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2009. С. 157-161.

23. Лиходід В.В. Результати виробничих випробувань віджимного валкового пристрою ВП-8,0 / В.В. Лиходід // Зб. наук. праць ІМТ НААН «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві». Вип. 2 (8). Запоріжжя: ІМТ НААН, 2011. С. 214-219.

24. Протокол державних випробувань № $\frac{905}{313-03-08}$. Віджимний пристрій ВП-8,0. – Південно-Українська філія УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого. Херсон. 2008. 28 с.

25. Іноземців В. Д. Механізована валяльно-повстяна майстерня / В. Д. Іноземців.: Держвидав місцевої промисловості. 1947. С. 13-40.

26. Гурвіч М. Я. Механічна технологія валяльно-повстяного виробництва / М. Я. Гурвіч, П. С. Ртищев. Гізлегпром. 1952. 321 с.

27. Кузьмичов Ф. І. Виготовлення валеного взуття та повсті / Ф. І. Кузьмичов. Гізлегпром. 1974. 63 с.

28. Мертвищев Ю. І. Технологія та обладнання валяльно-повстяного виробництва / Ю. І. Мертвищев, С. Є. Суконніков. М.: Легпромбитагдат. 1990. 349 с.

29. Лиходід В. В. Аналіз конструкцій валяльних машин для виробництва повстяних виробів з грубої вовни / В. В. Лиходід, Е. Б. Алієв, В. В. Івлєв // Науковий вісник ЛНАУ «Технічні науки». Вип. 30. Луганськ: ЛНАУ, 2014. С. 325-337.

30. James Frederick Counce. Mathematical modelling of wool scouring: Ph.D. thesis / James Frederick Counce. Netherlands, 1955. 101 p.

31. Anne Klaas van der Vegt. A study on the mechanism of wool felting: Ph.D. thesis / Anne Klaas van der Vegt. – School of Physical, Environmental and Mathematical Sciences, The University of New South Wales, Australian Defence Force Academy, 2007. – 207 p.

32. Stulov A. Dynamic behavior and mechanical features of wool felt/ A. Stulov // Acta Mechanica. Austria, 2004. 169. P. 13-21.

33. Фомін Ю. Г. Розробка теоретичних основ та засобів підвищення ефективності обробки тканин валковими модулями оздоблювальних машин// Дис... докт. техн. наук: 2001. С. 357..

34. Кузнецов В. А., Полумісков С. А., Нейолова С. Б. Дослідження закономірності стисливості плоских текстильних матеріалів // Обладнання для ткацького та фарбувально-оздоблювального виробництва. Експрес-інформація/ЦНИИТЕИЛегпищемаш. 1980. С. 11 - 16.

35. Козявкін І. Г. Вплив пружних властивостей немітої вовни на процес пресування у високошвидкісних пресах / І. Г. Козявкін, Ю. І. Краморов // III міжвузівська наук.-техн. конф. 1971. С. 121-126.

36. Буданов К. Д. Основи теорії, конструкція та розрахунок текстильних машин / К. Д. Буданов, А. А. Мартіросов, Е. А. Попов, Е. А. Туваєва. Машинобудування, 1975. 390 с.

37. Пат. 67502 Україна, МПК (2012) D01H 1/00. Плитно-валяльна машина для виготовлення повсті / І. А. Шевченко, В. В. Лиходід, В. М. Забудченко, С. І.

Павленко, В. В, Івлєв; заявник і патентовласник Ін-т мех. тв-ва НААН. – № u 2011 09081; заявл. 20.07.2011; опублік. 27.02.2012, Бюл. №4, 2012 р.

38. Лиходід В. В. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми малогабаритної плитно-валяльної машини для виробництва утеплювача тваринницьких приміщень / В. В. Лиходід, Е. Б. Алієв, В. В. Івлєв // Фаховий міжвідомчий тематичний науковий збірник «Вівчарство» / Ін-т тваринництва степових районів ім. М. Ф. Іванова «Асканія-Нова» ННСГЦ з вівчарства НААН. – «ПШЕЛ», Нова Каховка, 2014. Вип. 37. С. 110-117.

39. Сухарльов В.О. Обґрунтування розроблення техніко-технологічного модуля для виготовлення повсті на місцях виробництва вовни / В.О. Сухарльов, В.В. Лиходід, І.М. Романцов // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2010. Вип. 1 (5, 6). С. 116-119.

40. Лиходід В.В. Результати виробничих випробувань малогабаритної плитно-валяльної машини ПВМ-1 / В.В. Лиходід, Е.Б. Алієв, С.І. Павленко, В.В. Івлєв // Технічні системи і технології тваринництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків, 2014. Вип. 144. С. 196-201.

41. ДБН В.2.6-31: 2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель [на заміну СНиП II-3-79]: затв. наказом № 301 Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 09.09.2006 р.; чинний від 2007-04-01. Мінбуд України, 2006. К.: ДП «Укрархбудінформ». 71 с.

42. ДСТУ-Н Б В.1.-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія : затв. наказом № 511 від 16.12.2010 р.; чинний від 2011-11-01. Мінрегіонбуд України, 2011. – К.: ДП «Укрархбудінформ». 123 с. (Національний стандарт України).

43. Джонсон К. Механика контактного взаємодєєвствя / К. Джонсон М.: Мир, 1989. 508 с.

44. Алієв Е. Б. Теоретичне обґрунтування геометричних параметрів рифлів

робочої поверхні плитно-валяльної машини / Е. Б. Алієв, В. В. Івлєв, А. В. Грицун // Вібрації в техніці та технологіях: всеукраїнський наук.-техн. журнал / ВНАУ. – Вінниця, 2013. №4 (72). С. 86-91.

45. Румянцев А. А. Контактне завдання про деформування волокнистого матеріалу у віджимних валах / А. А. Румянцев, А. Б. Брут-Бруляко // Изв. ВНЗ. Технологія тексту. Пром-сті. 1987. № 4. С. 92 - 95.

46. Удвал Л. Дослідження залежності вологості вовни після віджиму від технологічних факторів / Л.Удвал, С. В. Белов, А. В. Демідов, Ю. Г. Фомін // Вісті вузів. Технологія текст, пром.-ти. 2004– Випуск №6.

47. Демідов А. В. Дослідження залежності модуля деформації від щільності та вологості вовни / А. В. Демідов, Т. П. Туцька, С. В. Белов, Ю. Г. Фомін // Сучасні наукомісткі технології та перспективні матеріали текстильної та легкої пром -ти (Прогрес-2004). Тез. Доп. Міжнар. наук.- техн. конф.- Іваново 2004.

48. Безухов Н. І. Основи теорії пружності, пластичності, повзучості / Н. І. Безухов. М.: Вища школа, 1968. 512 с.

49. Особов В. І. Машини та обладнання для ущільнення сіно-соломистих матеріалів / В. І. Особов, Г. К. Васильєв, А. В. Голяновський. М.: Машинобудування, 1974, 231 с.