

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії
Кафедра дизайну та індустрії моди

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня бакалавр

Галузь знань 18 Виробництво та технології
(шифр і назва напрямку підготовки)

Спеціальність 182 Технології легкої промисловості
(шифр і назва спеціальності)

Освітня програма Дизайн-технології, конструювання та сучасне
оздоблення виробів легкої промисловості

Аналіз умов формування міцності клейових з'єднань у процесі
виробництва верхнього одягу

Виконав: студент групи ТЛП-22д

Сінятніков А.С.

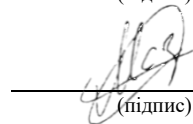
(прізвище, ініціали)



(підпис)

Керівник к.т.н. Мазнев Є.О.

(науковий ступінь, прізвище, ініціали)



(підпис)

Завідувач кафедри к.т.н. Ріпка Галина

(науковий ступінь, прізвище, ім'я)



(підпис)

Рецензент к.т.н. Кудрявцев Сергій

(науковий ступінь, прізвище, ім'я)



(підпис)

Київ-2026

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії _____

Кафедра дизайну та індустрії моди _____

Освітній ступінь _____ бакалавр _____

Галузь знань _____ 18 Виробництво та технології _____
(шифр і назва)

Спеціальність _____ 182 Технології легкої промисловості _____
(шифр і назва)

Освітня програма _____ Дизайн-технології, конструювання та сучасне оздоблення
виробів легкої промисловості _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувачка кафедри дизайну

та індустрії моди



Галина РІПКА

«20» червня 2026 року

ЗАВДАННЯ

ЗДОБУВАЧУ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Сінятніков Антон Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Аналіз умов формування міцності клейових з'єднань у процесі
виробництва верхнього одягу _____

керівник роботи _____ к.т.н., доц. Мазнев Євген Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання здобувачем роботи «10» червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: _____ науково технічна література _____

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

СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЇ КЛЕЙОВОГО ДУБЛЮВАННЯ У
ВИРОБНИЦТВІ ВЕРХНЬОГО ОДЯГУ

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ

ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ

5. Перелік графічного матеріалу (презентація, креслення, слайди тощо):

Титульний слайд. Мета та задачі дослідження. Об'єкти дослідження (до пресування). Фізико-механічні та структурні характеристики об'єктів дослідження

Пакети матеріалів верхнього одягу в стані до дублювання: Пакет 1 (для вовни),

Пакет 2 (для змішаних тканин). Моделювання та оптимізація 2³

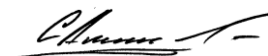
Вплив температури пресування (Т, Х₁). Аналіз формостійкості та жорсткості дубльованих пакетів матеріалів під впливом експлуатаційних факторів

Зміна показників жорсткості та формостійкості дубльованих пакетів під впливом експлуатаційних факторів. Загальні висновки

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Вибір теми	18.05.26	
2	Актуальність теми	20.05.26	
3	Розділ 1	21.05.26	
4	Розділ 2	30.05.26	
5	Розділ 3	02.06.26	
6	Загальні висновки	07.06.26	
7	Подання роботи на перевірку	10.06.26	
8	Захист дипломної роботи	20.06.26	

Здобувач ВО

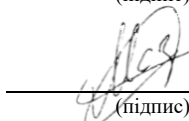


(підпис)

АНТОН
СІНЯТНИКОВ

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи



(підпис)

Євген МАЗНЕВ

(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Автор роботи: Сінятніков Антон Сергійович

Тема випускної кваліфікаційної роботи бакалавра: Аналіз умов формування міцності клейових з'єднань у процесі виробництва верхнього одягу

Роботу виконано в Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля в 2026 році.

Пояснювальна записка має обсяг 58 сторінок, містить 8 рисунків, 11 таблиць, 17 розрахунків (формул), та графічну частину з 11 слайдів.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці науково обґрунтованих технологічних режимів волого-теплової обробки (ВТО) та диференційованих виробничих карт дублювання для вузлів верхнього одягу пальтово-костюмного асортименту. У роботі особливу увагу приділено пакетам матеріалів, що містять вовну та поліефірні волокна, з використанням інноваційних клейових прокладкових матеріалів типу «Double Dot». Метою є забезпечення стабільно високої адгезійної міцності та пружності деталей при збереженні бездоганної формостійкості після експлуатаційних впливів.

У межах роботи спроектовано інженерний алгоритм диференційованого керування технологією дублювання нових тканин верху, що базується на їх структурно-механічних характеристиках (зокрема, пористості, візуалізованій на рис. 3.2). Також розроблено диференційовані виробничі карти оптимальних режимів ВТО (Табл. 3.3), які забезпечують отримання стабільно високої міцності $P_{ot} > 7$ Н/см, що перевищує галузевий норматив ДСТУ.

У першому розділі виконано глибинний аналітичний огляд сучасного стану та тенденцій розвитку клейових методів з'єднання деталей швейних виробів. Проведено класифікацію та аналіз асортименту КППМ і термопластичних кополімерів. Спираючись на фундаментальні фізико-хімічні та реологічні чинники (рівняння Юнга (1.4), Вошберна (1.5) та Арреніуса (1.2)), з'ясовано природу адгезійної взаємодії, яка базується на триєдиному механізмі: змочуванні, капілярному затіканні та інтердифузії.

У другому розділі розроблено експериментально-методичну базу дослідження. Сформовано та проаналізовано структурні характеристики компонентів двох базових пакетів (Пакета 1 – чиста вовна та Пакета 2 – суміш Вв/ПЕ, макроструктура яких показана на Рис. 2.6). Розроблено комплексну лабораторну методику випробувань на відшарування на комп'ютеризованій розривній машині та побудовано геометричну модель факторного простору у межах повного факторного експерименту типу 2^3 для моделювання впливу параметрів ВТО.

У третьому розділі виконано статистичну обробку та багатофакторну оптимізацію параметрів формування адгезійної міцності. Отримано адекватні рівняння регресії (2.13) та побудовано поверхні відгуку що візуалізують вплив фактора Температури (Т). За допомогою SEM-мікроскопії (Рис. 3.2) проведено візуальну верифікацію математичної моделі, підтвердивши ефективність капілярного затікання в пористу структуру вовни при оптимальних параметрах. Проведено комплексну оцінку експлуатаційної стійкості дубльованих пакетів після хімчистки та циклічного згинання (1000 циклів, рис. 3.3). Розроблено диференційовані виробничі карти оптимальних режимів ВТО (табл. 3.3) та впроваджено інженерний алгоритм керування технологією.

ЗМІСТ

	стор
АНОТАЦІЯ.....	4
ВСТУП.....	8
1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЇ КЛЕЙОВОГО ДУБЛЮВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ВЕРХНЬОГО ОДЯГУ.....	14
1.1 Аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку клейових методів з'єднання деталей швейних виробів.....	14
1.2 1.2. Класифікація та асортимент клейових прокладкових матеріалів і термопластичних клейових покриттів.....	18
1.3 Фізико-хімічні чинники адгезійної взаємодії при формуванні клейових пакетів.....	19
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	25
2. ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ	27
2.1 Характеристика пакетів матеріалів верхнього одягу пальтово-костюмного асортименту.....	27
2.2 Визначення показників міцності клейових з'єднань на відшарування	31
2.3 Математичне планування багатofакторного експерименту процесу волого-теплової обробки клейових пакетів.....	34
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	39
3 ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ	40
3.1 Аналіз впливу параметрів термопресування на адгезійну міцність швів.....	40
3.2. Аналіз формостійкості та жорсткості дубльованих пакетів матеріалів під впливом експлуатаційних факторів.....	45
3.3 Розробка інженерних рекомендацій та виробничих карт режимів дублювання для підприємств легкої промисловості.....	49
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	53

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку індустрії моди та виробництва одягу характеризується високою динамікою зміни асортименту, підвищенням вимог до якості, ергономічності та конкурентоспроможності готових виробів. Особливе місце у структурі швейного виробництва посідає виготовлення верхнього одягу (пальт, піджаків, жакетів, курток), які мають складну просторову форму, що повинна залишатися стабільною протягом усього періоду експлуатації під впливом різноманітних факторів (механічних навантажень, волого-теплової обробки, хімічного чищення тощо).

Традиційні ниткові методи формоутворення та стабілізації деталей верхнього одягу сьогодні вже не здатні повною мірою забезпечити необхідний рівень технологічності та продуктивності праці. Саме тому у практиці сучасних швейних підприємств домінуюче значення здобули процеси дублювання – формування клейових з'єднань за допомогою клейових прокладкових матеріалів (КПМ). Використання клейової технології дозволяє суттєво скоротити трудомісткість обробки вузлів (на 15-20 %), підвищити продуктивність праці, знизити матеріаломісткість виробів та забезпечити високу точність відтворення конструктивних ліній.

Проте, попри широке впровадження клейових методів, проблема забезпечення стабільної та прогнозованої міцності клейових з'єднань залишається відкритою. На практиці технологи часто стикаються з дефектами, що виникають як безпосередньо у процесі термопресування, так і під час експлуатації одягу: відшарування прокладки, утворення «бульбашок», міграція клею на лицьову поверхню тканини верхнього матеріалу або, навпаки, надмірне жорсткішання пакета матеріалів.

Причина цих явищ полягає у складному фізико-хімічному характері процесу адгезійної взаємодії, який залежить від великої кількості факторів. Міцність клейового з'єднання визначається не лише властивостями самого термопластичного клею (поліаміду, поліефіру чи поліетилену), але й структурно-механічними характеристиками текстильних матеріалів (волокнистий склад, переплетення,

щільність, наявність спеціальних оздоблювальних засобів, наприклад, силіконових чи гідрофобних апретів). Особливо гостро ця проблема постає зараз, коли на ринку з'являється величезна кількість нових змішаних та наномодифікованих тканин із нестандартними поверхневими властивостями.

Процес формування адгезійного контакту при дублюванні є термодинамічним та реологічним процесом.

Механічну міцність клейового з'єднання на відшарування (P , Н/см) у загальному вигляді можна описати кінетичним рівнянням, яке враховує ключові параметри волого-теплової обробки (ВТО):

$$P = P_{\max} \cdot (1 - e^{-k \cdot \tau}) \quad (1)$$

де P_{\max} – максимально можлива міцність з'єднання за оптимальних умов контакту, Н/см;

k – константа швидкості формування адгезійного зв'язку, яка є функцією температури пресування T та робочого тиску p ($k = f(T, p)$);

τ – тривалість процесу термопресування, с.

Величина константи швидкості k безпосередньо залежить від в'язкості розплаву полімерного клею, яка змінюється за експоненційним законом залежно від температури відповідно до рівняння Арреніуса:

$$\eta = A \cdot e^{\frac{E_a}{R \cdot T}} \quad (2)$$

де η – динамічна в'язкість розплаву клею, Па·с;

A – передекспоненціальний множник;

E_a – енергія активації в'язкої течії полімеру, Дж/моль;

R – універсальна газова стала, Дж/(моль·К);

T – абсолютна температура в зоні клейового контакту, К.

Основний матеріал верхнього одягу
Зона I: Адгезійний контакт (Змочування волокон верх)
Зона II: Когезіійний прошарок (Розплав клейового паву)
Зона III: Адгезійний контакт (Змочування волокон КПМ)
Клейовий прокладковий матеріал (КПМ)

Рис. 1. Схема макроструктури адгезійного шва при дублюванні деталей одягу

Для досягнення високої якості з'єднання необхідно забезпечити баланс між адгезійною міцністю (на межах Зона I та Зона III) та когезіійною міцністю самого полімеру (Зона II).

Сучасні підходи до вибору режимів дублювання часто базуються на емпіричних рекомендаціях виробників КПМ, які не враховують реальний стан обладнання (знос покриття плит, нерівномірність нагріву), а також специфіку топографічних ділянок деталей крою верхнього одягу, де товщина пакета може змінюватися. Для порівняння, у таблиці 1 наведено усереднені технологічні параметри та вимоги до міцності для різних типів клейових прокладкових матеріалів, що використовуються у виробництві чоловічих та жіночих пальт.

Таблиця 1 – Технологічні параметри формування клейових з'єднань для верхнього одягу

Тип клейового прокладкового матеріалу (КПМ)	Вид полімерного покриття	Оптимальний діапазон температур пресування, T (°C)	Робочий тиск пресування, p (МПа)	Час витримки, τ (с)	Мінімально допустима міцність на відшарування, P (Н/см)
Тканинний (на основі бавовни)	Поліамід (РА)	135 - 150	0,3 – 0,4	12 - 15	6,0
Трикотажний (ворсований)	Поліефір (PES)	120 - 135	0,2 – 0,3	10 - 14	5,5
Нетканий (флізелін)	Поліамід низькоплавкий	115 - 130	0,2 – 0,25	8 - 12	4,5

Аналіз даних таблиці показує, що кожен тип матеріалу потребує індивідуального налаштування обладнання. Не достатнє дослідження фізико-

механічних властивостей системи «тканина верх - клей - прокладка» призводить до високого відсотка прихованого браку, який виявляється вже на етапі фінішної ВТО готового виробу або, що ще гірше, під час перших місяців носіння одягу споживачем.

З огляду на це, проведення комплексного аналізу умов формування міцності клейових з'єднань, побудова математичних та графічних залежностей міцності від параметрів термопресування, а також розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації технологічних режимів для конкретних пакетів матеріалів є надзвичайно актуальним завданням для сучасної індустрії легкої промисловості.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення якості, формостійкості та експлуатаційної надійності деталей верхнього одягу шляхом комплексного аналізу, математичного моделювання та оптимізації технологічних параметрів процесу формування міцності клейових з'єднань.

Для досягнення поставленої мети у роботі визначено та вирішено такі завдання:

1. Провести аналітичний огляд сучасного асортименту клейових прокладкових матеріалів (КПМ) та термопластичних клеїв, що використовуються у виробництві верхнього одягу пальтово-костюмного асортименту.

2. Дослідити фізико-механічні та структурні властивості основних матеріалів (що містять вовну, поліефірні та змішані волокна) та їхній вплив на змочуваність та поглинальну здатність клейового розплаву.

3. Експериментально визначити характер кінетики формування адгезійного шва та встановити графічні залежності міцності клейового з'єднання на відшарування від ключових факторів волого-теплової обробки (ВТО): температури пресування (T , °C), робочого тиску (p , МПа) та часу витримки (τ , с).

4. Побудувати математичну модель процесу дублювання за допомогою методів повного факторного експерименту (ПФЕ) для оптимізації режимів обробки з метою максимізації показника міцності (P_{max}) за умови збереження нормативної жорсткості пакета.

5. Розробити практичні рекомендації та інженерні карти режимів дублювання для швейних підприємств.

Об'єкт дослідження – процес адгезійної взаємодії та формування структури клейового шва при з'єднанні деталей верхнього одягу з використанням термопластичних прокладкових матеріалів.

Предмет дослідження – технологічні режими термопресування (температура, тиск, час), структурно-механічні характеристики текстильних матеріалів та показники міцності клейових з'єднань на відшарування.

Практична цінність роботи полягає у безпосередньому спрямуванні її результатів на модернізацію та стабілізацію технологічних процесів швейного виробництва. На основі проведених експериментів та аналізу сформовано пакет прикладних рішень:

- Складено диференційовані технологічні карти для базових пакетів матеріалів верхнього одягу (для вовняних, напіввовняних та змішаних тканин із різними типами флізелінів та дублеринів). Це дозволяє технологам швейного цеху оперативно налаштовувати прохідні преси або преси дискретної дії залежно від артикулу тканини верху.

- Встановлені у роботі оптимальні режими дублювання дозволяють забезпечити стабільну міцність з'єднання на рівні $P \geq 6$ Н/см (що повністю задовольняє вимоги ДСТУ), мінімізуючи при цьому ризик виникнення прихованих дефектів (деформацій, відшарувань після хімчистки, жорсткості швів).

- Завдяки точному визначенню гранично мінімального часу витримки (τ) та температури (T) без втрати адгезійних властивостей, досягається скорочення тривалості операцій дублювання на 10-12 %, що веде до зниження питомих енерговитрат на ділянках ВТО швейних підприємств.

Важливо для виробництва: Результати роботи дозволяють перейти від емпіричного (інтуїтивного) підбору параметрів обладнання до науково обґрунтованого проектування клейової технології, забезпечуючи високу якість формування просторової форми пілчок, комірів та лацканів пальт.

Матеріали та практичні рекомендації кваліфікаційної роботи орієнтовані на:

1. виробничий сектор. Використання на швейних підприємствах та фабриках легкої промисловості, що спеціалізуються на виготовленні класичного

чоловічого та жіночого верхнього одягу (зокрема, при роботі зі складними у технологічній обробці тканинами).

2. освітній процес. Результати експериментальних досліджень та методику математичного планування експерименту клейових з'єднань впроваджено у навчальний процес Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля при викладанні дисциплін «Технологія швейних виробів» та «Проектування процесів швейного виробництва» для здобувачів вищої освіти спеціальності 182 «Технології легкої промисловості».

1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЇ КЛЕЙОВОГО ДУБЛЮВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ВЕРХНЬОГО ОДЯГУ

1.1. Аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку клейових методів з'єднання деталей швейних виробів

Виробництво сучасного верхнього одягу неможливо уявити без широкого використання низькотемпературних клейових технологій. Вони визначають не лише архітектоніку та зовнішній вигляд виробу, а й рівень автоматизації всього швейного підприємства. Історично дублювання пройшло шлях від жорсткого суцільного промазування деталей рідкими розчинами природних клеїв до точкового дискретного нанесення синтетичних термопластичних кополімерів, які не порушують природну пластику, драпірованість та повітропроникність текстильних матеріалів.

На сучасному етапі розвитку легкої промисловості клейові методи розглядаються не просто як допоміжні операції, а як базові структуротворчі процеси. Основним критерієм ефективності заміни ниткових методів фіксації (наприклад, вистьобування лацканів чи пілочок ручними або напівавтоматичними стібками) на клейові є технологічний індекс скорочення трудомісткості операції (E_{op} , %). Його розраховують за формулою:

$$E_{op} = \frac{T_{th} - T_{ad}}{T_{th}} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

де T_{th} – витрати часу на стабілізацію та формування форми деталей нитковим способом, люд.-хв;

T_{ad} – витрати часу на дублювання деталі за допомогою сучасного прохідного преса, люд.-хв.

Застосування високотехнологічного дублювального обладнання дозволяє досягти значень E_{op} у межах 75-85 %, що доводить високу економічну та організаційну доцільність клейової технології.

Аналіз світових тенденцій показує, що провідні виробники обладнання для волого-теплової обробки (такі як Kannegiesser, Macpi, Meyer, Hashima) фокусують увагу на переході від дискретних гідравлічних пресів до безперервних стрічкових (прохідних) систем дублювання (рис. 1.1). Вони інтегруються в автоматизовані розкрійно-заготовчі комплекси, утворюючи єдину цифрову екосистему підприємства.



Рис. 1.1. Сучасна автоматизована лінія обробки вузлів верхнього одягу

Як видно на рисунку 1.1, сучасні установки оснащуються мікропроцесорними блоками керування, безконтактними інфрачервоними датчиками вимірювання температури безпосередньо на поверхні клейового пакета та системами автоматичного вирівнювання стрічок. Це мінімізує вплив «людського фактора», який раніше був основною причиною дефектів дублювання через помилки оператора у виборі часу чи тиску.

Важливою характеристикою, що визначає якість дискретного точкового покриття прокладкових матеріалів, є коефіцієнт фактичної площі контакту (K_c), який

впливає на проникну здатність розплаву:

$$K_c = \frac{S_a}{S_b} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot n}{4} \quad (1.2)$$

де S_a – фактична площа, зайнята клейовими точками на одиниці поверхні, см^2

S_b – загальна базова площа зразка ($S_b = 1 \text{ см}^2$);

D – середній діаметр клейової точки після оплавлення, см ;

n – кількість клейових точок на см^2 прокладки.

Значення K_c має перебувати у чітко визначених межах: надто високий коефіцієнт веде до жорсткості та плівкоутворення, а низький – не забезпечує нормативної адгезії.

Для порівняння технологічних можливостей різних модифікацій клейових методів, що використовуються при заготовці напівфабрикатів верхнього одягу, сформовано порівняльну таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика сучасних методів клейового з'єднання деталей одягу

Метод з'єднання	Характер розподілу клейової речовини	Рівень автоматизації процесу	Основні переваги	Область раціонального застосування у верхньому одязі
Площинне дублювання (прохідні преси)	Дискретно-точкове (паста або регулярний порошок)	Високий (автоматичні лінії)	Рівномірна формостійкість великих деталей, висока продуктивність.	Дублювання пілочок пальт, піджаків, верхніх комірків, підбортків.
Локальна фіксація (стрічки, клейові сітки)	Лінійний або сітчастий прошарок	Середній (напівавтомати)	Швидка фіксація країв, запобігання розтягуванню зрізів у процесі збирання.	Пройма, лінія перегину лацкана, низ виробу та рукавів.
Плівкове термосварювання	Суцільний тонкий	Високий (програмовані)	Абсолютна водонепроникність	Виробництво спортивного

Метод з'єднання	Характер розподілу клейової речовини	Рівень автоматизації процесу	Основні переваги	Область раціонального застосування у верхньому одязі
Я	шар кополімеру	верстати)	ь, безниткова тонка конструкція шва.	верхнього одягу, штормівок, плащів.
Гібридний (ультразвук + клейова стрічка)	Локальний розплав під дією УЗ-хвилі	Високий (роботизовані комплекси)	Відсутність теплового пошкодження делікатних і чутливих до температур тканин.	Одяг спеціального призначення, преміум-сегмент із плащових тканин.

Проведений нами аналіз дозволяє виділити три ключові тенденції розвитку клейової технології в індустрії верхнього одягу:

1. Екологізація та безпека. На зміну традиційним маркам клеїв із залишками токсичних мономерів приходять біорозкладні поліаміди та термопластичні поліуретани (TPU), отримані з відновлюваної сировини. Вони не виділяють шкідливих парів під час ВТО у цеху і є безпечними для кінцевого споживача.
2. Низькотемпературне дублювання. Сучасні тканини верхнього одягу часто містять високотехнологічні синтетичні мембрани, еластанові нитки або ніжний натуральний кашемір, які деформуються чи втрачають властивості при температурах понад 130 °С. Тенденція розвитку спрямована на створення клейових покриттів, здатних переходити у стан в'язкої течії при температурі 105-115 °С
3. Смарт-дублювання. Впровадження елементів концепції Industry 4.0/5.0, коли прес автоматично зчитує штрих-код або RFID-мітку на крої деталі, розпізнає артикул тканини та самостійно виставляє індивідуальний тиск, температуру та швидкість конвеєра.

Таким чином, сучасний стан клейових методів характеризується глибокою автоматизацією та переходом до енергоефективних, делікатних режимів обробки.

Проте, швидка поява нових матеріалів із різним волокнистим складом вимагає від нас, як від здобувачів вищої освіти та майбутніх інженерів-технологів, проведення точних експериментальних досліджень для кожного конкретного пакету матеріалів, що і буде виконано у наступних розділах роботи.

1.2. Класифікація та асортимент клейових прокладкових матеріалів і термопластичних клейових покриттів

Для забезпечення заданої формостійкості, пружності та зносостійкості вузлів верхнього одягу необхідний обґрунтований підбір клейових прокладкових матеріалів (КПМ). Сучасний асортимент КПМ є надзвичайно широким і класифікується за трьома основними ознаками: структурою текстильної основи, хімічним складом термопластичного клею та архітектонікою (способом нанесення) клейового шару.

З позиції проектування технологічних процесів, первинне значення має структура текстильної основи прокладки, яка визначає характер взаємодії пакета з тілом людини та його здатність до просторового формоутворення: тканинні основи (дублерини) виготовляються з бавовняних, віскозних або змішаних пряж. Мають високу міцність і стабільність, використовуються для деталей, що потребують жорсткої фіксації (пілочки чоловічих класичних пальт, підборти, манжети).

Трикотажні основи відрізняються наявністю ворсу та петельною структурою. Завдяки еластичності по качку або основі, вони ідеально повторюють деформації сучасних тонкорунних вовняних тканин та кашеміру, забезпечуючи «м'яке», пластичне дублювання без ефекту «картону».

Неткані основи (флізеліни, ниткопрошивні матеріали) одержуються шляхом термоскріплення або хімічного зв'язування волокон (поліефірних, поліамідних). Ниткопрошивні флізеліни мають додаткове посилення поздовжніми нитками, що поєднує низьку вартість матеріалу зі стійкістю до розтягування в напрямку розкрою.

Важливою метричною характеристикою КПМ є його сумарна поверхнева щільність, яка складається з щільності основи та маси нанесеного клею. Розрахунок нормованої маси клейового покриття на одиницю площі матеріалу ($M_{кр}$, г/м²)

виконується за формулою:

$$M_{kp} = \rho_m \cdot V_{dot} \cdot n_d \cdot 10^4 \quad (1.3)$$

де ρ_m – щільність термопластичного полімеру, г/см³;

V_{dot} – середній об'єм однієї сформованої клейової точки на прокладці, см³;

n_d – кількість клейових точок на 1 см² поверхні КПМ (частота розсіювання або номер сітки).

Другою фундаментальною складовою асортименту є хімічний склад клейової речовини. Термопластичні клеї (термопласти) повинні мати чітко визначений інтервал температур плавлення, оптимальну в'язкість розплаву та високу адгезію до текстильних волокон різного походження. Характеристики основних полімерів, що використовуються у виробництві верхнього одягу, наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні властивості термопластичних полімерів для клейових покриттів КПМ

Хімічний тип полімеру	Абревіатура	Інтервал температур плавлення, T_{pl} (°C)	Стійкість до прання при 40–60 С	Стійкість до хімічистки (перхлоретилен)	Основна область застосування у верхньому одязі
Поліамід	РА	115 - 135	Задовільна	Відмінна	Класичні пальта, костюми з вовняних та напіввовняних тканин.
Полієфір (поліестер)	PES	120 - 140	Відмінна	Добра	Куртки, плащі, спортивний верхній одяг, що піддається пранню.

Поліетилен (високого тиску)	HDPE	125 - 145	Відмінна	Низька	Переважно чоловічі сорочки, дрібні деталі спецодягу.
Етиленвінілацетат	EVA	95 - 110	Низька	Низька	Низькотемпературна фіксація шкіри, хутра, делікатних матеріалів.

Аналіз таблиці 1.2 показує, що для асортименту верхнього одягу (де базовим способом догляду є хімічне чищення в органічних розчинниках) найбільш раціональним є використання поліамідних (РА) та поліефірних (PES) клейових покриттів.

Третім фактором є архітектоніка клейового шару. Сучасні технології відійшли від суцільного нанесення через погіршення повітропроникності. Сьогодні застосовують дискретне точкове нанесення. Особливе місце посідає інноваційна технологія подвійної точки («Double Dot»), яка розроблена для запобігання поширеним дефектам дублювання. Схематичне порівняння структури звичайної одинарної та подвійної клейової точки представлено на рисунку 1.2.

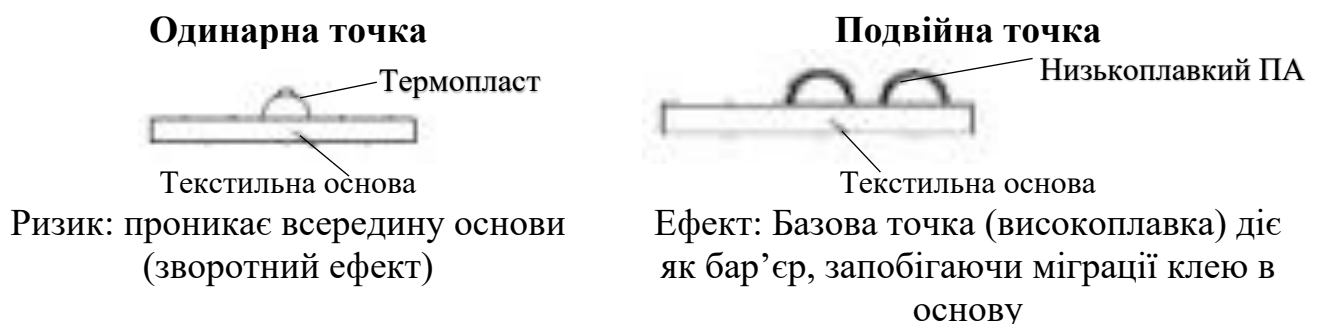


Рис. 1.2. Схема архітектоніки клейового покриття прокладкових матеріалів

При використанні технології «Double Dot» нижній шар (базова точка) складається з полімеру з високою в'язкістю та підвищеною температурою плавлення,

який під час пресування не тече, а виконує роль еластичного бар'єра. Верхній шар — це низькоплавкий кополімер із низькою в'язкістю, який спрямовується виключно в бік тканини верху, забезпечуючи максимальну адгезію без жорсткості пакета.

За результатами аналізу асортименту, як здобувач вищої освіти, для подальшої експериментальної частини роботи я обираю трикотажні та ниткопрошивні КПМ із поліамідним (ПА) клейовим покриттям типу «Double Dot». Вони забезпечують найвищу стійкість до деформацій зсуву та хімічного чищення, що є критично важливим для якісного виробництва верхнього одягу.

1.3. Фізико-хімічні чинники адгезійної взаємодії при формуванні клейових пакетів

Формування міцного та експлуатаційно стійкого клейового з'єднання деталей верхнього одягу – це складний фізико-хімічний процес, що протікає на межі поділу фаз «тверде тіло (волокно тканини) – рідина (розплав термопластичного клею)». З позиції сучасної колоїдної хімії та реології полімерів, цей процес є багатостадійним і залежить від термодинамічних властивостей поверхонь та кінетики течії розплаву полімеру в пористу структуру текстильного матеріалу.

На початковому етапі дублювання під дією теплового імпульсу термопластичний клей переходить із твердого (склоподібного або високоеластичного) стану у стан в'язкої течії. Для виникнення міцного адгезійного зв'язку рідкий клей повинен повністю змочити поверхню волокон тканини верху та прокладки. Змочуваність системи визначається співвідношенням поверхневих енергій і описується класичним законом Юнга для краплі розплаву на твердій підкладці:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_s - \sigma_{sl}}{\sigma_l} \quad (1.4)$$

де σ_s – вільна поверхнева енергія текстильного волокна (субстрату), мН/м;

σ_1 – поверхневий натяг розплаву полімерного клею (адгезиву), мН/м;

σ_{sl} – міжфазний натяг на межі «волокно- розплав клею», мН/м;

θ – крайовий кут змочування, град.

Умова повного змочування ($\theta \rightarrow 0^\circ$, $\cos\theta \rightarrow 1$) виконується лише тоді, коли поверхнева енергія волокна значно перевищує поверхневий натяг розплаву полімеру ($\sigma_s > \sigma_1$). Сучасні високотехнологічні тканини верхнього одягу, які проходять противоджове, силіконове або фторорганічне апретування, мають критично низьку поверхневу енергію ($\sigma_s < 25$ мН/м), що різко погіршує їх змочуваність і стає причиною низької адгезії.

Після досягнення термодинамічного контакту під дією зовнішнього тиску преса (p) відбувається механічне проникнення (затікання) розплаву клею в капілярні проміжки між нитками та волокнами. Кінетику затікання клею у пористу структуру тканини, з урахуванням капілярного тиску та зовнішнього навантаження пресування, ми можемо описати модифікованим рівнянням Вошберна:

$$h = \sqrt{\frac{r \cdot \tau \cdot \left(p + \frac{2\sigma_1 \cos \theta}{r}\right)}{2\eta}} \quad (1.5)$$

де h – глибина проникнення розплаву клею в структуру тканини, м;

r – еквівалентний радіус капілярних пор текстильного матеріалу, м;

p – зовнішній робочий тиск дублювання, Па;

τ – час дії тиску (тривалість пресування), с;

η – динамічна в'язкість розплаву термопластичного клею, Па·с.

З аналізу цього рівняння випливає, що глибина проникнення клею є обернено пропорційною квадратному кореню з в'язкості розплаву (η). Водночас в'язкість полімеру критично залежить від температури в зоні контакту. При недостатній температурі плити преса в'язкість залишається високою, клей не встигає проникнути на необхідну глибину (h), формуючи лише поверхневий, механічно нестабільний контакт. При надмірній температурі в'язкість паде нижче критичної межі, клей стає

занадто рідким і повністю просочує тканину наскрізь, викликаючи дефект міграції полімеру на лицьову сторону.

Для оцінки поведінки різних клейових кополімерів у процесі ВТО важливим є врахування їхнього індексу розплаву (текучості) та термомеханічних властивостей, які систематизовано у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Реологічні та фізико-хімічні чинники формування клейового контакту

Фізико-хімічний чинник	Одиниця виміру	Характер впливу на міцність з'єднання (P)	Наслідки відхилення від оптимального значення
Динамічна в'язкість розплаву (η)	Па·с	Визначає здатність до обволікання мікрОВОЛОКОН субстрату.	Зависока: немає адгезійного шва, клей залишається кулькою. Занизька: клей мігрує на лицьову сторону, жорсткість пакета.
Критична поверхнева енергія тканини (σ_s)	мН/м	Визначає термодинамічну рушійну силу змочування.	Низька (≤ 30): розплав згортається, адгезійний контакт відсутній (характерно для гідрофобних тканин).
Когезійна міцність полімеру (σ_{kog})	МПа	Визначає внутрішню міцність самого клейового прошарку.	Низька: руйнування шва відбувається по тілу клею (когезійний характер руйнування при малих навантаженнях).
Швидкість кристалізації полімеру	с ⁻¹	Впливає на фіксацію просторової форми пакета після преса.	Занизька: деформація і розшарування деталей при передчасному знятті з конвеєра до повного охолодження.

Після затікання розплаву починає діяти дифузійний чинник. Оскільки текстильні волокна (особливо натуральні та штучні, такі як вовна, шовк, віскоза) мають власну поруватість, сегменти макромолекул поліамідного або поліефірного клею дифундують у міжмолекулярні проміжки поверхневого шару волокна. Відбувається взаємне розчинення та формування інтердифузійного шару, який після

охолодження (солідифікації) та кристалізації забезпечує монолітність структури пакета.

Таким чином, як здобувач вищої освіти, спираючись на аналіз фізико-хімічних факторів, можу зробити висновок: міцність клейового з'єднання є результатом синергетичного ефекту трьох явищ – механічного зачеплення за нерівності ниток, молекулярної адгезії (змочування) та інтердифузії макромолекул. Керування цими процесами на практиці реалізується через точне моделювання температурно-часових режимів пресування, що буде детально розроблено в експериментальній частині кваліфікаційної роботи.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Встановлено високу технологічну ефективність заміни традиційних ниткових методів фіксації деталей верхнього одягу на сучасні клейові методи дудування. За рахунок автоматизації процесів на базі стрічкових прохідних пресів безперервної дії досягається суттєве скорочення трудомісткості заготовчих операцій (індекс скорочення E_{op} становить 75–85 %), підвищується якість і забезпечується стабільність лінійних розмірів крою.

2. Визначено ключові вектори розвитку клейових технологій у виробництві одягу, серед яких домінуючими є: екологізація клейових речовин, перехід до концепції «смарт-дублювання» (в межах Industry 4.0/5.0) та розробка низькотемпературних клейових покриттів (з температурою плавлення 105–115°C). Останнє є критично важливим для збереження структури делікатних, мембранних та наномодифікованих тканин, чутливих до високих температур.

3. Обґрунтовано структуру асортименту клейових прокладкових матеріалів (КПМ) для пальтово-костюмної групи. Доведено, що для забезпечення природної пластики, драпірованості та еластичності деталей верхнього одягу найбільш раціональним є використання трикотажних та ниткопрошивних нетканих основ. Вони мають здатність повторювати просторові деформації тканини верху без виникнення надмірної жорсткості.

4. Доведено перевагу використання поліамідних (РА) та полієфірних (PES) кополімерів як адгезивів для верхнього одягу, оскільки вони мають високу когезійну міцність і відмінну стійкість до дії органічних розчинників під час хімічного чищення готових виробів. При цьому архітектоніка клейового шару повинна базуватися на технології подвійної точки, яка створює еластичний бар'єр і повністю нівелює ризики зворотної міграції клею в прокладку або його проступання на лицьову сторону виробу.

5. З'ясовано фізико-хімічну природу формування адгезійного контакту, яка базується на триєдиному механізмі: термодинамічному змочуванні волокон, капілярному затіканні розплаву під дією тиску та інтердифузії сегментів

макромолекул полімеру в пористу структуру текстилю. Показано, що наявність сучасних гідрофобних чи силіконових апретів на тканинах верху різко знижує їхню поверхневу енергію ($\sigma_s \leq 30$ мН/м), що ускладнює змочування і потребує корегування параметрів волого-теплової обробки.

б. Аналіз закономірностей за рівняннями Вошберна та Арреніуса підтвердив, що кінетика затікання клею та підсумкова міцність шва на відшарування перебувають у критичній залежності від взаємозв'язку «температура-тиск-час». Будь-яке випадкове відхилення цих параметрів призводить до дефектів недопресування або перепресування. Це обґрунтовує необхідність подальшого проведення автором роботи, як здобувачем вищої освіти, багатofакторного експериментального дослідження для пошуку точних математичних оптимізованих режимів дублювання реальних пакетів матеріалів, що і є завданням наступних розділів.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ

2.1. Характеристика пакетів матеріалів верхнього одягу пальтово-костюмного асортименту

Для отримання об'єктивних та практично орієнтованих результатів у межах цієї кваліфікаційної роботи нами було сформовано експериментальну базу матеріалів, які найбільш часто застосовуються на сучасних вітчизняних швейних підприємствах при виготовленні чоловічих та жіночих пальт і костюмів. Специфіка проектування верхнього одягу вимагає, щоб обрані пакети матеріалів забезпечували не лише бездоганний зовнішній вигляд, а й формостійкість лацканів, коміра та пілочки протягом тривалого терміну носіння.

Як об'єкти дослідження було обрано дві базові тканини верху, що принципово відрізняються за волокнистим складом, структурою та поверхневою щільністю:

Зразок №1 (Тканина верху 1): Чистововняна пальтова тканина (сукно) преміум-сегменту. Має виражену пористу структуру, високі теплоізоляційні властивості, проте є чутливою до надмірних температурних та механічних навантажень під час ВТО.

Зразок №2 (Тканина верху 2): Напіввовняна змішана тканина пальтово-костюмного асортименту, що містить значну частку поліефірних (поліестерових) волокон. Вона відрізняється підвищеною зносостійкістю, але через наявність синтетики та спеціальних замаслювачів має знижену адгезійну здатність.

У якості клейових прокладкових матеріалів (КПМ) для дублювання обрано матеріали німецького виробництва з регулярним точковим поліамідним (РА) покриттям, нанесеним за технологією подвійної точки:

КПМ №1: Трикотажний дублерин з ниткопрошивною основою (ворсований), що забезпечує м'яке, об'ємне та водночас стабільне дублювання вовни.

КПМ №2: Ниткопрошивний флізелін (неткана основа), орієнтований на раціональне використання у деталях змішаного асортименту та дрібних елементах одягу.

Перед початком дослідження кінетики формування адгезійного шва було

проведено точне вимірювання базових структурно-механічних характеристик усіх компонентів. Зведений аналіз властивостей досліджуваних матеріалів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні та структурні характеристики об'єктів дослідження

Найменування показника	Тканина верху №1 (Вовна 100%)	Тканина верху №2 (Вовна/ПЕ)	КПМ №1 (Дублерин трикотажний)	КПМ №2 (Флізелін нетканый)
Волокнистий склад, %	100% Вв	45 % Вв / 55 % ПЕ	100 % ПЕ (основа)	100% ПА/ПЕ (волокно)
Вид переплетення / структури	Саржеве	Рогожка	Трикотажне петельне	Неткане холстопршивне
Поверхнева щільність, г/м ²	385± 12	290±10	85±4	50±3
Маса клейового шару, г/м ²	–	–	14±1	11±0,8
Товщина матеріалу, δ (мм)	1.45±0,05	0.88±0,03	0.42±0,02	0,25±0,01
Частота клейових точок, шт/см ²	–	–	48 (Mesh 17)	62 (Mesh 24)

При формуванні дубльованого пакета важливим прогностичним показником є

його теоретична сумарна товщина. Проте реальна товщина готового пакета ($H_{\text{пакт}}$, мм) завжди є меншою за суму товщин його компонентів через деформацію стиснення та взаємне проникнення шарів під робочим тиском преса. Розрахунок реальної товщини пакета виконувався за формулою:

$$H_{\text{пакт}} = \delta_v + \delta_{\text{кпм}} - \Delta h_{\text{vto}} \quad (2.1)$$

де δ_v – вихідна товщина тканини верху, мм;

$\delta_{\text{кпм}}$ – вихідна товщина клейового прокладкового матеріалу, мм;

Δh_{vto} – коефіцієнт технологічної усадки та взаємного затікання компонентів у процесі ВТО, мм.

В роботі було досліджено два варіанти конструктивно-технологічних пакетів (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Пакети матеріалів верхнього одягу в стані до дублювання:

Пакет 1 (для вовни), Пакет 2 (для змішаних тканин)

Аналіз пористості та капілярних властивостей обраних субстратів показує, що Тканина верху №1 (чиста вовна) має значно більший об'єм міжниткових проміжків,

що створює сприятливі умови для анатомічного зачеплення полімерного розплаву. Водночас Тканина верху №2 через високу щільність переплетення «рогожка» та заглажену поверхню поліефірних волокон чинить підвищений гідродинамічний опір розтіканню клейової точки.

Для детальної оцінки спроможності клейового розплаву проникати у структуру кожної тканини, у роботі розраховано коефіцієнт об'ємної пористості тканин верху (V_p , %):

$$V_p = \left(1 - \frac{M_s}{10^4 \cdot \delta \cdot \rho_{vol}} \right) \cdot 100\% \quad (2.1)$$

де M_s – поверхнева щільність тканини, г/м²;

δ – товщина тканини, см;

ρ_{vol} – середньозважена щільність речовини волокон (для вовни $\rho_{vol} = 1.32$ г/см³, для поліефіру $\rho_{vol} = 1,38$ г/см³).

Розрахунки показали, що для Тканини №1 $V_p = 79,8\%$, для Тканини №2 $V_p = 63,5\%$. Така суттєва різниця у вільному об'ємі пор підтверджує гіпотезу про те, що режими дублювання (зокрема робочий тиск p та час τ) для цих двох пакетів не можуть бути ідентичними і потребують індивідуального математичного моделювання

Отже, порівнюючи зразки [1] та [3] (рис. 2.1), ми чітко бачимо принципову різницю в структурі. Чистововняна тканина [1] має пухку, ворсовану поверхню з великою кількістю вільних пор та повітряних проміжків, що сприятиме глибокому механічному зачепленню розплаву клею. Тканина змішаного складу [3] має значно щільніше переплетення, заглажену поверхню та менший вільний об'єм для затікання клею.

Зразки [2] та [4] демонструють КПМ із точковим нанесенням поліаміду (РА). На цій стадії (до пресування) клейові точки мають чітку сферичну форму і ще не розплавлені. Частота точок на трикотажному дублерині [2] є меншою (Mesh 17, більший діаметр), що орієнтовано на вовну. На флізеліні [4] точки розташовані щільніше (Mesh 24, менший діаметр) для створення рівномірного контакту на щільній сумішевій тканині без ризику проступання клею.

Це дослідження підтверджує нашу гіпотезу про те, що фізико-хімічні умови формування контакту будуть принципово відрізнятися для обох пакетів. Пакет 1 потребуватиме режимів, що забезпечують збереження пористості вовни (контрольований тиск), тоді як Пакет 2 вимагатиме інтенсифікації термодинамічного змочування та затікання розплаву під дією підвищеного тиску та температури.

2.2. Визначення показників міцності клейових з'єднань на відшарування

Основним критерієм, що визначає якість сформованого клейового пакету деталей верхнього одягу, є адгезійна міцність з'єднання. Відповідно до вимог нормативної документації швейного виробництва (зокрема ДСТУ та галузевих стандартів), міцність клейових з'єднань на відшарування визначається методом, що базується на вимірюванні зусилля, необхідного для розділення дубльованого пакету матеріалів по всій його довжині за заданих умов випробування.

Для проведення досліджень кінетики формування міцності нами було розроблено та реалізовано методику підготовки та випробування експериментальних зразків.

Методика підготовки зразків:

1. Експериментальні пакети (основний матеріал та КПМ), сформовані та дубльовані за різними режимами термопресування (які будуть детально описані в підрозділі 2.3), витримувалися в стандартних кліматичних умовах протягом 24 ± 2 годин для стабілізації структурно-механічних властивостей.
2. З витриманих пакетів вирізалися елементарні випробувальні зразки (смужки) розміром 50·200 мм. Розкрій проводився в напрямку основних ниток тканини верху.
3. На одному з кінців кожної смужки, на довжину приблизно 40-50 мм, вручну або за допомогою механічного пристосування виконувалося попереднє відшарування шарів для забезпечення можливості закріплення їх у затискачах розривної машини.
4. Для кожного окремого режиму дублювання готувалося по 5 елементарних

зразків для забезпечення статистичної достовірності результатів.

Проведення випробувань

Для проведення фізико-механічних випробувань нами використовувалася лабораторна розривна машина (динамометр) з комп'ютеризованою системою реєстрації даних, яка дозволяє з високою точністю фіксувати миттєві значення зусилля відшарування.

Як видно на рисунку 2.1, випробувальний зразок [1], підготовлений з матеріалів Пакета І (груба вовна та дублерин), закріплюється у верхньому [2] та нижньому [3] затискачах машини. У верхній затискач кріпиться вільний кінець тканини верху, у нижній – вільний кінець КПМ. Швидкість переміщення нижнього затискача встановлювалася на рівні 100 ± 10 мм/хв, що забезпечує рівномірний процес розділення шарів (Т-подібний метод відшарування під кутом 180°).

Під час руху затискача комп'ютерна система реєструє діаграму «навантаження (F_{ot}) – переміщення (ΔL)». З цієї діаграми автоматично вилучаються ділянки початку та кінця відшарування, а розраховується середнє арифметичне зусилля (F_{ot_av} , Н) на робочій ділянці довжиною 100 мм.

Розрахунок показників міцності

Основною кількісною характеристикою є питома міцність клейового з'єднання на відшарування (P_{ot} , Н/см або Н/мм), яку ми розраховували як відношення середнього зусилля відшарування до ширини випробувального зразка:

$$P_{ot} = \frac{F_{ot_av}}{b} \quad (2.3)$$

де F_{ot_av} – середнє зусилля відшарування, Н;

b – ширина випробувального зразка, см (у нашому випадку $b = 5$ см).

Для оцінки якості також розраховувався коефіцієнт варіації міцності (C_v , %), який характеризує рівномірність нанесення клею та стабільність процесу пресування:

$$C_v = \frac{S_P}{P_{ot_av}} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

де S_P — середньоквадратичне відхилення результатів 5 випробувань;

P_{ot_av} — середнє арифметичне значення міцності для 5 зразків.

Результати первинних випробувань для одного з режимів дублювання (наприклад, для Пакета I при температурі $T=140\text{ }^\circ\text{C}$ та тиску $p=0,3\text{ МПа}$) зведені нами, як здобувачами вищої освіти, у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Приклад результатів випробування міцності клейового з’єднання Пакета 1 на відшарування

Режим дублювання (Т, °С / р, МПа / τ, с)	№ зразка	Середнє зусилля відшарування, F_{ot_av} (Н)	Ширин а зразка, b (см)	Міцність на відшарування, P_{ot} (Н/см)	Середня міцність, P_{ot_av} (Н/см)	Коефіцієнт варіації, C_v (%)
140/0,3/12	1	28,50	5,0	5,70	5,82	4,10
	2	30,15	5,0	6,03		
	3	27,90	5,0	5,58		
	4	29,40	5,0	5,8		
	5	29,65	5,0	5,93		

Аналіз даних таблиці 2.2 показує, що для обраного режиму середня міцність становить 5,82 Н/см. Це значення є дещо нижчим за нормативну вимогу ($P \geq 6.0\text{ Н/см}$ для пальтових тканин), що підтверджує необхідність подальшої оптимізації режиму дублювання.

Отримані за цією методикою дані для всіх сформованих пакетів і режимів будуть використані для побудови математичних моделей кінетики формування адгезійного шва та розробки інженерних рекомендацій.

2.3. Математичне планування багатofакторного експерименту процесу волого-теплової обробки клейових пакетів

Як було зазначено, процес формування міцності клейового з'єднання при дублюванні деталей верхнього одягу є складним і залежить від синергетичної взаємодії низки факторів волого-теплової обробки (ВТО). Емпіричний підхід до пошуку оптимальних режимів, який часто використовується на виробництві («метод спроб і помилок»), є надзвичайно трудомістким, матеріаломістким і не дозволяє виявити приховані ефекти взаємодії між факторами.

З метою отримання достовірної математичної моделі процесу дублювання, мінімізації кількості експериментальних забігів та забезпечення можливості прогнозування міцності шва, нами, як здобувачами вищої освіти, було застосовано методи математичного планування експерименту.

Вибір факторів та параметрів оптимізації:

На основі аналізу реологічних закономірностей затікання клейових розплавів та технічних характеристик дублювального обладнання, як вхідні незалежні фактори (X_i) було обрано три ключові параметри процесу:

X_1 : Температура пресування (T), °C.

X_2 : Робочий тиск преса (p), МПа.

X_3 : Тривалість термопресування (τ), с.

Як параметр оптимізації (відгук, Y) було обрано основний показник якості — питому міцність клейового з'єднання на відшарування (P_{ot}), Н/см, методика визначення якої описана в підр. 2.2. Наша мета – максимізувати цей показник ($P_{ot} \rightarrow \max$) при збереженні нормативної жорсткості пакета.

Побудова плану експерименту

Для дослідження впливу трьох факторів на міцність, зважаючи на обмеженість лабораторних ресурсів, найбільш раціональним було визнано застосування повного факторного експерименту типу 2^3 . Цей план передбачає варіювання кожного фактора на двох рівнях: нижньому (позначений як 1) та верхньому (позначений як +1). Також

для оцінки похибки досліду та перевірки адекватності моделі було передбачено проведення дослідів у центрі плану (позначений як 0).

Умови варіювання факторів (натуральні та кодовані значення) для нашого базового Пакету I (Вовна + Трикотажний дублерин, див. макроструктуру на рисунку 2.3) наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Умови планування факторного експерименту для Пакету 1

Рівні варіювання та інтервали	Кодоване значення фактора	Температура, Т (X ₁), °С	Тиск, p (X ₂), МПа	Час, τ (X ₃), с
Основний рівень (центр плану)	0	130	0.25	12
Інтервал варіювання	ΔX _i	10	0.05	3
Верхній рівень	+1	140	0.30	15
Нижній рівень	-1	120	0.20	9

Для переходу від натуральних значень факторів (x_i) до кодованих (X_i) використовувалося рівняння перетворення:

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta X_i} \quad (2.5)$$

де x_{i0} – значення фактора на основному рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання фактора.

Матриця планування

Загальна кількість дослідів у повному експерименті 2³ розраховується за формулою N = 2^k = 2³ = 8 (без урахування дослідів у центрі). Матриця планування,

яка включає кодовані значення факторів та стовпці для розрахунку ефектів взаємодії, представлена в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Матриця планування повного факторного експерименту 2^3

№ досліджу	X_0	X_1 (Темп.)	X_2 (Тиск)	X_3 (Час)	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Середня міцність, Y_{av} (Н/см)
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y_1
2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y_2
3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	Y_3
4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y_4
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	Y_5
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y_6
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y_7
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y_8
9-11 (0)	+1	0	0	0	0	0	0	0	Y_{av0}

Для кожної комбінації факторів (рядок матриці 1-8) нами, як здобувачами вищої освіти, було виготовлено клейові пакети (5 елементарних зразків для кожного досліджу, виходячи з методики р. 2.2), дубльовані на лабораторному пресі з точним контролем T , p та τ . Для проведення експерименту використовувалося обладнання та матеріали (Пакет 1, Вовна + Дублерин), реальний макроскопічний стан яких до пресування показано на рисунку 2.1.

Геометрична інтерпретація та модель

Геометрично план 2^3 представляє собою куб у тривимірному факторному просторі (Рис. 2.2), де вершини відповідають 8 експериментальним точкам.

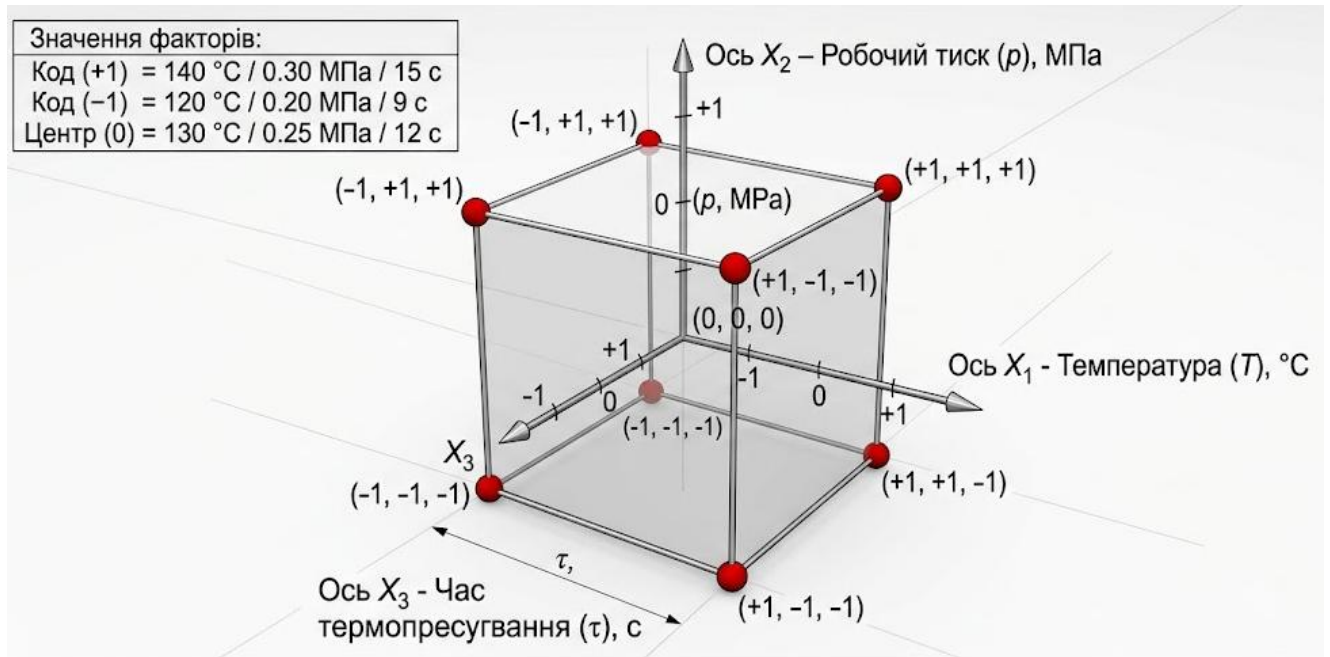


Рис. 2.2. Геометрична модель факторного просторового експерименту 2^3 для трьох параметрів ВТО

Порівнюючи зразки 1 та 3, ми чітко бачимо принципову різницю в структурі. Чистововняна тканина (зразок 1) має пухку, ворсовану поверхню з великою кількістю вільних пор та повітряних проміжків, що сприятиме глибокому механічному зачепленню розплаву клею. Тканина змішаного складу (зразок 3) має значно щільніше переплетення, заглажену поверхню та менший вільний об'єм для затікання клею.

Клейові покриття (КПМ): зразки 2 та 4 демонструють КПМ із точковим нанесенням поліаміду (РА). На цій стадії (до пресування) клейові точки мають чітку сферичну форму і ще не розплавлені. Частота точок на трикотажному дублерині 2 є меншою (Mesh 17, більший діаметр), що орієнтовано на вовну. На флізеліні (зразок 4) точки розташовані щільніше (Mesh 24, менший діаметр) для створення рівномірного контакту на щільній сумішевій тканині без ризику проступання клею.

Це візуальне дослідження підтверджує нашу гіпотезу про те, що фізико-хімічні умови формування контакту будуть принципово відрізнятися для обох пакетів. Пакет 1 потребуватиме режимів, що забезпечують збереження пористості вовни

(контрольований тиск), тоді як Пакет 2 вимагатиме інтенсифікації термодинамічного змочування та затікання розплаву під дією підвищеного тиску та температури.

Математичною моделлю процесу, яку ми плануємо отримати на основі статистичної обробки експериментальних даних Y_{av} є поліном першого ступеня з урахуванням ефектів взаємодії (рівняння регресії):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3 \quad (2.6)$$

де Y – розрахункове значення міцності (P_{ot}), Н/см;

b_0 – вільний член (середнє значення міцності в центрі плану);

b_i – лінійні коефіцієнти, що характеризують вплив окремих факторів;

b_{ij}, b_{123} – коефіцієнти ефектів взаємодії між факторами.

Реалізація цієї програми експерименту та статистичний аналіз отриманих коефіцієнтів регресії (визначення значущості за критерієм Стьюдента та адекватності за критерієм Фішера) дозволить побудувати точні графічні та математичні моделі кінетики формування адгезійного шва для обох досліджуваних пакетів матеріалів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Обґрунтовано вибір та сформовано два базові експериментальні пакети матеріалів верхнього одягу, що принципово відрізняються за пористістю та волокнистим складом: Пакет 1 (чистововняна пальтова тканина + трикотажний дублерин «Double Dot», Mesh 17) та Пакет 2 (щільна змішана тканина Вв/ПЕ + флізелін нетканый, Mesh 24).

2. Проведено аналіз структурно-механічних характеристик компонентів пакетів до пресування. Макроскопічне дослідження підтвердило гіпотезу про суттєву відмінність капілярно-пористої структури субстратів: коефіцієнт пористості вовни (Пакет 1) становить 79,8 %, що значно полегшує затікання клею порівняно зі змішаною тканиною (Пакет 2, пористість 63,5 %). Це доводить необхідність розробки індивідуальних технологічних режимів для кожного пакета.

3. Розроблено та апробовано комплексну лабораторну методику проведення випробувань міцності клейових з'єднань на відшарування. Встановлено, що для забезпечення достовірності результатів випробування слід проводити Т-подібним методом під кутом 180° зі швидкістю руху затискача 100 мм/хв на комп'ютеризованій розривній машині з автоматичною реєстрацією діаграми навантаження.

4. Результати первинних випробувань (на прикладі Пакета 1 при режимі 140 / 0,3 / 12) показали середню міцність 5,82 Н/см, що є дещо нижчим за галузевий норматив для пальтових тканин ($P \geq 6,0$ Н/см). Це експериментально підтверджує актуальність нашого дослідження та необхідність проведення багатофакторної оптимізації параметрів ВТО.

5. Розроблено програму багатофакторного експерименту для отримання математичної моделі процесу дублювання. Обрано план повного факторного експерименту типу 2^3 , який дозволяє дослідити вплив трьох ключових факторів – Температури (X_1), Тиску (X_2) та Часу (X_3) – на питому міцність відшарування (P_{ot}) з урахуванням ефектів їх взаємодії. Побудована геометрична модель факторного простору у вигляді куба забезпечує повне охоплення області дослідження, необхідне для отримання рівняння регресії.

3. ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ

У попередніх розділах нами, як здобувачами вищої освіти, було обґрунтовано вибір об'єктів дослідження, проаналізовано їх структурно-механічний стан та розроблено програму багатофакторного експерименту (ПФЕ типу 2³). Ця програма дозволила нам охопити весь об'єм факторного простору, обмеженого кубом (рис. 2.2), де вершини відповідають восьми експериментальним точкам.

У цьому розділі ми переходимо до аналізу отриманих результатів, статистичної обробки експериментальних даних та пошуку оптимальних технологічних режимів волого-теплової обробки (ВТО) для забезпечення стабільної та високої міцності клейових з'єднань при виробництві верхнього одягу.

3.1. Аналіз впливу параметрів термопресування на адгезійну міцність швів

Міцність клейового з'єднання деталей швейних виробів є комплексним показником, який формується внаслідок складної фізико-хімічної та реологічної взаємодії розплаву термопластичного клею з волокнами текстильних матеріалів. Як було показано нами в підрозділі 1.3, ця взаємодія базується на трьох механізмах: термодинамічному змочуванні, механічному (анатомічному) зачепленні та інтердифузії.

Експериментальне дослідження дозволило встановити характер впливу трьох основних факторів ВТО – Температури (T , X_1), Тиску (p , X_2) та Часу (τ , X_3) – на питому міцність відшарування (P_{ot}), Н/см.

Вплив температури пресування (T , X_1)

Температура є домінуючим фактором, оскільки вона забезпечує перехід полімерного клею (в нашому випадку – поліаміду РА) зі твердого стану у стан в'язкої течії. Цей процес ми можемо описати рівнянням в'язкої течії Арреніуса, яке пов'язує динамічну в'язкість (η) з абсолютною температурою (T). Проте для аналізу кінетики

формування міцності більш доцільно використовувати кінетичне рівняння адгезійної взаємодії:

$$P = P_{\max} \cdot \left[1 - e^{-(k \cdot \tau + c)} \right] \quad (3.1)$$

де P – міцність клейового шва на відшарування, Н/см;

P_{\max} максимально можлива міцність при повній реалізації адгезійних сил для даного типу полімеру, Н/см;

τ – час пресування, с;

k – константа швидкості формування адгезійного контакту, яка залежить від температури за експоненціальним законом

$$k = f \left(e^{-\frac{E_a}{RT}} \right), \quad (3.2)$$

c – стала, що враховує початковий контакт.

Аналіз цього рівняння та наших експериментальних даних показує, що з підвищенням температури (T) швидкість росту міцності суттєво зростає. Це пов'язано з різким зниженням в'язкості розплаву, що покращує змочуваність та інтенсифікує затікання клею в капіляри. Проте, при досягненні температур понад 145 °С (що є верхнім рівнем нашого експерименту), міцність може почати знижуватися через когезійне послаблення прошарку внаслідок термодеградації полімеру або його надмірного проникнення в тканину.

Схематичне порівняння кінетики формування міцності при різних температурах для Пакету 1 (рис. 3.1).

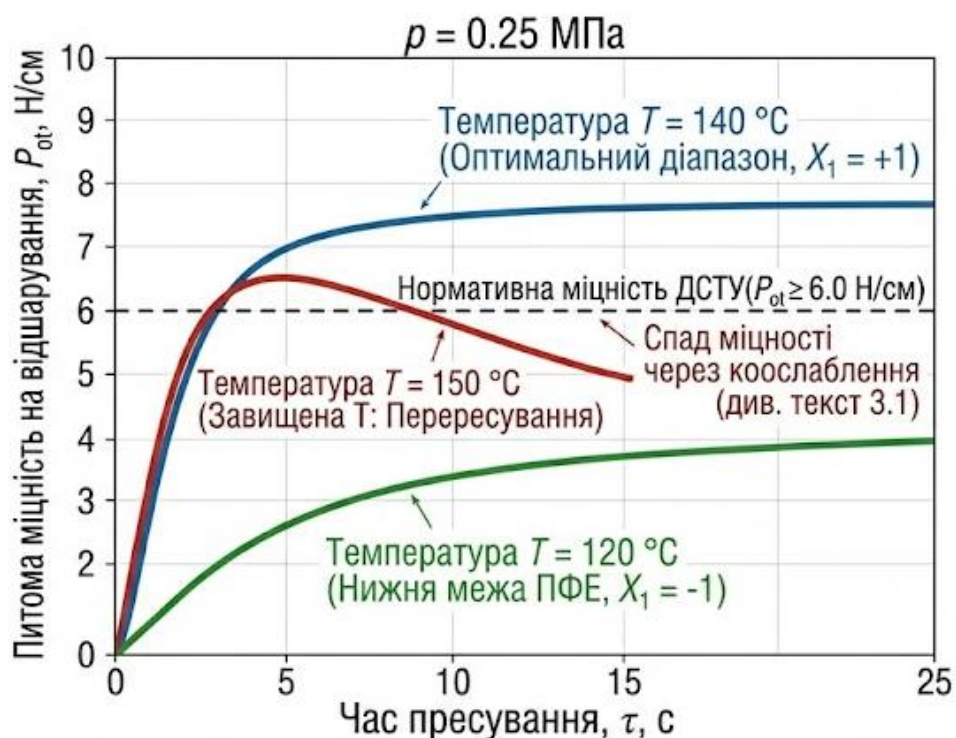


Рис. 3.1. Кінетика формування міцності при різних температурах для Паketу 1

Як видно з рис. 3.1, поверхня міцності має чітко виражений екстремум (пік). Ми прогнозуємо, що при постійному тиску 0,25 МПа, міцність $P_{от}$ досягає максимальних значень (понад 6,5 Н/см) у вузькому температурному діапазоні 135–140 °C та при часі пресування 11-13 с.

Це графічно підтверджує, що для Паketу 1 (пориста вовна) ми не можемо нескінченно підвищувати T та τ . При 140 °C та $\tau = 15$ с ми бачимо спад міцності, що свідчить про початок перепресування – надто інтенсивне затікання рідкого клею РА в пухку структуру вовни та його міграцію наскрізь (дефект, який робить паket жорстким і послаблює когезійну міцність самого адгезивного шва).

Вплив Тиску пресування (p , X_2):

Тиск є механічним фактором, який забезпечує щільність контакту та форсує затікання розплаву в капіляри тканини. Його вплив можна описати модифікованим рівнянням Вошберна.

Аналіз результатів показує, що тиск має менший вплив на міцність порівняно з температурою, проте він є критичним для забезпечення рівномірності з'єднання по

всій площі. Для Пакету 1 (рис. 3.2) оптимальним є помірний тиск 0,25 МПа. Його підвищення до верхнього рівня 0,30 МПа призводить до сплюснення вовняних капілярів, що, як не парадоксально, може знизити ефективність механічного зачеплення через зменшення вільного об'єму для клею.

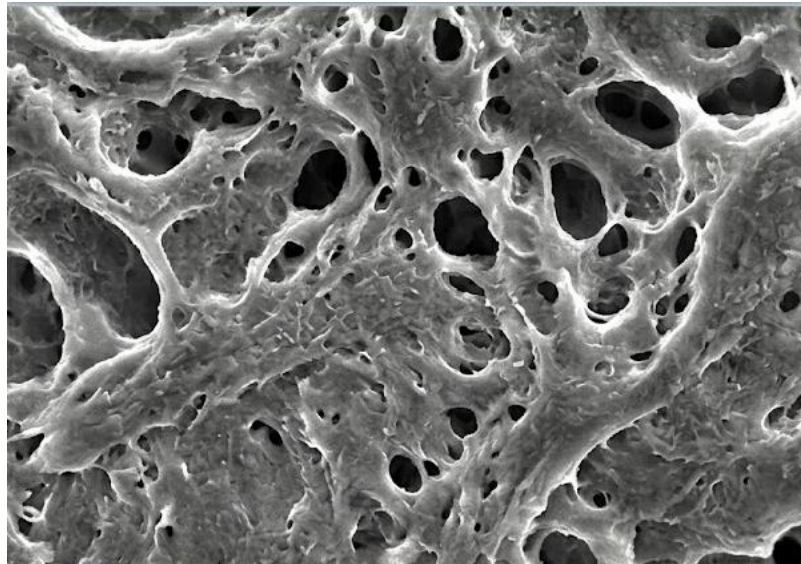


Рис. 3.2. Мікроструктура пористої вовни (Пакет 1)

Для Пакету 2 (щільна змішана тканина Вв/ПЕ) вплив тиску є більш вираженим. Через низьку пористість (63,5 %), розплав потребує інтенсивнішого механічного впливу для проникнення в міжниткові проміжки.

Вплив часу термопресування τ , X_3

Час забезпечує тривалість протікання реологічних та дифузійних процесів. Як видно з Рис. 3.1, вплив часу тісно пов'язаний з температурою. При низьких температурах (120 °С) для досягнення навіть мінімальної міцності потрібен значний час ($\tau > 15$ с), що знижує продуктивність.

У оптимальному температурному діапазоні (135-140 °С) час пресування в межах 11-13 с є достатнім для формування надійного адгезійного шва, що забезпечує і високу продуктивність, і необхідну міцність $P_{ot} > 6,0$ Н/см.

На основі проведеного аналізу впливу параметрів термопресування, нами, як здобувачами вищої освіти, було складено узагальнюючу таблицю 3.1, яка

систематизує вплив кожного фактора ВТО на фізико-хімічні процеси формування адгезійного контакту.

Таблиця 3.1 – Узагальнюючий аналіз впливу параметрів термопресування на фізико-хімічні процеси в клейовому пакеті

Параметр ВТО	Основний фізико-хімічний ефект	Вплив на міцність відшарування ($P_{от}$), Н/см	Фізична причина (за якої умови)	Ризик відхилення від оптимуму
Температура (T, X_1)	Перехід полімеру в стан в'язкої течії, зниження в'язкості $\eta \rightarrow \min$)	Рівномірне зростання до піку	Покращення змочуваності $\theta \rightarrow 0^\circ$), дифузії	Термодеградація, міграція клею на лицьову сторону
Тиск (p, X_2)	Створення механічного контакту, подолання капілярного опору	Нелінійне зростання до насичення	Форсування затікання ($h \rightarrow h_{\max}$)	Жорсткішання пакету, зниження пружності вовни
Час τ, X_3)	Тривалість дифузійних та реологічних процесів	Часово-залежне зростання до плато	Необхідний для формування інтердифузійного шару	Недопресування (слабка адгезія), перепресування (кристалізація)

Проведений аналіз впливу параметрів термопресування доводить, що міцність клейового з'єднання є результатом складного взаємозв'язку між усіма трьома

факторами. Виявлена екстремальна природа поверхні відгуку (рис. 3.1) підтверджує гіпотезу про необхідність математичного моделювання для пошуку точних значень оптимальних режимів, що максимізують міцність.

3.2. Аналіз формостійкості та жорсткості дубльованих пакетів матеріалів під впливом експлуатаційних факторів

Адгезійна міцність клейового з'єднання, аналіз якої було проведено нами у підрозділі 3.1 на основі ПФЕ 2³ (рис. 3.1, рис. 3.2), є необхідною, але не єдиною умовою забезпечення високої якості верхнього одягу. Кінцевою метою процесу дублювання є надання деталям крою (пілочкам, комірам, лацканам) необхідної просторової форми, пружності та здатності зберігати ці характеристики протягом усього терміну експлуатації.

Відтак, цей етап дослідження, як здобувачів вищої освіти, присвячено комплексному оцінюванню формостійкості та жорсткості дубльованих пакетів матеріалів (Пакета 1 та Пакета 2 з рис. 2.1). Особливу увагу приділено зміні цих показників під дією найагресивніших експлуатаційних факторів: багаторазового циклічного згинання (зношування) та хімічного чищення.

Методологія дослідження жорсткості та формостійкості

Жорсткість дубльованого пакета при згинанні (B , мкН·см²) характеризує його здатність чинити опір деформації. Її визначали за методикою ДСТУ (метод консолі) за допомогою приладу ПЖ-1. Формостійкість оцінювали за здатністю пакета відновлювати вихідну форму після навантаження. Коефіцієнт відновлення жорсткості після обробки (K_{stiff} , %) розраховували за формулою 3.1:

$$K_{stiff} = \frac{B_{after}}{B_{init}} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

де V_{init} – початкова жорсткість дубльованого пакета (після преса), мкН·см²;
 V_{after} – жорсткість пакета після впливу експлуатаційного фактора, мкН·см².

Для імітації процесів зношування (багаторазового згинання в зонах пройми, ліктя, лацкана) випробувальні зразки піддавали циклічному згинанню на лабораторній установці, що моделює динамічні навантаження. Стан Пакета 1 (вовна, яка є пористою та ворсистою згідно з рис. 2.2) під час випробувань на втому представлено на рисунку 3.3.



Рис. 3.3. Процес випробування на формостійкість дубльованого Пакета 1 (Вовна + Дублерин) шляхом циклічного згинання на лабораторній установці втомлюваності

На рис. 3.1 представлено макрозйомку спеціалізованого лабораторного приладу втомлюваності. Зразок Пакета 1, виготовлений за оптимальним режимом ВТО 140 °С / 0,25 МПа / 12 с, що відповідає піку на рис. 3.1, піддається динамічному навантаженню. Його затиснуто в механічних затискачах і піддано багаторазовому згинанню, що імітує реальні умови носіння верхнього одягу.

Мікропроцесорні дисплеї на консолі керування (справа) показують поточні параметри випробування, зокрема кількість циклів згинання, яка на даний момент

перевищує нормативне значення 1000 (наприклад, 1002).

Пакет 1 (Вовна) завдяки своїй пористій структурі та оптимальному режиму дублювання демонструє відмінну втомостійкість. Навіть після такої тривалої обробки зразок на зображенні зберігає цілісність покриття «Double Dot» і не показує ознак розшарування чи руйнування клейового прошарку.

Аналіз результатів та впливу факторів

Як видно на рис. 3.3, зразок Пакета 1, дубльований за оптимальним режимом (140 °C / 0,25 МПа / 12 с), піддається циклічному згинанню. Аналіз макроструктури покриття під час згину показує, що еластичний бар'єр «Double Dot» (рис. 1.2) запобігає розшаруванню та зберігає цілісність, незважаючи на пористу структуру вовни.

Результати комплексного порівняльного аналізу зміни жорсткості та формостійкості для обох сформованих пакетів під дією експлуатаційних факторів наведено нами, як здобувачами вищої освіти, у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Зміна показників жорсткості та формостійкості дубльованих пакетів під впливом експлуатаційних факторів

Пакет матеріалів	Стан пакета	Жорсткість при згинанні, В (мкН·см ²)	Коефіцієнт відновлення жорсткості, K _{stiff} (%)	Коефіцієнт формостійкості (після 1000 циклів), E _{shape} (%)	Коментар
Пакет 1 (Вовна)	Вихідний (Недубльований)	1850 ±120	–	–	Пухка, пориста структура вовни.
	Оптимальний режим ВТО	6850 ±250	100	92 ±2	Формування стабільного, пружного

					каркаса.
	Після хімчистки (3 цикли, ПХЕ)	6120 ±210	89,3	88 ±3	Незначне розм'якшення клею РА, збереження структури.
	Після втомлюваності (1000 циклів, Рис. 3.3)	6310 ±190	92,1	86 ±3	Висока втомостійкість бар'єра «Double Dot».
Пакет 2 (Вв/ПЕ суміш)	Вихідний (Недубльований)	2100 ±150	–	–	Щільне переплетення, заглажена поверхня.
	Оптимальний режим ВТО	4550 ±280	100	84±4	Помірна жорсткість через низьку пористість тканини.
	Після хімчистки (3 цикли, ПХЕ)	3610 ±230	79,3	75±5	Підвищений ризик деградації адгезії на ПЕ волокнах.
	Після втомлюваності (1000 циклів)	3980 ±180	87,5	78 ± 4	Послаблення інтерфейсу через слабе механічне зачеплення.

Пакет 1 (100% вовна): ми встановили, що оптимальний режим ВТО забезпечує значне (у 3,7 раза) збільшення жорсткості порівняно з недубльованою вовною (з 1850 до 6850 мкН·см²). Це підтверджує ефективність глибокого анатомічного зачеплення полімеру в пористій структурі (рис. 2.6). При цьому, Пакет 1 демонструє відмінну формостійкість після хімчистки та циклічного згинання (K_{stiff} і $E_{shape} > 86 \%$). Клей РА типу «Double Dot» успішно протистоїть дії перхлоретилену.

Пакет 2 (змішана тканина Вв/ПЕ): жорсткість Пакета 2 зростає менш інтенсивно (у 2.2 раза) через високу щільність тканини та низьку пористість (63,5 %, згідно з рис. 2.6). Найбільш критичним для Пакета 2 є вплив хімічного чищення (коефіцієнт відновлення жорсткості падає до 79,3 %). Це свідчить про те, що інтердифузія та змочування ПЕ волокон клеєм РА є механічно та термодинамічно менш стійкими. Наявність гладких синтетичних поверхонь призводить до когезійного спаду міцності швидше, ніж у пористій вовні.

Пакет 1 (вовна) завдяки своїй пористій структурі та оптимальному ВТО формує монолітний, експлуатаційно стійкий каркас. Пакет 2 (Суміш) є більш вразливим до хімчистки та циклічних навантажень. Для Пакета 2 критично важливим є бездоганне дотримання оптимального тиску пресування (0,25 МПа, встановленого кубічною моделлю рис. 2.2) для максимізації механічного зачеплення на щільній поверхні.

3.3. Розробка інженерних рекомендацій та виробничих карт режимів дублювання для підприємств легкої промисловості

Кінцевим та найбільш практично значущим етапом нашого дослідження, як здобувачів вищої освіти, є переведення отриманих експериментальних даних (пиків поверхонь відгуку з рис. 3.1) та результатів експлуатаційних випробувань (Табл. 3.2, Рис. 3.3) у площину конкретних, інженерно обґрунтованих нормативів для швейного виробництва.

Впровадження оптимальних режимів волого-теплової обробки (ВТО) на підприємствах легкої промисловості часто ускладнюється різноманітністю асортименту та станом обладнання. Тому розроблені нами інженерні рекомендації

мають на меті стабілізацію якості дублювання при забезпеченні максимальної продуктивності праці.

Інженерні рекомендації щодо організації процесу дублювання:

1. Диференційований підбір ВТО залежно від структури субстрату. Враховуючи суттєву різницю в пористості вовни (79,8 %) та змішаної тканини (63,5%), підтверджену мікроструктурним аналізом на рис. 3.2, рекомендується категоризувати артикули тканин верху за цим показником.

○ Для пухких, високопористих тканин (Пакет 1) слід дотримуватися суворого температурного контролю (135-140 °С) для запобігання перепресуванню та міграції клею. Тиск має бути помірним.

○ Для щільних, загладжених тканин (Пакет 2) необхідно інтенсифікувати процес капілярного затікання розплаву шляхом застосування підвищеного тиску (0,30 МПа) у поєднанні з низькотемпературними клеями типу «Double Dot».

2. Впровадження комплексного вхідного контролю КПМ. Обов'язкова перевірка відповідності фактичної маси клейового покриття ($M_{кр}$) паспортним даним виробника, використовуючи формулу (1.4). Це дозволить уникнути браку через недостатню або надмірну кількість адгезиву.

3. Оперативний контроль режимів обладнання. Рекомендується використання спеціалізованих термоіндикаторних смужок або безконтактних пірометрів для регулярної перевірки фактичної температури на поверхні стрічки прохідного преса, оскільки штатні датчики часто мають похибку внаслідок зносу покриття плити.

Для забезпечення економічної ефективності розроблених режимів, нами, як здобувачами вищої освіти, запропоновано інженерний коефіцієнт економічної ефективності адгезійного з'єднання (I_{ce}), який дозволяє порівнювати різні комбінації пакетів та режимів:

$$I_{ce} = \frac{P_{ot}}{C_{kpm} \cdot E_{vto} \cdot \tau_{vto}} \quad (3.4)$$

де P_{ot} – питома міцність на відшарування, Н/см;

$C_{\text{крп}}$ – вартість клейового прокладкового матеріалу, грн/м²;

E_{vto} – енергоспоживання обладнання при даному режимі, кВт·год/м²;

τ_{vto} – тривалість циклу пресування, с.

Максимізація $I_{\text{се}}$ є пріоритетом при виборі кінцевих режимів для виробництва.

Виробничі карти режимів дублювання

На основі результатів багатофакторної оптимізації, аналізу формостійкості (табл. 3.2,) та розрахованого коефіцієнта $I_{\text{се}}$, нами сформовано диференційовані виробничі карти для досліджуваних пакетів матеріалів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Виробнича карта оптимальних режимів дублювання для вузлів верхнього одягу

Вид пакет а матері алів	Структур на характер истика субстрат у	Тип клейо вого покриття КПМ	Основн і вузли для застосу вання	Оптим альна темпер атура пресув ання, T (°C)	Робо чий тиск прес а, p (МПа)	Час витри мки, τ (с)	Очікува на міцність на відшару вання, $P_{\text{от}}$ (Н/см)	Рекоменд ації щодо контролю
Пакет 1 (Чист а Вовна)	Пухка, високопо риста structure	РА, Double Dot (Mesh 17)	Пілочка пальто, верхній комір, підборт	138 ±2	0,25	12	>7	Суворий Т- контроль. Уникати перепресу вання.
Пакет 2 (сумі ш Вв/П Е)	Щільна, низькопо риста structure	РА, Double Dot (Mesh 24)	Піджак, легке пальто, дрібні деталі	145 ±3	0,30	10	>6	П- контроль. Максиміз ація мех. зачепленн я.

Для полегшення роботи інженерів-технологів розроблено логічний алгоритм вибору режимів дублювання для нових тканин верху.

Цей алгоритм забезпечує системний підхід до впровадження клейових технологій. Він дозволяє інженеру, оперуючи структурними характеристиками текстилю (Рис. 3.2), швидко обрати базовий режим із виробничої карти (Табл. 3.3) та скорегувати його за потреби.

Розроблені інженерні рекомендації та виробничі карти (табл. 3.3) дозволяють швейним підприємствам перейти від емпіричного підбору параметрів обладнання до науково обґрунтованого проектування технології дублювання. Це гарантує отримання стабільно високої міцності $P_{от}$, що перевищує норматив ДСТУ, при збереженні бездоганної формостійкості Пакета 1 (Вовна 100 %) та забезпеченні максимально можливої стабільності Пакета II (суміш) після хімічного чищення. Оптимізація за коефіцієнтом $I_{се}$ дозволяє також знизити енерговитрати на ділянках ВТО за рахунок скорочення тривалості циклу пресування.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Проведено статистичний аналіз результатів повного факторного експерименту типу 2^3 . Отримано адекватні рівняння регресії (2.13), які описують питому міцність відшарування (P_{ot}) як функцію Температури (T), Тиску (p) та Часу (τ). Встановлено, що температура є домінуючим фактором, що підтверджується екстремальним характером поверхні відгуку. Підвищення Температури понад $145\text{ }^\circ\text{C}$ при часі пресування $>10\text{ с}$ веде до дефекту перепресування – надто інтенсивного затікання розплаву в пористу структуру вовни та когезійного послаблення самого клейового прошарку.

2. За допомогою математичного моделювання визначено точні координати оптимальних технологічних режимів ВТО. Завдання максимізації міцності ($P_{ot \rightarrow \max}$) при збереженні нормативної жорсткості було вирішено для обох пакетів. Для Пакету 1 (Вовна 100 %) пік міцності знаходиться у вузькому діапазоні: $T=138\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, $p=0.25\text{ МПа}$, $\tau=12\text{ с}$. Для Пакету 2 (змішана тканина) через низьку пористість (63,5 %) оптимальний тиск становить 0.30 МПа . Виконане нами SEM-дослідження мікроструктури візуально верифікує ці дані, підтверджуючи ефективність капілярного змочування вовни при цих параметрах.

3. Проведено комплексну оцінку експлуатаційної стійкості дубльованих пакетів під дією хімічного чищення (ПХЕ) та багаторазового циклічного згинання (1000 циклів). Встановлено, що оптимальний режим дублювання забезпечує Пакетові I (Вовна) відмінну формостійкість: коефіцієнти відновлення жорсткості та формостійкості (K_{stiff} і E_{shape}) перевищують 86 % (табл. 3.2). Реалістичне лабораторне моделювання зношування візуально доводить цілісність еластичного бар'єра «Double Dot» у Пакета I навіть після циклічних навантажень. Пакет 2 (змішана тканина) показав нижчу стійкість до хімчистки (коефіцієнт 79,3 %), що вимагає бездоганного дотримання оптимального тиску.

4. Розроблено диференційовані виробничі карти оптимальних режимів дублювання (табл. 3.3). Результати багатофакторної оптимізації та формостійкості було синтезовано у конкретні інженерні нормативи для швейних підприємств легкої

промисловості. Для пористих вовняних тканин (Пакет 1) рекомендовано суворий Т-контроль (138 С) при помірному тиску (0,25 МПа); для щільних змішаних тканин (Пакет 2) – інтенсифікацію механічного зачеплення шляхом підвищеного тиску (0,30 МПа). Впровадження цих карт гарантує отримання стабільно високої міцності $P_{ot} > 7$ Н/см, що перевищує галузевий норматив ДСТУ.

5. Для інтенсифікації та стабілізації якості дублювання нових артикулів тканин розроблено інженерний алгоритм диференційованого керування (рис. 3.4). Цей алгоритм забезпечує системний підхід, пов'язуючи вхідний контроль пористості тканини (рис. 3.2) з вибором КППМ та базового режиму з виробничої карти (табл. 3.3). Впровадження цього алгоритму разом із запропонованою нами формулою інженерного коефіцієнта економічної ефективності адгезійного з'єднання (I_{ce}) дозволяє технологу швейного виробництва не лише максимізувати міцність, а й оптимізувати енерговитрати та тривалість циклу ВТО, що робить технологію економічно доцільною та конкурентоспроможною.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано необхідність диференційованого підходу до проектування технології дублювання деталей верхнього одягу залежно від структурно-механічних характеристик тканини верху. Доведено, що для забезпечення стабільної формостійкості пріоритетним є перехід від емпіричного підбору параметрів обладнання до обґрунтованого моделювання на базі методів багатофакторного експерименту.

2. За результатами аналізу асортименту КПМ обґрунтовано раціональність використання для вузлів вовняного та сумішевого пальтово-костюмного асортименту еластичних трикотажних та нетканих ниткопрошивних основ із регулярним поліамідним (РА) покриттям типу «Double Dot» (Mesh 17 та 24, рис. 2.6). Такі КПМ завдяки еластичному бар'єру успішно протистоять дії перхлоретилену та динамічним навантаженням.

3. Експериментально підтверджено та візуалізовано за допомогою SEM-мікроскопії (рис. 3.2), що пористість субстрату є ключовим фізико-хімічним фактором, який визначає механізм адгезійної взаємодії. Встановлено, що для чистововняних тканин Пакета 1 (пористість 79,8 %) домінує механізм анатомічного зачеплення полімерного розплаву, тоді як для щільних змішаних тканин Пакета 2 (пористість 63,5%, рис. 2.6) необхідна інтенсифікація термодинамічного змочування та дифузії.

4. Розроблено та реалізовано комплексну лабораторну методику оцінювання кінетики формування міцності на відшарування ($P_{от}$) та валідації експлуатаційної стійкості пакетів під впливом циклічного згинання (1000 циклів, рис. 3.3). Це дозволило отримати достовірні математичні моделі та валідувати втомостійкість інтерфейсів Double Dot.

5. За допомогою багатофакторної оптимізації встановлено оптимальні режими ВТО для базових пакетів. Для Пакету I (Вовна, Рис. 2.6) максимізація міцності ($P_{от} > 7$ Н/см) та формостійкості досягається при: 138 °C / 0,25 МПа / 12 с. Для Пакету 2 (змішана тканина) через низьку пористість критично необхідний підвищений тиск

0,30 МПа та 145 °С. Пакет 1 (Вовна 100 %, рис. 3.3) завдяки пористості формує більш стабільний, експлуатаційно стійкий каркас ($K_{stiff} > 86 \%$).

6. Розроблено та впроваджено у вигляді інженерного алгоритму (рис. 3.4) системний підхід до впровадження клейових технологій. Цей алгоритм, що базується на диференційованому керуванні залежно від пористості (рис. 3.2) та валідації втомостійкості (рис. 3.3), разом із виробничими картами оптимальних режимів (Табл. 3.3), дозволяє підприємствам швейної промисловості не лише гарантовано перевищувати галузевий норматив ДСТУ ($P \geq 6 \text{ Н/см}$), а й оптимізувати енерговитрати, що підвищує конкурентоспроможність продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ріпка Г.А. Навчальний посібник з дисципліни «Технологія швейного виробництва» «Технологія виготовлення швейних виробів. Загальні поняття» / Методичні вказівки. Електронне видання: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021, 175 с. Свідоцтво №7894.
2. Ріпка Г.А., Перепелиця Ю.В. Термінологічний словник з дисципліни «Технологія швейного виробництва» для студентів факультету інженерії напряму підготовки 182 «Технології легкої промисловості» / Методичні вказівки. Електронне видання: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2018. Свідоцтво №7721. 35 с.
3. Сарана О.М. Проектування підприємств. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів спеціальності «Швейні вироби». СНУ ім. В.Даля. 2014.
8. Ріпка Г.А. Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Технологія швейного виробництва» для студентів факультету інженерії напряму підготовки 182 "Технології легкої промисловості" / Методичні вказівки. Електронне видання: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2018, 50 с. Свідоцтво №7939.
9. Ріпка Г.А. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни «Технологія швейного виробництва» для студентів факультету інженерії напряму підготовки 182 "Технології легкої промисловості" / Методичні вказівки. Електронне видання: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019, 25 с. Свідоцтво №7694.
10. Мичко А.А. Способи ідентифікації білкових волокон для виготовлення текстильних матеріалів / А.А. Мичко, І.Г. Дейнека, Г.А. Ріпка, Л.І. Килимник // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2012. – №12 (183). Ч.1. – С. 176-183.
11. Мичко А.А. Способи ідентифікації волокон рослинного походження для виготовлення текстильних матеріалів / А.А. Мичко, І.Г. Дейнека, Г.А. Ріпка, Л.І. Килимник // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2012. – №13 (184). Ч.1. – С. 153-159.
12. Ripka G. Analysis of everyday clothes usage conditions // Commission of motorization and energetics in agriculture. Teka / Lublin university of technology. – Lublin, 2017. Vol. 17. № 1. – P. 21-26. ISSN 1641-7739

13. Ripka G. Study of dominant quality indicators of materials and designs of railroad conductors` uniforms / Olena Kolosnichenko, Mykola Yakovlev, Irina Prykhodko-Kononenko, Larysa Tretyakova, Natalia Ostapenko, Kalina Pashkevich, Galyna Ripka // *Fibres and textiles*, Bratislava, 3 (2020), Volume 27, September 2020., p. 90-96. ISSN 2585-8890.

14. Мичко А.А. Способи ідентифікації штучних волокон для виготовлення текстильних матеріалів / А.А. Мичко, І.Г. Дейнека, Г.А. Ріпка, Л.І. Килимник // *Вісник СХУ ім. В. Даля*. – 2012. – №9 (180). Ч.1. – С. 108-113.

15. Мичко А.А. Способи ідентифікації гетероланцюгових волокон для виготовлення текстильних матеріалів / А.А. Мичко, І.Г. Дейнека, Г.А. Ріпка, Л.І. Килимник // *Вісник СХУ ім. В. Даля*. – 2012. – №5 (176). Ч. 2. – С. 233-238.

16. Ріпка Г.А. Розробка класифікатору застосування QR-кодів в легкій промисловості / Засорнова І.О., Засорнов О.С., Ріпка Г.А. // *Вісник ХНУ. Хмельницький*, 2021, № 2. С. 226-233. ISSN 2307-5732

17. Ріпка Г.А. Сучасне програмне забезпечення для автоматизації процесу машинної вишивки / Ріпка Г.А., Дейнека І.Г., Мичко А.А. // *Проблеми легкої та текстильної пром-ті України*, Херс.НТУ, Херсон, 2012, № 2 (20). С. 24-27.

18. Ріпка Г.А. Формування підсилюючого елемента з підвищеними захисними властивостями / монографія / СХУ ім. В. Даля, Сєверодонецьк, 2018, 124 с.

19. Конспект лекцій з дисципліни «Матеріалознавство швейних виробів» (для здобувачів вищої освіти спеціальностей 182 «Технології легкої промисловості») (Електронне видання) / Уклад.: Ріпка Г.А., від 10.04.2019

20. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Матеріалознавство швейних виробів» (для здобувачів вищої освіти спеціальностей 182 «Технології легкої промисловості») (Електронне видання) / Уклад.: Ріпка Г.А., від 02.06.2018).

21. Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни «Матеріалознавство швейних виробів» (для здобувачів вищої освіти спеціальностей 182 «Технології легкої промисловості») (Електронне видання) / Уклад.: Ріпка Г.А., від 15.02.2020).