

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інженерно-хімічний факультет
Кафедра екології та технології рослинних полімерів**

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Микола ГОМЕЛЯ

« ____ » _____ 20 ____ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Промислова екологія та
ресурсоефективні чисті технології»
зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»
на тему: «Удосконалення технологічного потоку виробництва паперу для
конвертів»**

Виконала:

студентка II курсу, групи ЛЦ-31мп

Цикалова Вікторія Сергіївна _____

Науковий керівник:

доц., к.т.н.,

Черьопкіна Романія Іванівна _____

Консультант з розроблення стартап-проєкту:

доц., к.е.н, доц.,

Юдіна Наталія Володимирівна _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»**

Інститут/факультет інженерно-хімічний факультет

(повна назва)

Кафедра Екології та технології рослинних полімерів

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 161 «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології»

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Микола ГОМЕЛЯ
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студентці
Цикаловій Вікторії Сергіївні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **«Удосконалення технологічного потоку виробництва паперу для конвертів»**

науковий керівник дисертації Черьопкіна Романія Іванівна, к.т.н., доц.

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

затверджені наказом по університету від «08.11 2024 р. №5028-с.

2. Строк подання студентом дисертації «16» грудня 2024 р.

3. Об'єкт дослідження целюлоза та волокна, що піддаються процесам природного та штучного старіння.

4. Предмет дослідження зміни хімічного складу, механічних показників та білості целюлозних волокон під впливом процесів старіння (природного та штучного).

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) ознайомитись з властивостями паперу для архівації документів, особливостями його виробництва; б) провести літературне та експериментальне дослідження із визначенням показників що впливають на старіння; в) розглянути методики, стандарти для дослідження старіння зразків паперу; провести мікроскопічне дослідження волокон целюлози до та після старіння; г) провести аналіз ринку даного виду продукції.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1) актуальність магістерської дисертації, предмет та об'єкт дослідження;

2) технологічна схема;

3) експериментальні дані;

4) результати виконання стартап-проєкту;

5) висновки по роботі.

7. Орієнтовний перелік публікацій: опубліковано тези доповідей наукової конференції та подано заявку на корисну модель Реєстраційний номер заявки у 2024 05155 «Спосіб натронної делігніфікації павловнії».

8. Консультанти розділів дисертації¹

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проєкту	Юдіна Н. В. доц., к.е.н, доц.		

9. Дата видачі завдання «26» жовтня 2024 р.

¹ Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Проходження теми магістерської дисертації та розробка етапів її виконання	26.10 – 08.11	виконала
2	Огляд літератури за темою роботи	09.11 – 15.11	виконала
3	Відпрацювання методів та методик дослідження	15.11 – 30.11	виконала
4	Розробка стартап-проєкту	01.12 – 06.12	виконала
5	Оформлення результатів дисертації	07.12 – 11.12	виконала

Студентка

Вікторія ЦИКАЛОВА

(підпис)

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

Романія ЧЕРЬОПКІНА

(підпис)

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: сторінок, рисунків, таблиці, додаток, літературних джерела.

Актуальність теми: вивчення процесів природного та штучного старіння дозволяє глибше зрозуміти механізми деградації волокон і знайти ефективні методи їх захисту. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю збереження архівних документів, культурної та історичної спадщини для майбутніх поколінь.

Мета дослідження: визначити вплив природного та штучного старіння на колір та фізико-механічні властивості целюлозних волокон, виявити особливості процесів деградації для розробки методів захисту і збереження паперових матеріалів.

Завдання:

1. проаналізувати основні процеси природного та штучного старіння целюлози;
2. дослідити зміни механічних показників під впливом старіння;
3. порівняти результати природного та штучного старіння;
4. розробити рекомендації для збереження та захисту паперових матеріалів від деградації.

Об'єкт дослідження: процеси варіння трісок деревини павловнії лужним способом, дослідження волокнистих напівфабрикатів щодо впливу природного та штучного старіння.

Предмет дослідження: якісні зміни механічних показників целюлозних волокон у результаті процесів старіння.

Для досягнення поставленої мети в даній роботі використовувались наступні **методи досліджень:** теоретичні та експериментальні, фізико-хімічні, аналітичні, фізико-механічні методи аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів: полягає у виявленні специфічних змін механічних показників целюлозних волокон під впливом природного та

штучного старіння. Встановлено взаємозв'язок між умовами старіння та деградацією волокон, що дозволяє розробити ефективні методи збереження паперових матеріалів.

Апробація результатів дисертації: основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на XXVII Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання», Київ, 28 листопада 2024 р.

Публікації: опубліковано тези доповідей наукової конференції та подано заявку на корисну модель Реєстраційний номер заявки u 2024 05155 «Спосіб натронної делігніфікації павловнії».

ПАВЛОВНІЯ, ЛУЖНЕ ВАРІННЯ, ВОЛОКНИСТІ НАПІВФАБРИКАТИ,
ШТУЧНЕ СТАРІННЯ, ПРИРОДНЕ СТАРІННЯ, ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ, ЗМІНА
КОЛЬОРУ, СТАРТАП-ПРОЄКТ

ABSTRACT

Master's thesis: pages, figures, tables, appendix, literary sources.

Relevance of the topic: the study of the processes of natural and artificial aging allows us to better understand the mechanisms of fiber degradation and find effective methods for their protection. The relevance of the study is due to the need to preserve archival documents, cultural and historical heritage for future generations.

Research objective: to determine the influence of natural and artificial aging on the color and chemical composition of cellulose fibers, to identify the features of degradation processes for the development of methods for the protection and preservation of paper materials.

Tasks:

1. to analyze the main processes of natural and artificial aging of cellulose;
2. to investigate changes in mechanical parameters under the influence of aging;
3. to compare the results of natural and artificial aging;
4. to develop recommendations for the preservation and protection of paper materials from degradation.

Object of study: paper samples subjected to natural and artificial aging.

Subject of research: changes in mechanical parameters and chemical composition of cellulose fibers as a result of aging processes. To achieve the set goal, the following research methods were used in this work: theoretical and experimental, physicochemical, analytical, physicomechanical methods of analysis.

The scientific novelty of the results obtained: consists in identifying specific changes in mechanical parameters and chemical composition of cellulose fibers under the influence of natural and artificial aging. The relationship between aging conditions and fiber degradation has been established, which allows developing effective methods for preserving paper materials.

Approbation of the results of the dissertation: the main provisions of the dissertation were reported and discussed at the XXVII International Scientific and Practical

Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists "Resource and Energy-Saving Technologies and Equipment", Kyiv, November 28, 2024.

Publications: abstracts of scientific conference reports published and an application for a utility model filed Application registration number u 2024 05155 "Method of sodium delignification of paulownia"

PAVLOVNIYA, ARTIFICIAL AGING, NATURAL AGING, CHANGE OF PROPERTIES, CHANGE OF COLOR, STARTUP PROJECT

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1 Природне старіння целюлози.....	12
1.2 Методики визначення природного старіння	13
1.2.1 Механічне тестування на міцність зразка паперу	14
1.2.2 Вимірювання рН паперу	15
1.2.3 Оцінка оптичної щільності та кольорових змін [15]	16
1.2.4 Хімічні методи аналізу (кількісний та якісний аналіз) [16].....	18
1.2.5 Мікробіологічна оцінка паперу.....	20
1.3 Штучне старіння целюлози	21
1.4 Методики визначення штучного старіння	22
1.5 Хімія старіння целюлози та паперу	25
1.6 Фактори що впливають на старіння целюлозних волокон	28
1.6.1 Температура	28
1.6.2 Відносна вологість та рН рівень	28
1.6.3 Відкрите середовище та закрите середовище	30
1.6.4 Світло та забруднення.....	30
1.6.5 Інші фактори	31
1.6.6 Зміни властивостей паперу та целюлози	32
Висновки до розділу I	32
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	34
2.1 Технологічна схема виробництва паперу для виготовлення конвертів для збереження друкованих матеріалів	34
Висновки до розділу II	38
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ	39
3.1 Підготовка сировини і варильного розчину	39
3.2 Розмелювання волокнистих напівфабрикатів	41

3.3 Методика проведення штучного старіння ВНФ	42
3.4 Методика проведення природного старіння ВНФ.....	43
Висновки до розділу III.....	44
4 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ	45
4.1 Делігніфікація деревини павловнії натронним способом	45
4.2 Делігніфікація деревини вільхи, ліщини та павловнії натронним способом....	45
4.3 Вплив природного та штучного старіння на показники волокнистих напівфабрикатів, отриманих із деревини вільхи, ліщини та павловнії натронним способом.....	46
4.4 Мікроскопічне дослідження волокон після природного та штучного старіння ВНФ вільхи ліщини та павловнії	55
Висновки до розділу 4.....	57
5 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА ВИРОБНИЦТВІ.....	59
6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ	63
6.1 Опис ідеї стартап-проєкту	63
6.2 Технологічний аудит ідеї проєкту	66
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	67
6.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту.....	75
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту	78
Висновки до розділу VI	83
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	86
ДОДАТОК А	90

ВСТУП

Целюлоза є матеріалом високого промислового значення, яка має застосування у багатьох сферах промисловості, медицини, косметології, сільському господарстві і, особливо, для виробництва целюлозно-паперової продукції. Серед іншого, в залежності від споживчих властивостей, для деяких видів паперу і картону є важливими вимоги до стійкості і довговічності.

Папір, до складу якого входять целюлозні волокна, здатний до втрати механічної міцності з тривалістю зберігання. Це пояснюється тим, що природна целюлоза в силу своєї будови здатна до реакцій окиснення та гідролізу, результатом яких є її деполімеризація, тобто деструкція. Деградація паперу з целюлози є складним багатоступеневим процесом. Склад рослинних волокон, процеси та результати перероблення сировини, умови навколишнього середовища визначають початок та швидкість реакцій, що призводить до старіння паперу.

Характеристики старіння целюлозних волокон становлять важливу проблему для галузей використання цих волокон. Старіння можна визначити як незворотні зміни, які відбуваються повільно з часом, що призводять до змін хімічної та фізичної структури, які в свою чергу відбуваються через зміни мікроструктури у компонентах волокон

Різні хімічні механізми беруть участь у старінні природних волокон. Для паперу або картону, що експлуатується протягом тривалого часу в умовах температури навколишнього середовища, старіння може бути пов'язане з комбінованою дією термічного окиснення киснем повітря та кислотного гідролізу зв'язаною водою та кислотами, що утворюються, у той час як в умовах сухого тепла термічне окиснення є основним фактором зміни кольору під час старіння [4].

Основний процес, відповідальний за природне старіння целюлози – це випадковий гідроліз глікозидних зв'язків між залишками глюкози в макромолекулах целюлози. Температура і відносна вологість відіграють вирішальну роль у довговічності паперу. Пил, світло, випромінювання високої енергії та біологічна активність (гриби, бактерії та шкідники) також згубно впливають на папір.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Характеристики старіння целюлозних волокон становлять важливу проблему для галузей використання цих волокон. Старіння можна визначити як незворотні зміни, які відбуваються повільно з часом, і у випадку паперу призводять до погіршення його властивостей, що може зробити його непридатним до використання.

Дослідження показали, що кислотність паперу є найважливішим внутрішнім фактором, який істотно прискорює процес розкладання целюлози, іонів перехідних металів та інших хімічних добавок.

Лігнін, залишок рослинної сировини в папері, надає захисний ефект целюлозі завдяки своїм антиоксидантним властивостям. Чим нижча кристалічність целюлози, тим вища її сприйнятливність до старіння.

Старіння знижує ступінь полімеризації целюлози і погіршує механічні та оптичні властивості як целюлози так і паперу.

Вивчення природного старіння целюлози відбувається повільно оскільки наслідки природного старіння в умовах навколишнього середовища можуть тривати декілька років чи кілька десятиліть, щоб викликати статистично значущі зміни.

Метод подолання цієї проблеми полягає в застосуванні агресивних середовищ, якому піддаються зразки паперу і целюлози. Першим і найпоширенішим підходом був вплив підвищених температур – термічне прискорене старіння. Температурна область термічного прискореного старіння починається від температури навколишнього середовища і досягає 105°C. Експериментальна установка варіюється від сухих печей до вологих печей і герметичних посудин [1].

1.1 Природне старіння целюлози

Природна целюлоза в силу своєї будови здатна до реакцій окиснення та гідролізу, результатом яких є її деполімеризація, тобто деструкція.

Старіння паперу, що супроводжується зниженням механічної міцності та білості, викликано глибокими хімічними змінами в макромолекулі целюлози – розривом полімерного ланцюга, виникненням нових функціональних груп, що

ініціюють подальші деструктивні процеси і здатних до утворення додаткових внутрішніх та міжмолекулярних зв'язків внаслідок хімічної взаємодії.

Типи хімічних реакцій, що протікають під час старіння паперу, обмежені, але фактори, що їх викликають, досить різноманітні. Основними процесами, що протікають під час старіння паперу, є:

- гідролітична деструкція целюлози, що каталізується кислотами; каталізована іонами перехідних металів окиснювальна деструкція целюлози;
- утворення поперечних зшивок;
- окиснювальна деструкція целюлози під дією світлового випромінювання високої енергії;
- механо-хімічна деструкція, обумовлена механічними навантаженнями у процесі зберігання та використання документів;
- зміна в порядку кристалічності, спричинена коливаннями вмісту води.

1.2 Методики визначення природного старіння

Визначення природного старіння паперу включає методики, що дають змогу оцінити зміни його фізичних, хімічних і оптичних властивостей під час зберігання. Природне старіння є процесом, що відбувається під впливом часу, зовнішніх умов (температури, вологості, забруднювачів повітря) та внутрішніх факторів (хімічний склад паперу, наявність добавок). Методики оцінки природного старіння дозволяють передбачити довговічність і стабільність паперу та визначити його стійкість до факторів старіння [21].

До методики оцінки природного старіння целюлозних волокон входять такі випробовування:

- механічне тестування на міцність (розривна довжина, розтягнення паперу);
- вимірювання рН паперу;
- екстракційне вимірювання рН;
- оцінка оптичної щільності та кольорових змін;

- хімічні методи аналізу (кількісний та якісний аналіз);
- мікробіологічна оцінка паперу.

1.2.1 Механічне тестування на міцність зразка паперу

Зміна механічних властивостей (міцність на розрив, розтягування, жорсткість) є основним показником природного старіння паперу. Під час природного старіння папір поступово втрачає міцність через деградацію целюлозних волокон.

Метод випробування на розривну міцність паперу є одним із основних способів оцінки його механічних властивостей [14]. Міцність на розрив визначає максимальну силу, яку папір здатний витримати перед розривом, і дозволяє оцінити якість та довговічність паперових виробів. Цей метод важливий для визначення здатності паперу протистояти навантаженням під час експлуатації, зберігання та транспортування.

Метод випробування на розривну міцність визначає наступні параметри:

- сила розриву (Breaking Force): максимальна сила, необхідна для розриву зразка, вимірюється в ньютонах (Н);
- розривне подовження (Breaking Elongation): відносне подовження зразка до моменту розриву, що вказує на еластичність матеріалу;
- розривна довжина (Breaking Length): це умовна величина, яка визначає, на яку довжину паперовий зразок може розтягуватися під власною вагою до моменту розриву. Розривна довжина є показником якості волокон, використаних для виробництва паперу.

Для визначення розривної міцності використовується спеціальний пристрій – розривний апарат або розривна машина. Це може бути як механічний прилад, так і автоматичний, оснащений датчиками для вимірювання сили та подовження.

Зразки паперу вирізають за стандартними розмірами, 15 мм завширшки і 100-200 мм завдовжки. Кількість зразків, становить від 5 до 10 для кожного напрямку (машинний і поперечний), щоб отримати достовірні результати. Зразки перед

тестуванням повинні пройти кондиціювання ЗА стандартних умов (температура 23°C і відносна вологість 50 %) протягом 24 годин.

Зразок закріплюють у зажимах розривного апарата так, щоб він розміщувався без натягу, але при цьому не провисав. Між зажимами встановлюється стандартна відстань 180 мм (або інша, відповідно до стандарту). Прилад починає розтягувати зразок зі сталою швидкістю, від 10 до 100 мм/хв, залежно від типу паперу та вимог стандарту. Під час випробування розривний апарат фіксує максимальну силу, яку зразок витримує до моменту розриву.

Після отримання результатів з кількох зразків обчислюють середнє значення розривної міцності. Це дозволяє оцінити загальну міцність паперу та його відповідність стандартам.

Значення розривної міцності паперу може змінюватись залежно від його вологості, складу, типу волокон та їх обробки. Тому під час аналізу результатів враховуються умови тестування та властивості зразків [14].

1.2.2 Вимірювання рН паперу

Вимірювання рН паперу є важливою оцінкою на довговічність та стійкість до природного старіння, дозволяє визначити, чи папір має кислотні або лужні властивості, а також оцінити потенційну небезпеку для його збереження у довгостроковій перспективі.

Основними методами вимірювання є: вимірювання рН водного екстракту, поверхневе вимірювання рН.

Метод екстракції (водного екстракту) передбачає створення водного розчину або екстракту з паперу та вимірювання рН розчину за допомогою рН-метра [13].

Готують зразок паперу стандартного розміру, 1 г або 1 дм². Зразок розрізають на маленькі шматочки для кращого контакту з водою. Зразок паперу занурюють у дистильовану воду (співвідношення приблизно 1:100 або 1:10, залежно від стандарту), суміш залишають настоюватися протягом 1 години за кімнатної температури або нагрівають до 80 °C, щоб прискорити процес екстракції (залежить від обраного стандарту). Зразок періодично перемішують для більш рівномірної

екстракції. Після завершення екстракції вимірюють рН отриманого водного розчину за допомогою каліброваного рН-метра.

Метод поверхневого вимірювання рН дозволяє виміряти рН безпосередньо на поверхні паперу, не пошкоджуючи зразок. Це робиться за допомогою спеціальних рН-електродів або індикаторних смужок [13].

Наноситься крапля дистильованої води на поверхню паперу. Важливо, щоб крапля була невеликою (0,05 – 0,1 мл), щоб не порушити структуру паперу. Воду залишають на поверхні паперу на кілька хвилин, щоб відбувся процес обміну іонів між волокнами паперу та водою.

На зволожену ділянку паперу прикладається поверхневий рН-електрод або рН-метр з плоским електродом. Якщо використовується індикаторна смужка, її притискають до зволоженої ділянки, а потім порівнюють колір смужки зі шкалою для визначення рН [13].

1.2.3 Оцінка оптичної щільності та кольорових змін [15]

Метод визначення оптичної щільності та кольорових змін використовується для оцінки змін у структурі та властивостях паперу, які виникають внаслідок його старіння або впливу зовнішніх факторів (світла, температури, вологості та забруднюючих речовин). Зміна кольору та оптичної щільності є важливими показниками, оскільки вони можуть свідчити про деградацію паперу, окиснення, пожовтіння або появу інших дефектів, що знижують його якість і довговічність.

Основні показники оптичної щільності та кольорових змін:

оптична щільність (D): оптична щільність визначає здатність матеріалу поглинати або відбивати світло. Зміна оптичної щільності паперу свідчить про зміну його хімічної структури, яка впливає на світлопоглинання та прозорість;

яскравість (Brightness): яскравість визначає здатність паперу відбивати синє світло і є показником його білизни. Зі зменшенням яскравості папір стає тьмянішим і менш естетично привабливим;

жовтизна (Yellowness): це явище викликане окисненням целюлози і появою хромофорних груп;

колірні зміни (L^* , a^* , b^*): використовуються колориметричні показники системи CIE $L^*a^*b^*$, яка визначає зміни кольору, відтінку і насиченості паперу. Ці зміни можуть свідчити про вплив сонячного світла, термічних умов і забруднювачів.

Для вимірювання оптичної щільності та кольорових змін використовуються прилади: спектрофотометри (вимірюють спектр відбитого або поглинутого світла), колориметри (вимірюють кольорові координати (L^* , a^* , b^*)), денситометри (вимірюють оптичну щільність).

Зразки паперу витримують у стандартних умовах (температура 23 °C, відносна вологість 50 %) протягом не менше 24 годин для вирівнювання рівня вологості. Важливо, щоб поверхня зразків була чистою та без дефектів. Перед впливом будь-яких умов (світла, температури) на папір проводяться початкові вимірювання оптичної щільності, яскравості, жовтизни та колориметричних показників. Результати фіксують для подальшого порівняння.

Зразки піддаються впливу певних умов, які імітують старіння, таких як підвищена температура, висока вологість, ультрафіолетове випромінювання. Після експозиції зразків повторно вимірюють оптичну щільність, яскравість, жовтизну та колориметричні показники. Дані порівнюють з початковими результатами, щоб оцінити ступінь змін.

Збільшення оптичної щільності вказує на зменшення прозорості паперу або збільшення його світлопоглинання, що може свідчити про окиснення або появу темних хромофорних груп. Якщо оптична щільність знижується, це може свідчити про втрату пігментів або інших компонентів.

Зниження яскравості є показником старіння паперу, що вказує на його потьм'яніння та втрату білизни. Це часто викликано хімічними реакціями, такими як окиснення целюлози або реакції з кислотними компонентами. Більш низька яскравість також може свідчити про підвищену чутливість до впливу зовнішніх факторів.

Збільшення жовтизни є типовою ознакою старіння паперу і зазвичай викликано накопиченням продуктів окиснення. Пожовтіння часто вказує на деградацію целюлози або лігніну, а також на наявність домішок і забруднень.

Зміни у колірних координатах системи CIE $L^*a^*b^*$ вказують на зміни в зовнішньому вигляді паперу. L – відображає яскравість (зменшення цього показника свідчить про потьм'яніння); a^* – показує зміщення кольору до червоного (+a) або зеленого (-a); b^* – показує зміщення кольору до жовтого (+b) або синього (-b). Пожовтіння паперу, наприклад, проявляється як збільшення значення b^* , що є характерною ознакою окиснення та впливу УФ-випромінювання [15].

1.2.4 Хімічні методи аналізу (кількісний та якісний аналіз) [16]

Хімічні методи аналізу спрямовані на оцінку змін у складі та структурі паперу, що виникають внаслідок його тривалого зберігання або впливу зовнішніх факторів (температури, вологості, забруднювачів). Нижче описано найбільш вживані методи хімічного аналізу.

Визначення альдегідних груп $-CHO$ (окиснювальних продуктів) – окиснення целюлози призводить до утворення альдегідних і карбоксильних груп, які роблять папір більш крихким і ламким. Визначення альдегідних груп проводиться шляхом реакції з гідроксиламіном або іншими реагентами, які реагують з альдегідними групами та утворюють забарвлені сполуки. Збільшення вмісту альдегідних груп є ознакою окиснювального старіння і вказує на послаблення структури целюлозних волокон.

Визначення карбоксильних груп $(-COOH)$ – карбоксильні групи виникають у результаті окиснення целюлози і є показником деградації волокон. Проводиться титрування з використанням лужних розчинів або інших реагентів, які нейтралізують карбоксильні групи, дозволяючи визначити їх кількість. Зростання вмісту карбоксильних груп свідчить про прогресуюче старіння паперу і збільшення його ламкості.

Інфрачервона (ІЧ) спектроскопія – дозволяє ідентифікувати хімічні зміни у структурі целюлози, такі як утворення карбонільних та карбоксильних груп. Зразок паперу опромінюють інфрачервоним світлом, і спектр поглинання дає змогу визначити наявність специфічних груп (наприклад, альдегідів, карбоксильних сполук). Зміни в ІЧ-спектрі, такі як зростання інтенсивності поглинання в областях,

що відповідають карбонільним та карбоксильним групам, свідчать про окиснювальні процеси і старіння [16].

Метод визначення лігніну та інших домішок – лігнін, що міститься в низькоякісному папері, з часом окиснюється, спричиняючи пожовтіння та зниження міцності. Використовують реактиви, які забарвлюють лігнін (наприклад, флуоресцентні барвники) для його ідентифікації та оцінки вмісту. Збільшення окиснення лігніну призводить до пожовтіння і зниження стабільності паперу. Чим більше лігніну, тим швидше папір піддається старінню.

Газова хроматографія – мас-спектрометрія – дозволяє ідентифікувати та кількісно визначати леткі органічні сполуки, що виділяються під час старіння паперу, такі як формальдегід, ацетальдегід, ацетон. Пробу паперу піддають термічному розкладанню або екстракції летких компонентів, які потім аналізують за допомогою газової хроматографії з мас-спектрометрією. Наявність летких продуктів, таких як формальдегід і інші альдегіди, свідчить про процеси окиснення і розпаду целюлози.

Термогравіметричний аналіз (ТГА) – дозволяє оцінити термічну стабільність паперу та визначити його стійкість до нагрівання. Зразок паперу нагрівається в контрольованих умовах і фіксується втрата його маси за підвищених температур. Зменшення маси вказує на деградацію паперу та вивільнення летких продуктів, що підтверджує термічну нестабільність і старіння матеріалу.

Визначення залишкової вологи та водопоглинання – зразок зважують до і після сушіння, що дозволяє визначити залишкову вологу, або піддають впливу води для вимірювання водопоглинання. Збільшення водопоглинання та залишкової вологи свідчить про зміни у структурі целюлози, що пов'язане з деградацією паперу.

Хімічні методи аналізу є незамінними для визначення природного старіння паперу, вони дозволяють глибоко дослідити структурні зміни целюлози, виявити процеси окиснення та гідролізу, визначити вміст кислот та інших деградаційних продуктів. Отримані дані допомагають передбачити довговічність паперу та обрати оптимальні умови для його зберігання, що важливо для збереження архівних та культурних цінностей [17].

1.2.5 Мікробіологічна оцінка паперу

Папір, особливо за наявності органічних добавок (наприклад, клею або крохмалю), є сприятливим середовищем для розвитку бактерій і грибків. Мікробіологічний аналіз дозволяє виявити наявність мікроорганізмів, оцінити їхній вплив на матеріал та забезпечити умови для тривалого зберігання документів і архівних матеріалів.

Спочатку проводиться візуальна оцінка зразків паперу під мікроскопом для виявлення видимих слідів ураження, таких як плями, зміну кольору або нальоту. Визначають зовнішні ознаки мікробіологічного ураження, зокрема наявність цвілі, що часто має специфічний колір та текстуру. Для детального аналізу беруться проби з уражених ділянок паперу. Зразки збирають стерильними інструментами, щоб уникнути стороннього забруднення. Паперові частинки можуть зішкребти з поверхні матеріалу або відібрати зразок за допомогою стерильної ватної палички.

Зібрані проби висівають на спеціальні живильні середовища (агарові пластини або рідкі середовища), які сприяють росту певних видів мікроорганізмів. Пластини з живильним середовищем поміщають в інкубатор за температури 20 – 25 °C і вологості 70 – 80 % на кілька днів для розвитку колоній.

Після інкубації колонії мікроорганізмів аналізують під мікроскопом для визначення морфологічних характеристик. Для ідентифікації грибків досліджують форму, розмір та структуру спор. Бактерії ідентифікують за допомогою додаткових біохімічних тестів, які визначають ферментативну активність, чутливість до антибіотиків та інші показники [18].

Визначають кількість колонієутворюючих одиниць (КУО) на поверхні паперу або на одиницю маси для оцінки рівня ураження.

Кількісна оцінка допомагає визначити, наскільки серйозно уражений матеріал і чи потрібно застосовувати дезінфекційні заходи.

Деякі мікроорганізми, зокрема грибки, виділяють кислотні метаболіти, які можуть спричиняти подальшу деградацію целюлози. Використовуються хімічні методи аналізу для виявлення продуктів метаболізму, таких як органічні кислоти, які сприяють кислотному старінню паперу.

Для оцінки ризику розвитку мікроорганізмів вимірюють вологість паперу. Висока вологість є основним фактором, що сприяє зростанню грибків і бактерій. Контроль вологості є ключовим для збереження паперу, особливо в архівних умовах.

Виявлення колоній грибків свідчить про розвиток цвілі, що є небезпечним для паперу, оскільки продукти життєдіяльності грибків можуть спричинити кислотну деградацію та пожовтіння. За кількістю КУО (колонієутворюючих одиниць) оцінюють рівень інфікування паперу. Висока кількість КУО вказує на серйозне ураження і потребує негайних заходів для обробки та зберігання. Різні види грибків і бактерій мають різну активність щодо руйнування паперу. Наприклад, види *Aspergillus* і *Penicillium* часто виділяють органічні кислоти, що прискорюють деградацію целюлози. Виявлення органічних кислот свідчить про підвищений ризик кислотного гідролізу, що може призвести до значної втрати міцності паперу.

Мікробіологічна оцінка дозволяє виявити мікроорганізми, які можуть спричинити руйнування структури паперу, визначити рівень зараження та запобігти деградації документів і архівних матеріалів. Вчасне виявлення мікробного ураження і контроль умов зберігання є ключовими для забезпечення тривалої збереженості паперових цінностей [19].

1.3 Штучне старіння целюлози

Штучне старіння досягається за допомогою агресивних середовищ, таких як забруднена атмосфера, підвищена температура, підвищена вологість або вплив світла. Ці тести необхідні, щоб перевірити стійкість паперу та целюлози до забруднень та світла, які є важливими факторами псування паперу [1].

Процес старіння (тобто внесок різних індивідуальних реакцій) є головним чином функцією відносної вологості, тоді як швидкість старіння визначається головним чином температурою. Процес старіння в діапазоні 60 – 90 °C і відносної вологості 30 – 80 % є відносно рівномірним, тоді як сухе старіння дає зовсім інші результати [1].

1.4 Методики визначення штучного старіння

Існує багато різних стандартних методів прискореного старіння (наприклад, ISO, TAPPI та ASTM), які включають багато відмінностей у самих методах.

1) Стандарт ASTM D6819-02e3 [10] для тестування прискореного старіння паперу включає випробування фізичних і хімічних властивостей шести зразків паперу – природного старіння протягом 27 років та штучного старіння протягом 3 днів при 105 ± 2 °C.

Для штучного старіння рекомендовано використовувати закриті скляні флакони, щоб утримувати продукти розкладання в контакт з папером, що дозволяє краще моделювати природні умови старіння в закритих книгах. Засоби, вибрані для прискорення старіння, включали високу температуру, підвищений світловий потік і підвищену концентрацію звичайних атмосферних забруднюючих газів [9]. Проте кінетичні дослідження прискореного старіння як у закритих, так і у відкритих системах, що відстежуються за допомогою вимірювань ступеню полімеризації і розривної довжини, показали, що статистично значущої різниці у швидкостях деградації не спостерігається [10].

Щоб паперовий зразок вважався довговічним, він повинен мати високий ступінь хімічної стабільності, про що буде свідчити повільне псування зразка. Більшість стандартів вимагають, щоб папір був лужним, містив лужний резерв, такий як карбонат кальцію, і мав вміст лігніну не більше 1 %, тоді його довговічність подовжується.

Значення рН та ступеню білості виявили суттєву різницю між темпами природного та штучного старіння [11].

2) TAPPI T-453 «Вплив сухого тепла на властивості паперу та картону» [12] – це стандартний метод для визначення впливу сухого тепла на властивості паперу та картону. Він використовується для оцінки змін фізичних і хімічних характеристик паперу після впливу високих температур у контрольованих умовах.

Для проведення тестування підготовлюють зразки паперу або картону розмірами 25 x 150 мм. Перед початком тестування зразки повинні бути витримані в стандартних умовах (23 °C і 50 % відносної вологості) протягом не менше 24 годин.

Використовується спеціальна сушильна камера або піч, яка забезпечує контрольоване і рівномірне нагрівання до заданої температури. Камера має бути обладнана термометром для постійного моніторингу температури. Зразки піддають впливу сухого тепла в камері за заданої температури 105 °С. Залежно від мети випробування температура може бути збільшена до 150 °С або зменшена. Зразки витримують у сушильній камері протягом 1 години, щоб забезпечити вплив на всі шари паперу чи картону. Зразки повинні бути розміщені горизонтально або вертикально в сушильній камері таким чином, щоб забезпечити рівномірне нагрівання з усіх боків. Важливо забезпечити рівномірну циркуляцію повітря в сушильній камері, щоб уникнути локального перегріву або недостатнього нагрівання зразків.

Після термічної обробки зразки витягують із сушильної камери та залишають охолоджуватися в стандартних умовах 23 °С і 50 % відносної вологості, протягом 30-60 хвилин. Після охолодження зразки тестують на фізико-механічні показники:

- міцність на розрив або на розтягування (за стандартом TAPPI T-494);
- зміна товщини чи об'ємної маси (вимірюється мікрометром);
- гладкість поверхні;
- вимірювання кольору та його зміни (за допомогою колориметра);
- зміни яскравості та непрозорості;
- вміст залишкової вологи або змін у хімічному складі;
- зміни жорсткості та гнучкості.

Основна мета методу TAPPI T-453 дає змогу виявити стійкість паперу або картону до сухого нагріву, що важливо для оцінки якості продукції, яка піддається впливу високих температур у реальних умовах (наприклад, під час друку, сушіння або пакування).

3) Вологе старіння ISO 5630-3:1996 [20] метод полягає у витримуванні зразків паперу або картону при температурі 80 °С та відносній вологості 65 % протягом певного часу. Це призводить до прискорення хімічних реакцій, таких як гідроліз і

окиснення, які зазвичай відбуваються у папері протягом багатьох років. Таким чином, метод дозволяє оцінити стійкість паперу до старіння та його довговічність.

Зразки паперу або картону мають відповідати вимогам стандарту щодо розміру і стану (без дефектів, плям, тріщин), мають бути однакових розмірів 100×100 мм або інші стандартні розміри, зазначені у стандарті. Перед проведенням тесту зразки паперу повинні бути кондиційовані в стандартних умовах (температура 23 ± 1 °C, відносна вологість 50 ± 2 %) не менше 24 годин.

Для випробовування використовується таке обладнання:

- камера для прискореного старіння – камера має підтримувати точний контроль температури (80 ± 2 °C) та відносної вологості (65 ± 2 %); камера повинна бути обладнана системою циркуляції повітря для рівномірного розподілу тепла і вологості по всій площі;
- прилади для вимірювання – термогігрометр, рН-метр, денситометр, обладнання для вимірювання розривної міцності).

Зразки рівномірно розташовують у камері для прискореного старіння, уникаючи контакту один з одним, щоб забезпечити рівномірний вплив тепла і вологості. Кількість зразків у камері не повинна перевищувати обсяг, який може бути оброблений при підтримці рівномірних умов. Зразки витримують за температури 80 °C та відносної вологості 65 % протягом певного часу, як правило, 24, 48 або 72 години залежно від мети тестування та очікуваного рівня змін у матеріалі. Протягом усього часу експерименту необхідно підтримувати постійні умови температури та вологості.

Після завершення періоду старіння зразки витягують із камери і оцінюють їх зміни у фізико-хімічних властивостях. Перевіряють такі показники:

- механічна міцність (розривна, розтягувальна міцність);
- оптичні властивості (жовтизна, яскравість);
- кислотність (рН).

Результати старіння порівнюються з даними контрольних зразків, які не піддавалися прискореному старінню. Порівняння допомагає оцінити ступінь змін у властивостях паперу та зробити висновки щодо його довговічності.

1.5 Хімія старіння целюлози та паперу

Хімічний процес старіння було детально визначено за допомогою експериментів із прискореним старінням та природним старінням паперу та целюлози.

Було встановлено, що переважним шляхом розкладання в темряві та в м'яких умовах навколишнього середовища є гідроліз із потенційним синергізмом окиснення. Кислотність паперу була визначена як найважливіший внутрішній фактор, який сприяє старінню паперу. Різноманітні добавки та домішки сприяють схильності до старіння. Світло та забруднення прискорюють природне старіння паперу разом із підвищеною температурою та високою відносною вологістю [2].

У присутності вологи адсорбованої папером з повітря кислота ініціює гідролітичну деструкцію целюлози. Під час старіння окиснювальні процеси, у свою чергу, підвищують кислотність паперу. Отже, старіння паперу може прискорюватися.

Хімічні реакції, що в кінцевому підсумку визначають швидкість деструкції целюлози, перебігають досить повільно за малого вмісту низькомолекулярних фракцій (геміцелюлоз) і лігніну, за низької температури та нормованої вологості, відсутності світла та кислих домішок у навколишньому середовищі. Відповідно наявність низькомолекулярних фракцій, підвищення температури та вологості, вплив світла (особливо ультрафіолетової складової), забруднене повітря – ці реакції прискорюють. Так, взаємодія целюлози з молекулярним киснем проявляється лише за підвищеної температури або світлового опромінення. Вплив оксидів азоту та вуглецю в поєднанні з енергією сонячного випромінювання в діапазоні довжини хвилі 300 – 400 нм (у північних містах це можливо у червні, у південних – у липні, серпні) може спричинити фотохімічну деструкцію целюлози [1].

Два типи зв'язків, що існують у макромолекулі целюлози – вуглець-вуглецеві та глікозидні, відрізняються за стійкістю до різних впливів. Основу макромолекули целюлози становить повторювана група – два β -d-глюкозидні залишки в піранозній

формі, з'єднані кисневим мостиком (1,4- β -d-глікозидним зв'язком) між першим і четвертим атомами вуглецю:

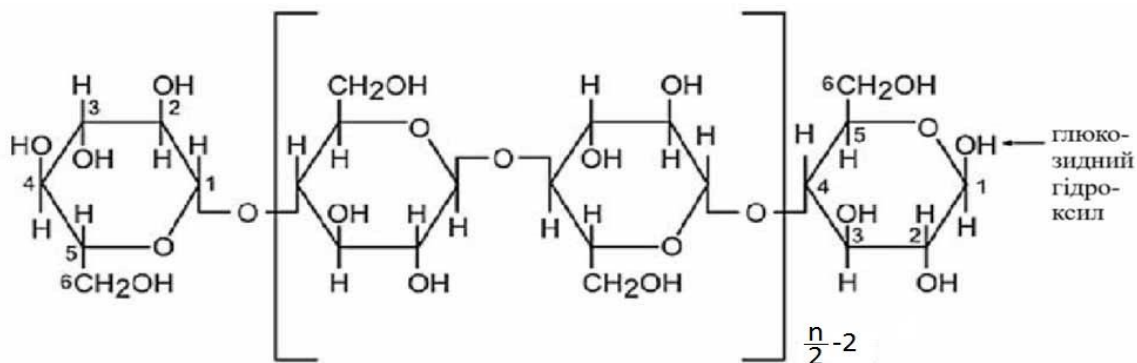


Рисунок 1.1 – Макромолекула целюлози

Під час дії хімічних реагентів у більшості випадків менш стійкий глікозидний зв'язок між елементарними ланками макромолекули целюлози. Молекула целюлози більш стабільна в нейтральному та лужному середовищах, вона не стійка в кислому середовищі. Присутня в папері адсорбована волога дає можливість перебігу гідролітичних реакцій, швидкість яких залежить від активності іону водню, тому сильні мінеральні кислоти більшою мірою підвищують її.

Хімічна структура целюлозного ланцюга, ступінь його деструкції, вміст окиснених груп значно впливають на швидкість і характер гідролізу. Наприклад, альдегіди та кетони при другому і третьому атомах вуглецю в ангідропіранозній ланці сприяють значному збільшенню швидкості гідролізу.

Дифузія гідролізуючого агента і сам гідроліз швидше відбуваються в більш доступних для реагенту аморфних областях, у той час як у кристалічних областях дифузія ускладнена і швидкість гідролізу значно менша. Порівняння ступеня кристалічності бавовняної целюлози (70 – 80 %), крафт-целюлози (60 %) та регенованих целюлозних волокон (40 – 50 %) дозволяє говорити про високу стійкість волокон бавовняної целюлози до гідролізуючих реагентів.

Целюлоза чутлива до дії окиснювачів, оскільки кожна елементарна ланка макромолекули целюлози має три гідроксильні групи. Положення та властивості цих груп зумовлюють різноманіття напрямків реакцій окиснення і, відповідно, що утворюються в результаті реакції продуктів. Теоретично реакції окиснення в

целюлозі під дією кисню повітря та озону можуть протікати в кількох напрямках: утворення карбонільних та карбоксильних груп при другому, третьому та шостому вуглецевих атомах кільця, що в деяких випадках супроводжується розщепленням кільця; розрив вуглецевого зв'язку між першим і другим вуглецевими атомами кільця з утворенням вуглекислого ефіру при першому вуглецевому атомі та альдегідної групи при другому з можливим подальшим її окисненням до карбоксильної.

Встановлено що також можливо приєднання кисню до кисневого містка між елементарними ланками макромолекули целюлози, наслідком чого є виникнення перекисів і подальший розрив полімерного ланцюга.

Геміцелюлози піддаються гідролізу інтенсивніше ніж целюлоза завдяки більш високому ступеню їх доступності. Тому деревна целюлоза, що містить значну кількість геміцелюлоз, гідролізується швидше, ніж бавовняна.

Вивчення гідролітичної та термогідролітичної деструкції целюлози дозволило встановити, що розрив целюлозних ланцюгів та утворення нових зв'язків часто взаємопов'язані, причому процес утворення зв'язків проявляється тим сильніше, чим вища упорядкованість у структурі використаного целюлозного матеріалу. Зв'язки, що утворюються, стійкі до лугу і руйнуються під дією кислоти. Виникненню поперечних зшивок з утворенням геміацеталів сприяє присутність карбонільних груп, що утворилися внаслідок окисної деградації целюлози. Можливе також утворення ефірного зв'язку між гідроксилами сусідніх ланцюгів з видаленням води або гідроксилами одного та карбоксилами іншого ланцюга.

Існують інші варіанти реакцій функціональних груп целюлози в процесі старіння, що призводять, як правило, до збільшення міцності паперу, обумовленого зростанням числа міжволоконних зв'язків. Збільшення міцності в мокрому стані внаслідок утворення поперечних зв'язків каталізується низьким значенням рН та іонами металів із високим окиснювально-відновним потенціалом: заліза, міді, алюмінію, цинку. Оскільки в основі явища зміцнення паперу Під час старіння лежать окиснювальні реакції, іони, що каталізують зміцнення, одночасно сприяють перебігу деструктивних процесів у папері, що призводять до подальшого руйнування.

1.6 Фактори що впливають на старіння целюлозних волокон

1.6.1 Температура

Температура, що використовується для прискореного старіння, коливається від температури навколишнього середовища до 105 °С. Час від часу використовуються вищі температури, які вказуються в різних стандартах для спеціальних цілей, але вони не вважаються належною практикою для загального тестування, оскільки чим вище температура, тим більш невизначеною стає екстраполяція на умови навколишнього середовища. Чим вища температура, тим більше відрізняється механізм розкладання від умов навколишнього середовища.

Припущено, що швидкість деградації помітно змінюється за температури вище 140 °С, а за більш високих температур внесок піролізу може стати значним фактором. Іншою проблемою, яка перешкоджає температурам вище 100 °С, є труднощі контролю відносної вологості за таких температур. Немає нижньої межі температури, але потреба в практичних випробуваннях вимагає короткої тривалості старіння і, отже, максимально високих температур [2].

Найпоширенішими температурами є 80 °С і 90 °С для вологого старіння і 100 °С і 105 °С для сухого старіння.

Щоб уповільнити процес псування, температуру в місцях зберігання в бібліотеках, архівах і музеях, де зберігається папір, слід підтримувати якомога нижчою. Стандарти передбачають температуру нижче 20 °С [2].

1.6.2 Відносна вологість та рН рівень

Деяка кількість вологи в середовищі старіння необхідна для прискореного старіння, яке нагадує природне старіння. Очевидним ефектом вологого старіння є прискорення швидкості деградації.

Зміни відносної вологості змінюють процес розкладання, тобто відносний внесок різних реакцій, що разом називають старінням, коли зміни температури за тієї ж відносної вологості змінюють лише швидкість розпаду. Було зроблено висновок, що за відносної вологості 30 – 80 % результати прискореного старіння були в межах

результатів природного старіння, враховуючи варіації умов природного старіння, тоді як старіння в сухих печах не було. Важливим проривом стало усвідомлення того, що важлива не відносна вологість, а вологість паперу. Вміст води в папері визначається відносною вологістю та температурою навколишнього середовища. Залежність від RH не є лінійною і описується ізотермою водопоглинання (рис. 2.1).

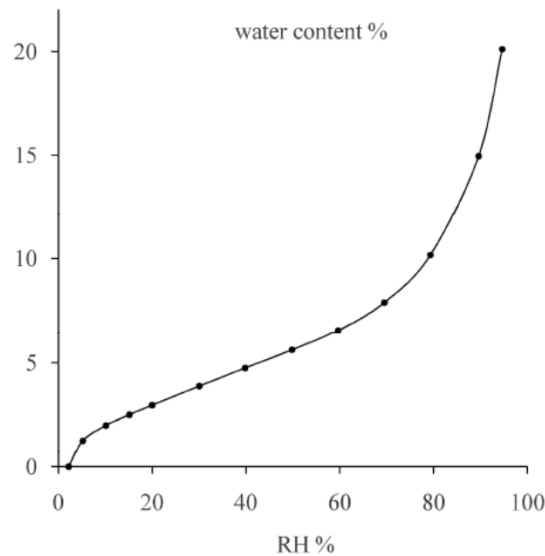


Рисунок 1.2 – Ізотерма водопоглинання паперу з чистої целюлози

pH паперу вважається найважливішим фактором, що визначає його стійкість до природного та прискореного старіння. Численні дослідження показали, що кислотність прискорює деградацію целюлози та паперу за допомогою кислотного-каталізованого гідролізу.

Важливість кислотності була продемонстрована в дослідженнях природного старіння паперу, які показують, що слабкий, знебарвлений і крихкий папір корелює з низьким pH, тоді як нейтральний і лужний папір, як правило, набагато краще зберігається. Також показано, що знекиснений папір розкладається повільніше, ніж до знекиснення, причому ефект є більш інтенсивним для високо кислого паперу.

1.6.3 Відкрите середовище та закрите середовище

На ранніх етапах застосування прискореного старіння використовувалися печі з циркуляцією повітря. Ці печі створюють відкрите середовище, що дозволяє виводити леткі продукти розпаду. У спробі дослідити результати старіння у вологому стані іноді використовували герметичні пробірки з попередньо кондиціонованими зразками в умовах навколишнього середовища. Ця установка забезпечує суворий контроль вмісту вологи в папері зручним і недорогим способом, враховуючи, що іншим варіантом є використання дорогих і схильних до збоїв камер старіння з контролем відносної вологості.

Результати досліджень підтвердили, що природне та прискорене старіння виробляє леткі кислотні речовини, які поглинаються з паперової матриці та поступово прискорюють швидкість старіння, і підтвердили гіпотезу автокаталізу.

1.6.4 Світло та забруднення

Світло відіграє важливу роль у природному старінні паперу. Вплив світла викликає утворення вільних радикалів, таким чином ініціюючи фотоокиснення целюлози, яке відбувається за механізмом, подібним до автоокиснення.

Фотоокиснення знижує ступінь полімеризації та міцність паперу та целюлози, погіршує їхні оптичні властивості, особливо паперу, що містить лігнін і вводить карбоніли та карбоксили на целюлозний скелет.

Вплив світла також може спричинити вибілювання паперу, імовірно через те, що воно окиснює хромофори, що утворюються в результаті деградації лігніну, або для паперу, що не містить лігніну, перетворюючи карбоніли на карбоксили.

Чиста целюлоза не поглинає видиме світло (понад 400 нм), геміцелюлози мають схожу поведінку з целюлозою, тоді як природний і модифікований лігнін сильно поглинає УФ та видиму область.

Проблема нестабільності кольору паперу під час старіння добре відома в паперовій промисловості, що призводить до пожовтіння і його називають терміном «зміна кольору або яскравості». Зміна кольору механічної целюлози спричинена фотоокисненням лігніну.

Папір, що зберігається в атмосферно забруднених місцях, може демонструвати підвищену кислотність через поглинання кислотних забруднюючих речовин. Такими забруднювачами є діоксид сірки (SO_2) і оксиди азоту (NO_x), які поглинаються папером і шляхом окиснення, а в присутності вологи перетворюються на сильні кислоти. Крім кислотної активності, вони є сильними окиснювачами і разом з озоном (O_3), іншими леткими органічними сполуками і зваженими в атмосфері частинками можуть брати участь у багатьох реакціях, які негативно впливають на довговічність паперу.

У ході досліджень було виявлено, що лігнін і лужні наповнювачі підвищують поглинання SO_2 і NO_x , але лужні наповнювачі значно підвищують стійкість до забруднення. Наявність лігніну впливає лише на погіршення оптичних властивостей.

1.6.5 Інші фактори

Багато інших факторів сприяють або змінюють процес старіння. Швидкість деградації змінюється під час реакції відповідно до доступності решти целюлозних ланцюгів. Крім того, целюлоза з високим індексом кристалічності розкладається важче та повільніше.

Походження целюлози та обробка сировини (ступінь полімеризації целюлози, вміст лігніну та геміцелюлоз, забруднення металами та високий вміст окисненої целюлози в результаті вибілювання, ступінь розмелювання, добавки та система виробництва целюлози) впливають на стійкість до деградації.

Умови зберігання є критичними і визначають довговічність паперу. Низька температура та відносна вологість від низької до помірної підтримують швидкість розкладання внаслідок хімічних реакцій на прийнятному рівні. Вони також тримають під контролем популяцію біологічних агентів (грибів, бактерій і шкідників). Вплив світла має бути мінімальним, а забруднювачі повинні бути виключені з атмосфери сховищ.

1.6.6 Зміни властивостей паперу та целюлози

Найважливіший хімічний показник деградації, ступінь полімеризації, зменшується, а відсоток розщеплених зв'язків і кількість розривів зростає внаслідок кислотно-каталізованого гідролізу з або без розриву ланцюга, викликаного окисненням або впливом світла.

Рівень рН знижується через утворення кислих речовин. Мідне число і ступінь делігніфікації, обидва показники вмісту здатності до окиснення, як правило, зростають разом із вмістом карбонілів і карбоксилів.

Міцність на злом під час багаторазових перегинів є першою властивістю міцності, яка зазнає впливу. Велика чутливість у виявленні наслідків старіння, на жаль, врівноважується низькою повторюваністю його визначення.

Розтягнення при розриві та поглинання енергії розтягування разом із опором на розрив менш чутливі до деградації, ніж витривалість при згортванні, але більш чутливі, ніж міцність на розрив.

Яскравість, легкість системи кольорів і білість зменшуються, тоді як жовтизна, зміщення до жовтого та зміщення до червоного збільшуються. Водопоглинання та водоутримувальна здатність паперу та целюлози падають з тривалістю старіння.

Старіння, сприяє ороговінню, яке визначається як незворотні зміни в поведінці сорбції води, які є результатом видалення води за температури навколишнього середовища або підвищеної температури, причому нижча гнучкість, нижче утримання води та підвищена крихкість є його основними характеристиками.

Пористість чистого целюлозного паперу зменшується після старіння.

Висновки до розділу I

В процесі старіння відбуваються незворотні зміни, що призводять до деградації механічних та оптичних властивостей паперу. Визначальним внутрішнім фактором старіння є кислотність паперу. Наявність лігніну надає певний захисний ефект завдяки антиоксидантним властивостям, але водночас сприяє пожовтінню паперу.

Природне старіння відбувається під впливом зовнішніх умов – це призводить до зниження ступеня полімеризації целюлози, утворення нових функціональних груп і зменшення механічної міцності паперу.

Штучне старіння застосовується для моделювання процесів природного старіння та прискорення їх у лабораторних умовах. Воно здійснюється шляхом впливу підвищеної температури, вологості, світла або забруднень.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технологічна схема виробництва паперу для виготовлення конвертів для збереження друкованих матеріалів

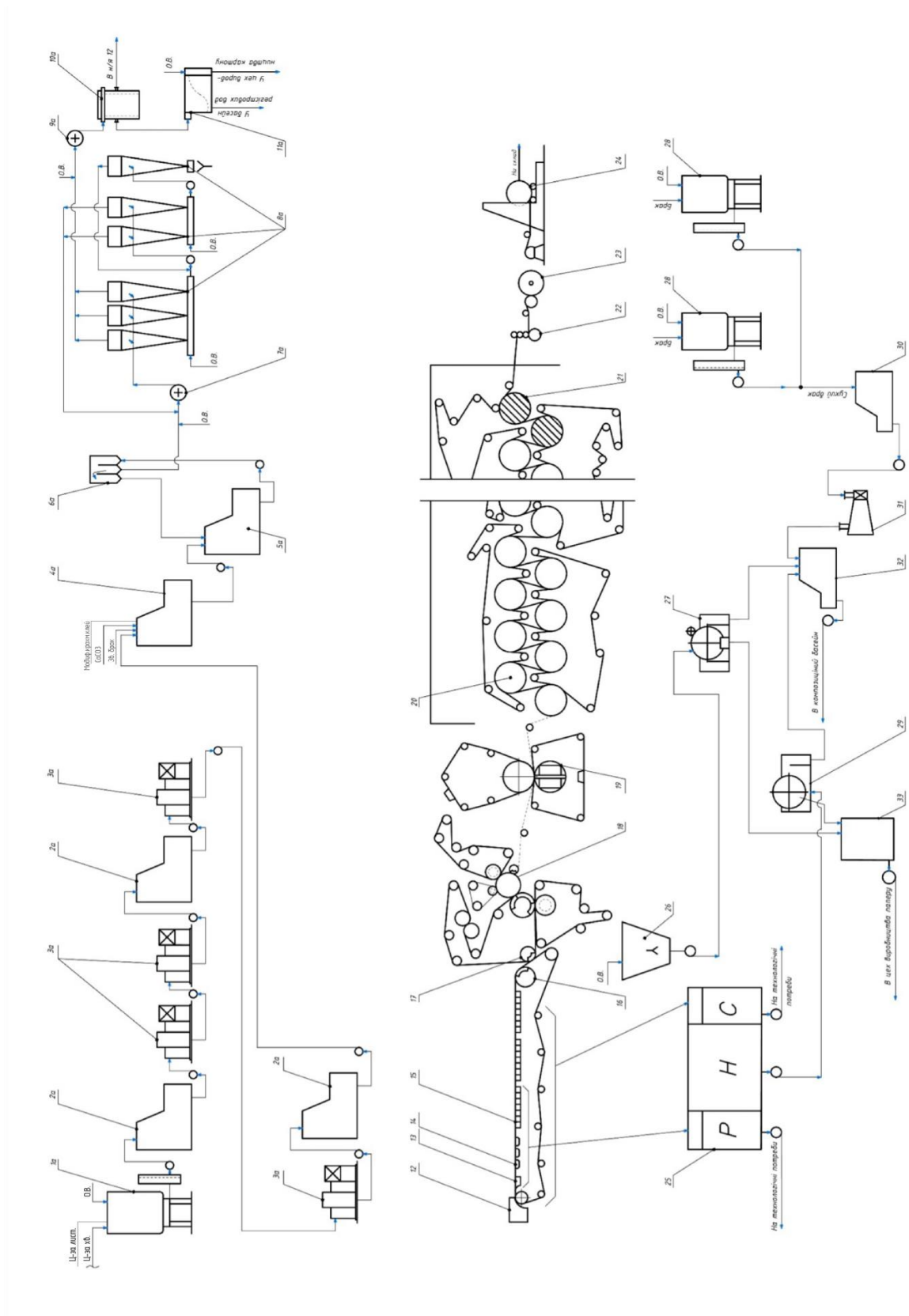


Рис. 2.1 – Технологічна схема виробництва паперу

Технологічна схема виробництва паперу для виготовлення конвертів для збереження друкованих матеріалів.

Товарна хвойна та листяна целюлоза, отримана з деревини паловнії – Paulownia Clon in vitro 112®, піддається розпусканню у вертикальному ГРВ 1а. Періодично апарат завантажується целюлозою, в тому числі листяною в кількості до 30 %. Для розпускання целюлози у ГРВ використана обігова вода. Об'єм волокнистої маси підтримується постійним, що забезпечує підтримання сталої концентрації маси.

Далі маса із ГРВ 1а відцентровим насосом перекачується у буферний басейн 2а (через витратомір), де вона акумулюється перед розмелюванням.

Для розмелювання або фібрилювання маси використовують здвоєні дискові млини 3А. Оскільки відсоток коротковолокнистого волокна у композиції паперу складає до 30 %, тому пропонується розмелювання проводити сумісно із хвойною целюлозою для досягнення ступеня млива 40 ± 1 °ШР. Встановлено чотири млина. Через кожні два здвоєних дискових млина 3а розміщено акумулюючі басейни розмеленої маси 2а. Приріст ступеня млива на кожному млині досягає ≈ 8 °ШР.

Далі потік розмеленої до визначеного ступеня млива маси насосом подається у композиційний басейн 4а, куди також подається карбонат кальцію для створення лужного резерву, модифікований крохмальний клей та певна кількість оборотного браку. Згідно стандарту папір повинен мати резервну лужність не менше ніж 0,4 моля кислоти/1 кг та значення рН водної витяжки 7,5 – 10,0 [39].

Після композиційного басейна маса перекачується у машинний басейн 5а за допомогою відцентрового насоса.

Композиція маси для виготовлення паперу тривалого збереження, який буде використано для конвертів складається з хвойної целюлози, листяної целюлози із деревини павловнії, наповнювача насосом, через бак постійного рівня 6а подається для тонкого очищення від мінеральних включень. Для забезпечення ретельного очищення маси та для кращого формування полотна, у змішувальному насосі №2 7а відбувається розбавлення маси обіговою водою, очищення маси проводиться з метою вилучення забруднень у вигляді піску та бруду, металевих частинок та ін.

Маса із змішувального насоса №2 подається на 1-й ступінь очищення центриклинерів 8а. Очищення маси відбувається завдяки відцентровим силам, що виникають у вихрових потоках. Відходи з 1-го ступеня центриклинерів збираються у закритому жолобі та розбавляються оборотною водою, після чого направляються на 2-й ступінь очищення. Маса, що пройшла очищення із 2-го ступеня, подається на повторне очищення на 1-й ступінь. Відходи з 2-го ступеня центриклинерів збираються в жолобі №2 та поступають на 3-й ступінь очищення. Відходи 3-го ступеня центриклинерів відводяться у відвал, а очищена маса подається на повторне очищення на 2-й ступінь.

Очищена на центриклинерах маса поступає на вузлоуловлювач 10а через змішувальний насос №1 9а у якому видаляються забруднення волокнистого характеру. Маса подається у верхню частину вузлоуловлювача, де під впливом відцентрової сили важкі включення відкидаються до зовнішньої стінки корпусу та опускаються вниз у жолоб відходів. Очищена маса для виготовлення паперу під впливом тиску та роторних лопатей проходить через отвори сит і подається із апарата через загальний штуцер до напірного ящика 12. Відходи, що не пройшли через сортувальне сито, опускаються по стінках вниз та виводяться через штуцер із заслонкою і направляються на плоску вібраційну сортувалку 11а. За рахунок вібрації сита відбувається відокремлення на сортувалці волокна, яке повторно використовується у технологічному потоці, А вода подається у збірник підсіткових вод.

Для формування полотна маса за концентрації 0,50 % подається у напірний ящик закритого типу 12, звідки рівномірно подається на сітковий стіл папероробної машини, який обтягнуто синтетичною сіткою Easy Kleen. Така сітка виготовлена з поліефірного моноволокна з високим вмістом фтористого полімеру. Сітковий стіл оснащено грудним валом, грудною дошкою 13, гідропланками 14 та відсмоктувальними ящиками 15.

Пресова частина ПРМ складається з преса Tri-Vent та преса башмачного типу з подовженою зоною пресування. Паперове полотно після гауч-вала 16 досягає сухості $18 \pm 1\%$ та під дією вакуум-пересмоктувального пристрою 17 подається у пресову

частину машини. Подальше зневоднення паперового полотна до сухості 50 % відбувається з використанням преса Tri-Vent 18, а також преса з подовженою зоною пресування «башмачного» типу 19.

У сушильній частині передбачено встановлення сушильних циліндрів, на яких контактним способом відбувається сушіння паперового полотна. Сушильні циліндри розташовуються у шаховому порядку у два яруси загальною кількістю 93-и сушильних і 2-х холодильних циліндрів діаметром 1500 мм. За приводом сушильна частина поділяється 8 груп: I приводна група включає 11 сушильних циліндрів, наступні II – VII приводні групи – кожна по 12 сушильних циліндрів, VIII група складається з 10 сушильних і 2-Х холодильних циліндрів. Сушильні циліндри обтягнуті сушильними синтетичними сітками, які притискають полотно до нагрітої поверхні циліндрів.

Після холодильних циліндрів 21 паперове полотно направляється на 4-вальних машинний каландр 22, де папір набуває гладкості; після каландра папір подається на накат 23 та поздовжньо-різальний верстат 24. після цього папір у рулонах направляється на склад.

Технологічною схемою виробництва паперу передбачено використання обігового браку. Брак, який утворюється в сітковій та пресовій частині, поступає в гауч-мішалку 26. Мокрий брак із гауч-мішалки 26 безперервно подається на згущувач 27, а потім у басейн оборотного браку 32. Із басейна оборотного браку 32 брак дозується в композиційний басейн 4а до 7 %, що не порушує концентрацію маси.

Сухий машинний брак потребує розпускання, для чого встановлено ГРВ 28. розпускання браку відбувається у присутності реєстрової води, яка поступає із басейна реєстрових вод 25. Далі розпущена на волокна маса перекачується у пульсаційний млин 31 для додаткового дорозпускання пелюсток та подається в басейн оборотного браку 32. Після акумулювання оборотного браку маса використовується у потоці і дозується в композиційний басейн 4а у строгій кількості.

Вода у технологічній схемі використовується для підготовки маси у вигляді обігової та свіжої (тільки у тих процесах, де передбачено використання обігової). Регістрові води, що акумулюються у реєстровій частині басейна, містять дрібне

волокно і використовуються в ГРВ для розпускання хвойної та листяної целюлози, для розбавлення маси в змішувальних насосах №1 та №2 і для розпускання обігового браку. Вода від відсмоктувальних ящиків направляється в жолоби №1 та №2 батареї центриклинерів. Освітлена вода після дискового фільтра 29 направляється у бак прояснених вод 33, а волокно подається у басейн обігового браку 32, а далі у композиційний басейн 4а.

Висновки до розділу II

Технологічна схема виробництва паперу для виготовлення конвертів для збереження друкованих матеріалів передбачає послідовний та ефективний процес перероблення целюлозної сировини. У процесі використовуються хвойна у концентрації 80% та листяна целюлоза з деревини павловнії (Paulownia Clon in vitro 112®) у концентрації 20%, що дозволяє створити папір із заданими характеристиками тривалого збереження.

Таким чином, представлена технологічна схема виробництва паперу забезпечує високу якість кінцевого продукту, раціональне використання ресурсів та відповідність сучасним вимогам до довговічності паперових матеріалів для збереження друкованих документів.

З МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1 Підготовка сировини і варильного розчину

Для проведення експерименту було використано однорічну листяну деревину, а саме павловнію гібрид *Paulownia Clon in vitro 112®*, вирощену в Одеській області. Всі зразки були попередньо очищені від кори та механічних включень. Для варіння використовували хімічні реактиви у вигляді гідроксиду натрію (NaOH), каталізатори антрахінон ($C_{14}H_8O_2$) та етиловий спирт (C_2H_6O).

Зразки павловнії подрібнювали до частинок розміром 2 – 3 мм за допомогою лабораторного ножа. В автоклав завантажували по 45 г повітряно сухих підготовлених трісок та заливали варильним розчином з дотриманням гідромодуля (ГМ) 5 : 1.

Етап 1. Витрати активного лугу складали 20 % в од. Na_2O від маси абсолютно сухої сировини.

Делігніфікацію трісок проводили за таких умов:

1. Чисто натронне варіння (2 автоклави);
2. Натронне варіння + 0,1 % антрахінону (AX) від маси абсолютно сухої сировини;
3. Натронне варіння + 20 % об'ємних етилового спирту.

Варіння проводили окремо в автоклавах: 2 автоклави – чисто натронне варіння; 1 автоклав – натронне з використанням антрахінону (AX) в кількості 0,1 % від маси абсолютно сухої сировини; 1 автоклав – натронне 20 % об'ємних спирту.

Варіння трісок павловнії проводили в гліцериновій бані з підйомом температури від 110 °C, поступово підвищуючи її до 170 °C протягом 2 годин. Тривалість варіння за кінцевої температури продовжуємо ще 2 години (рис. 3.1).

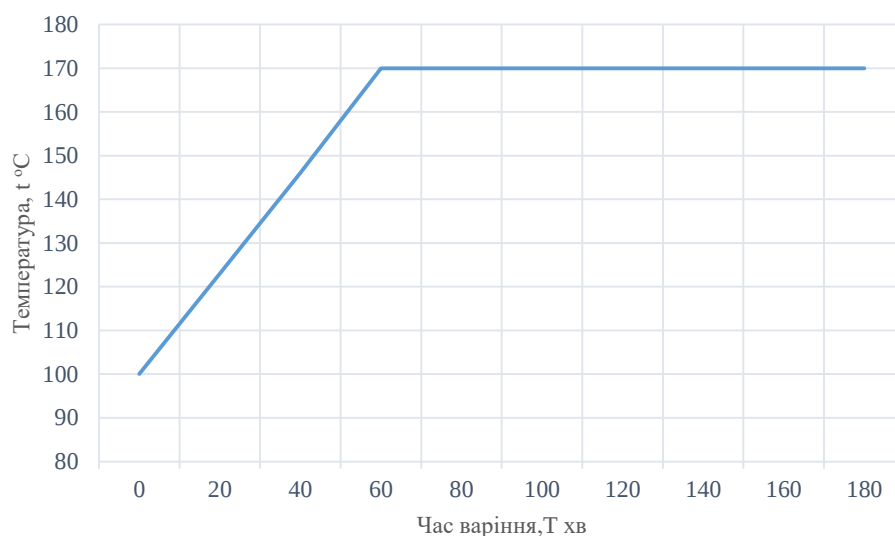


Рис. 3.1 – Температурний графік варіння

Після завершення варіння, автоклави охолоджували до кімнатної температури, а тиск повільно знижували до атмосферного. Відпрацьований щолок зливали в окрему ємність, а отриману масу промивали проточною водою до нейтрального рН, віджимали, зважували, визначали вологість.

Етап 2. Для проведення експерименту було використано чотири види сировини, а саме: вільха, ліщина, павловнія та суміш вільхи з ліщиною. Всі зразки були попередньо очищені від кори та механічних включень. Для варіння використовували хімічні реактиви у вигляді гідроксиду натрію за витрат активного лугу 20 % та 22 % в од. Na_2O від маси абсолютно сухої сировини.

Всю деревину подрібнювали до трісок довжиною 3 – 4 см. товщиною – 1,5 – 2 мм за допомогою лабораторного ножа. В автоклав завантажували по 45 г повітряно сухих підготовлених трісок та заливали варильним розчином з дотриманням гідромодуля (ГМ) 5 : 1. Витрати активного лугу складали 20 % та 22 % в од. Na_2O від маси абсолютно сухої сировини.

Делігніфікацію трісок проводили чисто натронним способом.

Варіння кожного виду сировини проводили в окремих автоклавах:

- 1 автоклав – вільха за витрат активного лугу 20 %;
- 1 автоклав – вільха за витрат активного лугу 22 %;
- 1 автоклав – ліщина за витрат активного лугу 20 %;

1 автоклав – ліщина за витрат активного лугу 22 %; 1 автоклав – павловнія за витрат активного лугу 20 %;

1 автоклав – павловнія за витрат активного лугу 22 %;

1 автоклав – суміш ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %.

Варіння проводили в гліцериновій бані з підйомом температури від 80 °С, поступово підвищуючи її до 170 °С протягом 2 годин. Тривалість варіння за кінцевої температури продовжували ще 2 години (рис. 3.2).

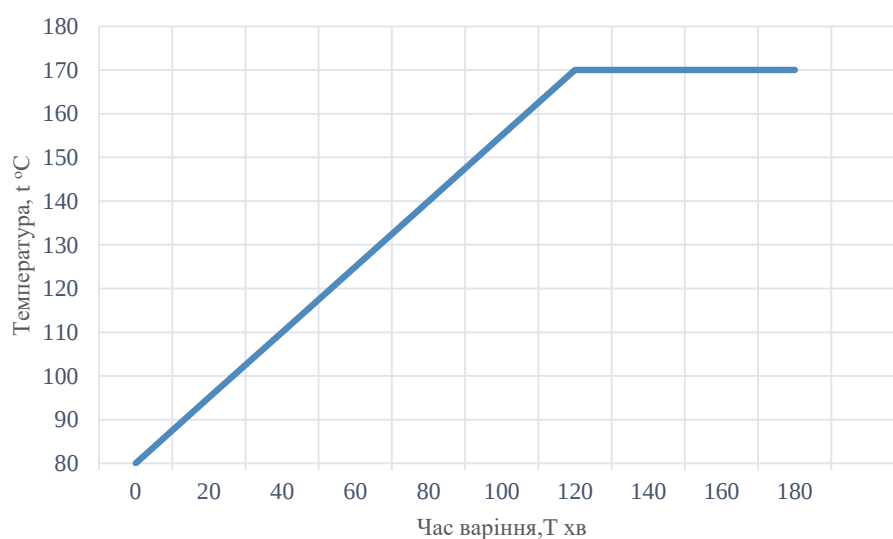


Рис. 3.2 – Температурний графік варіння

Після завершення варіння, автоклави охолоджували до кімнатної температури. Відпрацьований щолок зливали в окрему ємність, а отриману масу промивали проточною водою до нейтрального рН, віджимали, зважували, визначали вологість.

3.2 Розмелювання волокнистих напівфабрикатів

Щоб визначити показники міцності волокнистих напівфабрикатів, їх піддавали розмелюванню у відцентрово-розмелювальному апараті до 60 °ШР і виготовляли відливки масою 75 г/м² згідно стандарту [37].

Для розмелювання використано наважку ВНФ у мокрому вигляді масою у перерахунку на абс. сух. масу 16 г. Кількість води була такою, щоб концентрація маси склала 6 %. Целюлозу кількісно перенесено у стакан відцентрово-розмелювального

апарата. Розмелювання проводили до досягнення ступеня млива (60 ± 2) °ШР, що контролювали з використанням приладу СР-2 типу Шоппер-Ріглера. Відливки целюлози виготовлено на листовідливному апараті типу ЛА-1.

3.3 Методика проведення штучного старіння ВНФ

Згідно стандартної методики [36] було проведено штучне старіння зразків ВНФ, які було виготовлено у лабораторних умовах.

Зразки ВНФ, які було отримано – із вільхи за витрат активного лугу 20 % та 22 %; ліщини за витрат активного лугу 20 % та 22%; павловнії за витрат активного лугу 20 % та 22%; суміші ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 % розрізали навпіл кожний. Всі зразки до випробування витримували у файлах для захисту впливу навколишнього середовища. Одну частину кожного зразка піддавали випробуванню на фізико-механічні показники і приймали значення за вихідні дані. Другу частину цих зразків було поміщено у сушильну шафу так, щоб всі зразки між собою не контактували та витримували їх за температури 105 °С протягом 6 діб (144 год). Витримування за цих умов супроводжувалося виключенням шафи після робочого дня, оскільки у листопаді були тривалі відключення світла, тому експеримент тривав довше, що вплинуло на тривалість старіння для таких зразків. Для зразків із суміші ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %, павловнії за витрат активного лугу 22 % старіння проводилось за температури 105 °С протягом 5 діб (тобто 120 год).



Рисунок 3.3 – Візуалізація процесу штучного старіння у шафі за температури 105 °C

Після проведення експерименту всі зразки, піддавалися випробуванням на механічні показники: розривне зусилля (P), розривну довжину (L), міцність під час багаторазових перегинів та абсолютний опір роздиранню (E) за стандартними методиками [23]. Це дозволяє визначити залежність між ступенем деструкції волокон, що відбувається протягом періодів, еквівалентних 50 рокам старіння [36].

3.4 Методика проведення природного старіння ВНФ

Зразки ВНФ, які було отримано – із вільхи за витрат активного лугу 20 % та 22 %; ліщини за витрат активного лугу 20 % та 22%; павловнії за витрат активного лугу 20 % та 22%; суміші ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 % було підвішено на дерев'яній паличці так, щоб всі зразки між собою не контактували, та отримували рівномірний вплив навколишніх факторів на старіння. Раз на тиждень змінювалась сторона якою зразки були направлені до вікна. Зразки витримували 60 діб. Дані про світловий день та вологість наведено у таблиці 3.2.



Рисунок 3.3 – Візуалізація процесу природного старіння впродовж 60 днів

Таблиця 3.2 – Дані про світловий день та вологість повітря

Показник	Кількість діб
Ясна погода	26
Похмура погода	34
Вологість повітря більше 90 %	37

Після проведення експерименту всі зразки, піддавалися випробуванням на механічні показники: розривне зусилля (Р), розривну довжину (L), міцність при багаторазових перегибах та абсолютний опір роздиранню (Е).

Висновки до розділу III

За методиками було проведено 2 етапи експериментів у ході яких отримано волокнисті напівфабрикати. Наведено методики проведення природного та штучного старіння зразків ВНФ. Наведено методики дослідження зразків на механічні показники та кислотність.

4 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

4.1 Делігніфікація деревини павловнії натронним способом

У результаті першого етапу експерименту проведено варіння деревини павловнії натронним способом з використанням каталізаторів антрахінону та спирту. Отримано ВНФ, результати яких наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати натронного варіння павловнії за витрат активного лугу 20 % від маси абс. сух. сировини

№ п/п	Умови варіння	Вихід, %	Залишковий лігнін, %
1	Чисто натронне	47,02	7,2
2	Натронне +0,1 % АХ	43,94	3,8
3	Натронне +20 % об'ємних спирту	53,13	5,3

Як видно із даних табл. 4.1 чисто натронним способом отримано волокнистий напівфабрикат у вигляді целюлози; з додаванням каталізатора антрахінону (АХ) відбувається покращення делігніфікації, дещо знижується вихід і отримано добре делігніфіковану целюлозу. У випадку використання у натронному розчині 20 % об'ємних етилового спирту після варіння отримано напівфабрикат у вигляді целюлози підвищеного виходу з вмістом деякої кількості непровару (визначено візуально).

4.2 Делігніфікація деревини вільхи, ліщини та павловнії натронним способом

У результаті другого етапу експерименту проведено натронне варіння деревини вільхи, ліщини, павловнії та суміші вільхи і ліщини. Отримано ВНФ, результати яких наведено в табл. 4.2. Як видно із даних табл. 4.2, чисто натронним способом варіння деревини вільхи, ліщини, павловнії та суміші вільхи і ліщини за витрат активного лугу 20 % та 22 % отримано волокнисті напівфабрикати, які за виходом характеризуються як целюлоза. Однак потрібно відмітити, що у всіх випадках спостерігається підвищені

вміст лігніну у ВНФ. Частково отримані дані можна пояснити жорсткими умовами проведення процесу делігніфікації чисто у лужному середовищі, що супроводжується більшим гідролізом вуглеводної частини.

Таблиця 4.2 – Результати виходу і залишкового лігніну в результаті варіння деревини вільхи, ліщини, павловнії та суміші вільхи і ліщини натронним способом за витрат активного лугу 20 % та 22 %

№ п/п	Сировина/ витрати активного лугу	Вихід, %	Залишковий лігнін, %
1	Вільха за витрат активного лугу 22 %	48,6	9,7
2	Вільха за витрат активного лугу 20 %	49,8	11,3
3	Ліщина за витрат активного лугу 22 %	44,9	9,6
4	Ліщина за витрат активного лугу 20 %	47, 8	11,4
5	Павловнія за витрат активного лугу 22 %	46,5	8,0
6	Павловнія за витрат активного лугу 20 %	50,7	8,7
7	Суміш ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %	51,4	11, 4

Характеристики старіння паперу, виготовленого з целюлози листяної та хвойної деревини, можуть суттєво відрізнятися через різні властивості волокна. Для целюлози листяних порід характерні короткі волокна 0,5 – 1,5 мм, для хвойних порід – довгі волокна 2 – 4 мм. У листяному ВНФ нижчий вміст лігніну порівняно з хвойною целюлозою, що призводить до зміни властивостей старіння [6].

4.3 Вплив природного та штучного старіння на показники волокнистих напівфабрикатів, отриманих із деревини вільхи, ліщини та павловнії натронним способом

Одну частину зразків, отриманих ВНФ піддавали дослідженню на фізико-механічні показники – вихідні дані.

Іншу частину зразків, отриманих ВНФ піддавали природному та штучному старінню та досліджували їх фізико-механічні показники.

Отримані дані фізико-механічних показників вихідних, та після природного та штучного старіння наведено в табл. 4.3 – 4.6.

Таблиця 4.3 – Показники розривної довжини (за Гартига) для вихідних зразків та зразків природнього (60 діб) та штучного старіння (144 год, 120 год)

№ п/п	Сировина/витрати активного лугу	Розривна довжина за Гартига, м		
		Вихідні зразки	Природне старіння	Штучне старіння
1	Вільха за витрат активного лугу 22 %	10050	8221	9622
2	Вільха за витрат активного лугу 20 %	9125	8858	7711
3	Ліщина за витрат активного лугу 22 %	10250	8368	7436
4	Ліщина за витрат активного лугу 20 %	8200	6984	6375
5	Павловнія за витрат активного лугу 22 %	7651	8056	6168
6	Павловнія за витрат активного лугу 20 %	8956	7211	
7	Суміш ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %	10135	9043	

Таблиця 4.4 – Показники міцності на злом під час багаторазових перегинів для вихідних зразків та зразків природнього (60 діб) та штучного старіння (144 год, 120 год)

№ п/п	Сировина/витрати активного лугу	Міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п.		
		Вихідні зразки	Природне старіння	Штучне старіння
1	Вільха за витрат активного лугу 22 %	3055	583	1210
2	Вільха за витрат активного лугу 20 %	1080	1020	984
3	Ліщина за витрат активного лугу 22 %	1858	586	956
4	Ліщина за витрат активного лугу 20 %	2406	810	792
5	Павловнія за витрат активного лугу 22 %	2439	2189	1095
6	Павловнія за витрат активного лугу 20 %	759	656	–
7	Суміш ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %	2998	791	–

Таблиця 4.5 – Показники абсолютного опору продавлюванню для вихідних зразків та зразків природнього (60 діб) та штучного старіння (144 год, 120 год)

№ п/п	Сировина/витрати активного лугу	Абсолютний опір продавлюванню, кПа		
		Вихідні зразки	Природне старіння	Штучне старіння
1	Вільха за витрат активного лугу 22 %	342	–	–
2	Вільха за витрат активного лугу 20 %	343	348	–
3	Ліщина за витрат активного лугу 22 %	346	340	–
4	Ліщина за витрат активного лугу 20 %	355	347	–
5	Павловнія за витрат активного лугу 22 %	377	–	–
6	Павловнія за витрат активного лугу 20 %	354	–	–
7	Суміш ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %	419	–	–

Таблиця 4.6 – Показники абсолютного опору роздиранню для вихідних зразків та зразків природнього (60 діб) та штучного старіння (144 год, 120 год)

№ п/п	Сировина/витрати активного лугу	Абсолютний опір роздиранню, мН		
		Вихідні зразки	Природне старіння	Штучне старіння
1	Вільха за витрат активного лугу 22 %	362	360	280
2	Вільха за витрат активного лугу 20 %	395	400	315
3	Ліщина за витрат активного лугу 22 %	398	340	320
4	Ліщина за витрат активного лугу 20 %	370	362	230
5	Павловнія за витрат активного лугу 22 %	304	–	220
6	Павловнія за витрат активного лугу 20 %	357	350	200
7	Суміш ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %	378	–	240

На рис. 4.1 та рис. 4.2 зображено залежність показників абсолютного опору роздирання та міцності на злом під час багаторазових перегинів. Показники дозволяють оцінити зміну механічної міцності целюлозних волокон під впливом природного та штучного старіння.

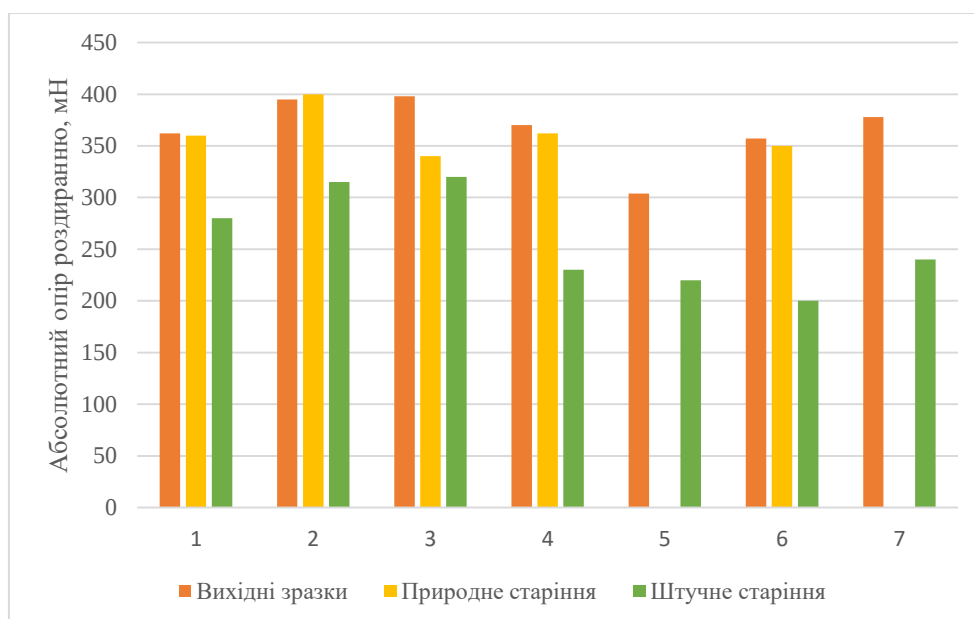


Рисунок 4.1 – Залежність показників абсолютного опору роздирання – 1) вільха за витрат активного луку 22 %; 2) вільха за витрат активного луку 20 %; 3) ліщина за витрат активного луку 22 %; 4) ліщина за витрат активного луку 20 %; 5) павловнія за витрат активного луку 22 %; 6) павловнія за витрат активного луку 20 %; 7) суміш ліщини та вільхи за витрат активного луку 22 %

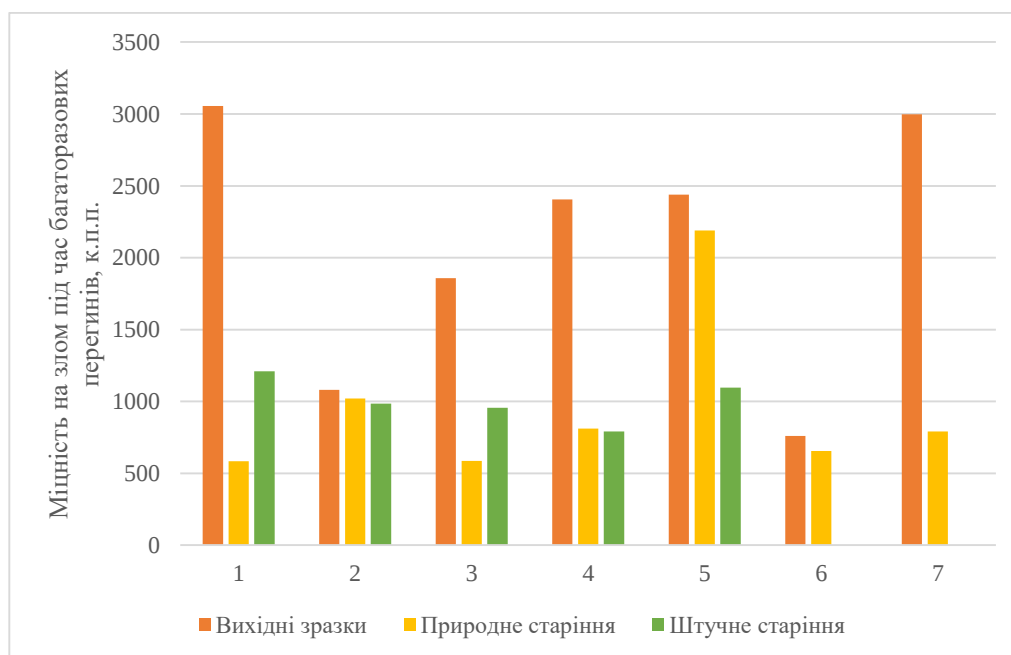


Рисунок 4.2 – Залежність показників міцності на злом під час багаторазових перегинів – 1) вільха за витрат активного луку 22 %; 2) вільха за витрат активного луку 20 %; 3) ліщина за витрат активного луку 22 %; 4) ліщина за витрат активного луку 20 %; 5) павловнія за витрат активного луку 22 %; 6) павловнія за витрат активного луку 20 %; 7) суміш ліщини та вільхи за витрат активного луку 22 %

Вихідні зразки мають найвищі значення абсолютного опору роздирання серед усіх категорій, що свідчить про початкову міцність паперу.

Природне старіння призводить до помітного зниження абсолютного опору роздирання, а також зниження показника міцності на злом під час кількості подвійних перегинів, що зумовлено поступовою деградацією волокон під впливом природних факторів, таких як вологість, температура та світло. Штучне старіння викликає значніше зниження показників порівняно з природним старінням. Інтенсивні умови штучного старіння, такі як підвищена температура, прискорюють процеси деградації волокон, що призводить до швидшого руйнування структури паперу.

Таким чином, графік свідчить про те, що штучне старіння значно інтенсивніше впливає на зменшення міцності паперу, ніж природне старіння. Це підкреслює необхідність розробки ефективних методів захисту паперу для тривалого збереження його фізико-механічних властивостей. У табл. 4.7 та табл. 4.8 наведено відсоток збереження фізико-механічного показника абсолютного опору роздирання для досліджуваних напівфабрикатів.

Таблиця 4.7 – Відсоток збереження показника абсолютного опору роздиранню для зразків природнього (60 діб) та штучного старіння (144 год, 120 год)

№ п/п	Сировина/витрати активного лугу	Відсоток збереження показника, %	
		Природне старіння	Штучне старіння
1	Вільха за витрат активного лугу 22 %	99,44	77,34
2	Вільха за витрат активного лугу 20 %	100	79,74
3	Ліщина за витрат активного лугу 22 %	85,42	80,40
4	Ліщина за витрат активного лугу 20 %	97,83	62,16
5	Павловнія за витрат активного лугу 22 %	—	72,36
6	Павловнія за витрат активного лугу 20 %	98,03	56,02
7	Суміш ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %	—	63,49

Таблиця 4.8 – Відсоток збереження показника міцності на злом під час багаторазових перегинів для зразків природнього (60 діб) та штучного старіння (144 год, 120 год)

№ п/п	Сировина/витрати активного лугу	Відсоток збереження показника, %	
		Природне старіння	Штучне старіння
1	Вільха за витрат активного лугу 22 %	19,08	39,60
2	Вільха за витрат активного лугу 20 %	94,44	91,11
3	Ліщина за витрат активного лугу 22 %	31,53	51,45
4	Ліщина за витрат активного лугу 20 %	33,66	32,91
5	Павловнія за витрат активного лугу 22 %	89,74	44,89
6	Павловнія за витрат активного лугу 20 %	86,42	—
7	Суміш ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %	26,38	—

На основі дані з табл. 4.7 та табл. 4.8 можна зробити наступні висновки:

- природне старіння призводить до поступового зменшення міцності, але цей процес менш інтенсивний у порівнянні зі штучним старінням;
- штучне старіння викликає значно більш виражену деградацію, що проявляється у зниженні показників;
- папір із павловнії та суміші ліщини та вільхи показує кращі результати за деякими показниками опору, але залишається чутливим до штучного старіння;
- вільха демонструє досить стабільні механічні властивості, однак після старіння ці показники також знижуються;
- ліщина характеризується найнижчими показниками міцності серед досліджених зразків.

На рис. 4.3 та рис. 4.4 зображено залежність показників абсолютного опору продавлюванню та розривної довжини (за Гартига).

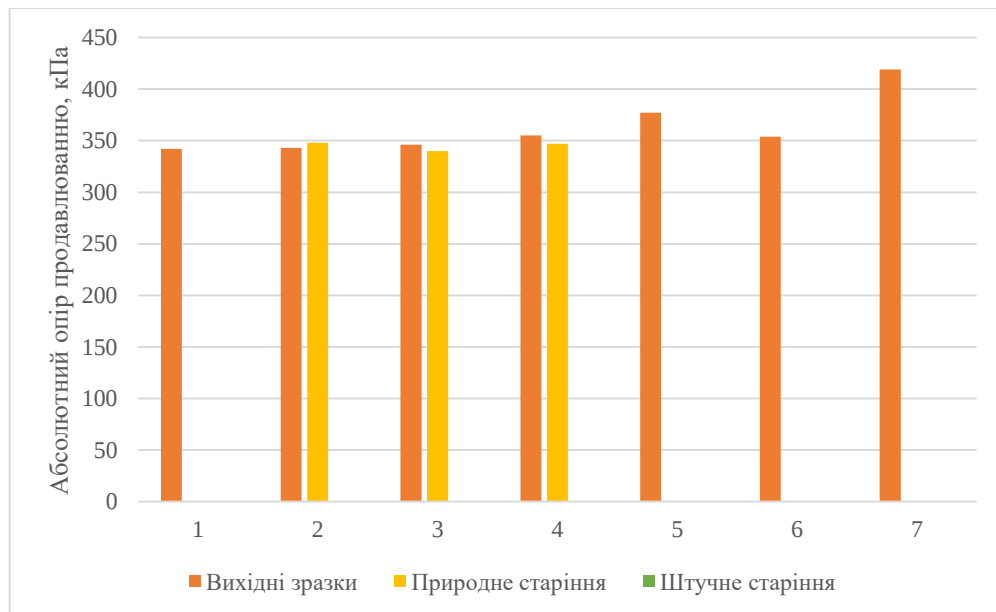


Рисунок 4.3 – Залежність показників абсолютного опору продавлюванню – 1) вільха за витрат активного луку 22 %; 2) вільха за витрат активного луку 20 %; 3) ліщина за витрат активного луку 22 %; 4) ліщина за витрат активного луку 20 %; 5) павловнія за витрат активного луку 22 %; 6) павловнія за витрат активного луку 20 %; 7) суміш ліщини та вільхи за витрат активного луку 22 %

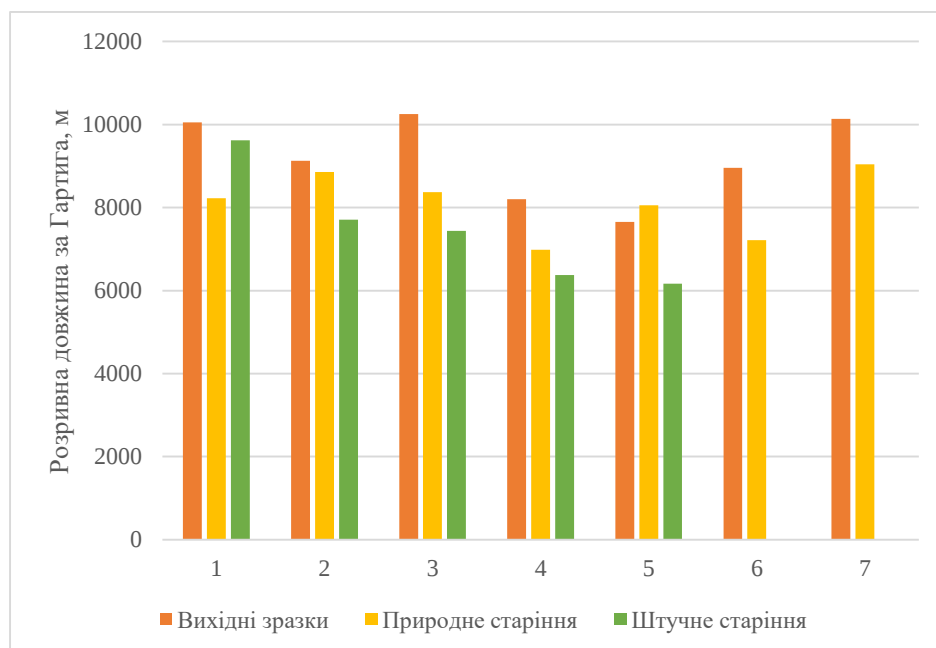


Рисунок 4.4 – Залежність показників розривної довжини (за Гартига) від умов старіння – 1) вільха за витрат активного луку 22 %; 2) вільха за витрат активного луку 20 %; 3) ліщина за витрат активного луку 22 %; 4) ліщина за витрат активного луку 20 %; 5) павловнія за витрат активного луку 22 %; 6) павловнія за витрат активного луку 20 %; 7) суміш ліщини та вільхи за витрат активного луку 22 %

На основі двох графіків, які демонструють залежність абсолютного опору продавлюванню та розривної довжини (за Гартига), можна зробити наступні висновки:

- вихідні зразки демонструють стабільно високий опір продавлюванню, після природного старіння спостерігається загальна тенденція до зниження опору продавлюванню, приблизно на $3 \% \pm 2 \%$;
- вихідні зразки мають вищі показники розривної довжини (за Гартига) з результатами після природного та штучного старіння, після природного старіння спостерігається зниження показника приблизно на $15 \% \pm 2 \%$. Штучне старіння призводить до помітного зниження розривної довжини (за Гартига), приблизно на $45 \% \pm 2 \%$. Це вказує на те, що штучне старіння більш агресивно впливає на волокнисту структуру паперу, знижуючи його опірність роздиранню.

У табл. 4.9 наведено значення білості паперу до та після процесів природного й штучного старіння. Білість є одним із важливих показників якості паперу, оскільки вона відображає ступінь його оптичної деградації та зміни кольору внаслідок старіння.

Таблиця 4.9 – Показники білості для вихідних зразків та зразків природнього (60 діб) та штучного старіння (144 год, 120 год)

№ п/п	Сировина	Білість, % (лампа C/2 ⁰)		
		Вихідні зразки	Природне старіння	Штучне старіння
1	Вільха за витрат активного лугу 22 %	19,4	18,5	17,7
2	Вільха за витрат активного лугу 20 %	19,7	18,1	17,3
3	Ліщина за витрат активного лугу 22 %	19,3	19,3	18,1
4	Ліщина за витрат активного лугу 20 %	20,7	20,8	19,2
5	Павловнія за витрат активного лугу 22 %	17,6	—	16,6
6	Павловнія за витрат активного лугу 20 %	20,1	19,9	19,3
7	Суміш ліщини та вільхи за витрат активного лугу 22 %	16,7	—	16,4

Вихідні ВНФ характеризується максимальною білістю для цих зразків, що свідчить про відсутність або незначну кількість окиснених продуктів та хромофорних сполук.

Виходячи з результатів білості, можна зробити висновок, що під час природного старіння зниження відбувається у межах 0 – 0,9 %. А у випадку штучного старіння – 0,3 – 1,7 %, що вважається не суттєвим. Однак це підтверджує ті закономірності, які отримано для механічних показників, а саме не значне зниження показників.

Природне старіння паперу призводить до поступового зменшення білості внаслідок впливу факторів довкілля, волокна під час природного старіння змінюють колір повільно, зазвичай набуваючи жовтуватих або сіруватих відтінків через окиснення целюлозних волокон та залишків лігніну.

Штучне старіння викликає інтенсивнішу втрату білості порівняно з природним старінням, оскільки наявні умови (наприклад, температура), що прискорюють хімічні реакції деградації целюлози.

За методикою [38] було проведено визначення кислотності вихідних зразків ВНФ та зразків після старіння і результати наведено у табл. 4.8.

Таблиця 4.10 – Показники рН для вихідних зразків та зразків природнього (60 діб) та штучного старіння (144 год, 120 год)

№ п/п	Сировина	рН		
		Вихідні зразки	Природне старіння	Штучне старіння
1	Вільха за витрат активного луку 22 %	9,79	7,02	7,90
2	Вільха за витрат активного луку 20 %	9,29	7,92	7,17
3	Ліщина за витрат активного луку 22 %	9,08	8,63	7,92
4	Ліщина за витрат активного луку 20 %	10,36	7,64	6,95
5	Павловнія за витрат активного луку 22 %	8,99	7,76	7,32
6	Павловнія за витрат активного луку 20 %	9,53	7,53	–
7	Суміш ліщини та вільхи за витрат активного луку 22 %	10,28	8,2	–

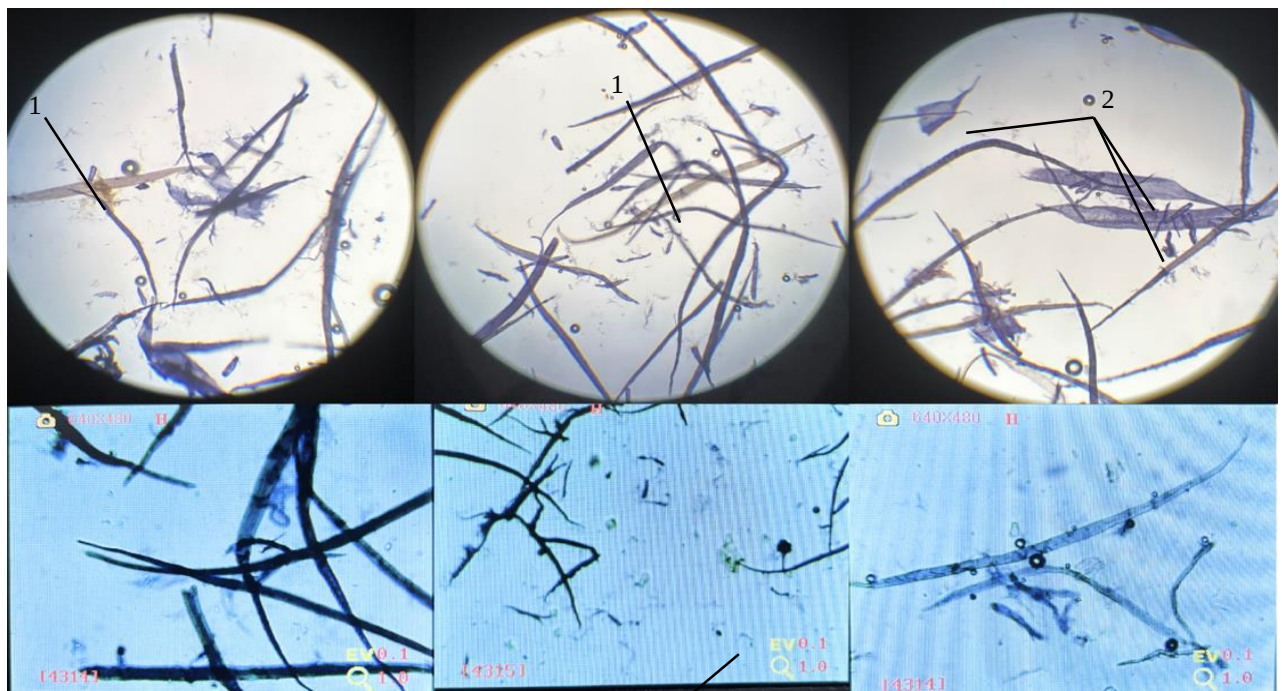
На основі таблиці можна зробити висновки:

- вихідні зразки демонструють різний рівень кислотності (pH), залежно від складу ВНФ та наявності додаткових домішок. pH свідчить про початкову стійкість паперу до старіння;
- природне старіння призводить до поступового зниження pH, тобто підвищення кислотності. Це відбувається внаслідок впливу навколишнього середовища, вологи та окиснювальних процесів, що прискорюють деградацію целюлозних волокон. Папір із підвищеним рівнем кислотності стає більш крихким і схильним до руйнування;
- штучне старіння викликає зниження pH в межах $25 \% \pm 2 \%$, що вказує на накопичення кислих сполук у структурі паперу. Це призводить до швидкого розвитку кисло-каталізованого гідролізу, який руйнує глікозидні зв'язки целюлози і значно знижує механічні властивості паперу.

4.4 Мікроскопічне дослідження волокон після природного та штучного старіння ВНФ вільхи ліщини та павловнії

Було проведено дослідження мікроскопічної будови волокон ВНФ вихідного стану, після природного та штучного старіння для трьох видів сировини: вільхи за витрат активного лугу 22 %, ліщини за витрат активного лугу 22 % та павловнії за витрат активного лугу 22 %. Для порівняння фото були зроблені електронним мікроскопом BRESSER Biolux LCD зі збільшенням 8X10 та на світловому мікроскопі МБУ-4 зі збільшенням 7x40.

Як видно із фото (рис. 4.3 – 4.5) основним є волокно лібриформу добре делігніфіковане (синьо-фіолетове забарвлення), судини. Після старіння штучного волокна лібриформу не значно змінили свою форму, однак, спостерігається наявність відірваних судин та частково кінці волокон. Ця закономірність повністю підтверджує результати механічних показників, які зберігають свої властивості до 75 % основних показників опору роздиранню та міцності на зло під час багаторазових перегинів.

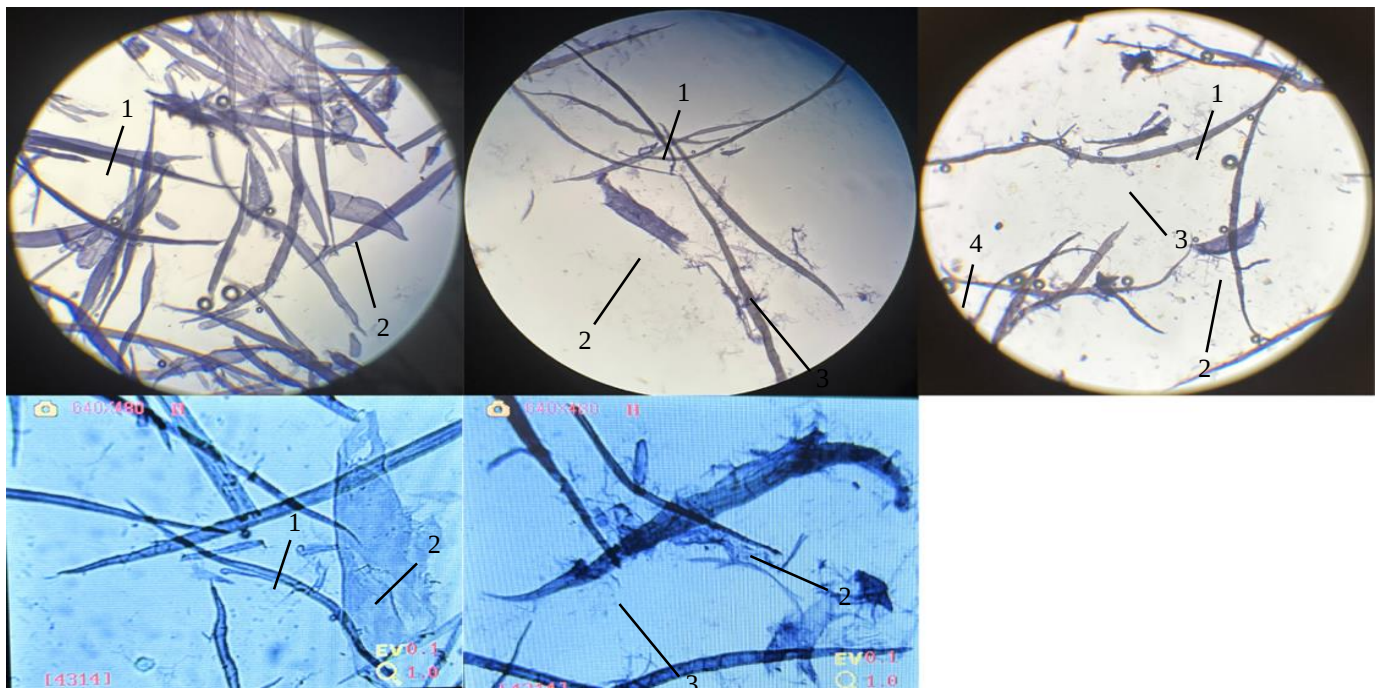


а)

б)

в)

Рисунок 4.3 – Мікроскопічна будова зразків ліщини



а)

б)

в)

Рисунок 4. 4 – Мікроскопічна будова зразків вільхи на світловому та електронному мікроскопі: а) – вихідні зразки; б) – природне старіння; в) – штучне старіння;

1 – волокна лібриформу; 2 – судина з простою перфорацією;

3 – фібрили; 4 – лігнін

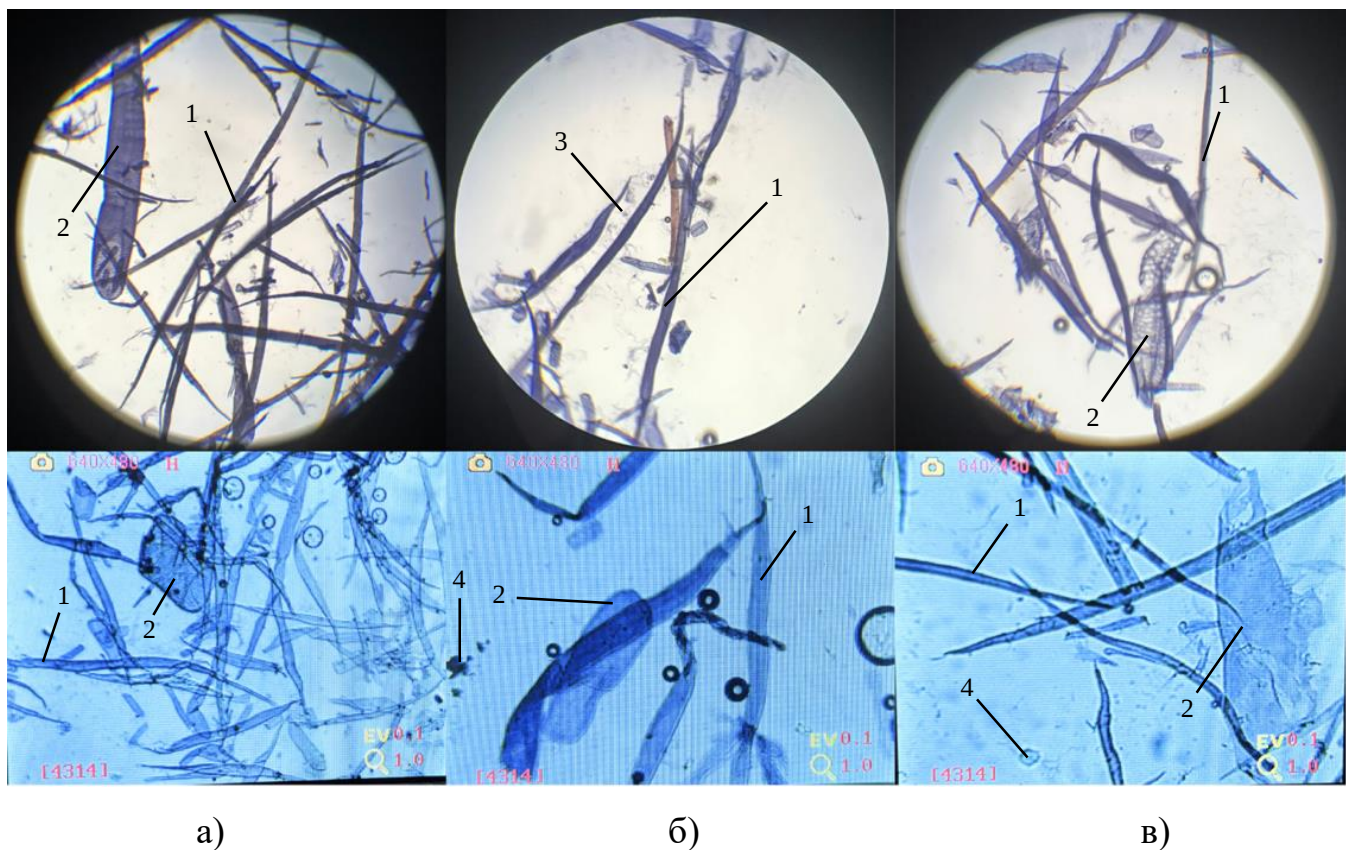


Рисунок 4.5 – Мікроскопічна будова зразків павловнії на світловому та електронному мікроскопі: а) – вихідні зразки; б) – природне старіння; в) – штучне старіння; 1 – волокна лібриформу; 2 – судина з простою перфорацією; 3 – фібрили; 4 – лігнін

Висновки до розділу 4

1. Результати варіння павловнії показали, що чисто натронним способом отримано волокнистий напівфабрикат з виходом 47,02% і залишковим лігніном 7,2%. Додавання 0,1% антрахінону покращує делігніфікацію, хоча вихід зменшується, а залишковий лігнін становить 3,8 %. Додавання 20 % об'ємних етилового спирту підвищує вихід, проте в напівфабрикаті залишається непровар.

2. Варіння різних порід деревини показало, що вихід і залишковий лігнін залежать від умов процесу. Найбільший вихід спостерігається для вільхи та суміші вільхи й ліщини, а найнижчий – для ліщини. Залишковий лігнін коливається від 8,7%

до 13,9%, що вказує на різну ефективність делігніфікації залежно від виду деревини та витрат активного лугу.

3. Аналіз фізико-механічних показників розривної довжини показав, що вихідні зразки мають найвищі значення. Природне старіння призводить до зменшення розривної довжини через поступову деградацію волокон. Штучне старіння викликає ще більше зниження показників через інтенсивний вплив температури.

4. Міцність на злом під час багаторазових перегинів також значно знижується після старіння. Вихідні зразки демонструють найкращі показники, тоді як природне та особливо штучне старіння суттєво зменшують цю властивість, що вказує на деградацію волокнистої структури.

5. Абсолютний опір продавлюванню вказує на стабільність вихідних зразків. Після природного старіння деякі зразки зберігають показники, однак штучне старіння дещо знижує цей параметр.

6. Абсолютний опір роздиранню показує подібну тенденцію: після природного старіння опір роздиранню залишається майже стабільним, тоді як штучне старіння викликає його помітне зниження.

7. Білість паперу зменшується внаслідок як природного, так і штучного старіння. Штучне старіння викликає інтенсивнішу втрату білості через прискорені процеси деградації целюлози.

8. Показники кислотності (pH) демонструють зниження після старіння. Природне старіння спричиняє поступове зниження кислотності, а штучне старіння інтенсифікує цей процес, що призводить до швидкої деградації волокон.

Загалом, результати досліджень показують, що штучне старіння більш інтенсивно впливає на механічні та оптичні властивості паперу порівняно з природним старінням. Це підкреслює важливість впровадження ефективних методів захисту паперових матеріалів для їх тривалого збереження.

5 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА ВИРОБНИЦТВІ

Під час підготовки та розмелювання волокнистих напівфабрикатів, а також виготовлення паперу на працівників впливають різноманітні небезпечні та шкідливі фактори. Важливо контролювати стан робочих місць і санітарно-побутові умови для мінімізації ризиків.

Температура у робочій зоні сягає 20-35 °С, а вологість до 75 %, що вимагає ефективної вентиляції та кондиціонування для підтримання комфортних умов. Шум і вібрація від обладнання можуть спричиняти втому та зниження слуху, тому необхідно застосовувати шумоізоляцію, антивібраційні платформи та захисні засоби. Для запобігання ураженню електричним струмом слід регулярно перевіряти електромережі та використовувати захисні пристрої. Пожежонебезпека через високі температури та пил вимагає встановлення систем пожежної сигналізації, вогнегасників та навчання персоналу.

Таблиця 5.1 – Основні фактичні характеристики мікроклімату цеху

Назва цеху чи приміщення	Фактичний параметр мікроклімату						
	Категорія робіт за важкістю	Холодна пора року			Тепла пора року		
		Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Розмелювально-підготовчий цех	II а	18-20	60-65	0,2-0,3	20-23	55-60	0,2-0,4
Сітково-пресова частина машини	II а	17-22	60-75	0,2-0,3	21-25	60-75	0,2-0,4
Сушильна частина машини і накат	II а	17-23	55-65	0,2-0,3	20-35	55-60	0,3-0,4
Повздовжньо-різальний станок і зона пакування	II а	17-23	55-65	0,2-0,3	20-30	55-60	0,2-0,4

Основне джерело тепла – сушильна частина КРМ.

В пресовій частині машини спостерігається підвищення вологості повітря до 75 %.

Під час виробництва паперу та картону одним із шкідливих факторів є пил, що негативно впливає на очі, дихальні шляхи та викликає алергію. Для безпечних умов праці в операторській встановлено кондиціонер, а у цеху функціонує система опалення, механічної вентиляції та кондиціонування. Система вентиляції забезпечує циркуляцію, очищення та підігрів повітря, знижуючи рівень шкідливих речовин.

Технологічний процес автоматизовано для мінімізації контакту зі шкідливими речовинами. Проводяться медичні огляди та надаються спеціальні продукти харчування. Вміст шкідливих речовин контролюється за ГОСТ 12.1.016-79, а працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту відповідно до ГОСТ 12.4.001-75.

Освітлення у цеху комбіноване: природне та штучне. Для нічного часу використовуються вологонепроникні люмінесцентні лампи ЛПП-04-2×36 з освітленістю до 350 лк.

Джерелами шуму в цеху є обертові частини машин, насоси, вентилятори та вакуум-насоси, що створюють шум до 95 дБА. Для його зниження використовуються звукоізолюючі кабінки, кожухи для обладнання та засоби індивідуального захисту (вкладиші, навушники), що знижують шум до 65 дБА. В операторській рівень шуму не перевищує 55 дБА, що відповідає нормам ДСН 3.3.6.37-99.

Вібрація від обладнання зменшується завдяки пружинним амортизаторам та віброізолюючим опорам. Дистанційне керування забезпечує мінімальний контакт працівників із джерелами вібрації, що відповідає нормам ДСН 3.3.6.039-99.

Небезпека рухомих деталей усувається встановленням сітчастих огорожень і бар'єрів. Персонал проходить навчання та використовує систему аварійної зупинки обладнання.

Для пожежної безпеки встановлені автоматичні системи пожежної сигналізації та гучномовного оповіщення. Використовуються пожежні сповіщувачі та світлозвукові системи для швидкого реагування на загрозу займання.

Таблиця 5.2 – Класифікація основних відділів і установок по вибухо-пожежо-небезпечності, електроустаткуванню та санітарній характеристиці

Назва цеху, відділу, установки	Категорія виробництва по вибухонебезпечності відповідно ЗНТП 24-86	Класифікація приміщень і зовнішніх пристроїв по електрообладнанню відповідно ДНАОП 0.00-1-32 – 01		Група виробничих процесів по санітарній характеристиці СНиП 2.09.04-85 і галузевим нормам
		Клас зони	Категорія і група вибухонебезпечних сумішей	
1. Розмелювально- підготовчий цех	В	П-Па	Вибухонебезпечні суміші відсутні	П-в
2. Картоноробна машина: мокра частина сушильна частина	ДВ	П-Па П-Па	Вибухонебезпечні суміші відсутні	П-в П-а
3. Ділянка обробки, різання і пакування картону	В	П-Па	Вибухонебезпечні суміші відсутні	I-а, I-б

Допустима відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу становить 7,5 метрів. Враховуючи об'єми приміщень, категорію пожежної безпеки виробництва та ступінь вогнестійкості будівлі, визначається необхідна ширина евакуаційних виходів для забезпечення безпечної евакуації персоналу.

Приміщення оснащено пожежним щитом, на якому розміщені вогнегасники, лопати, ящики з піском, багри та відра. Ці засоби відповідають вимогам «Інструкції по утриманню та застосуванню засобів пожежогасіння на підприємствах». Для захисту будівлі від ударів блискавки встановлено щогловий блискавковідвід заввишки 27 метрів. Блискавковідвід з'єднано зі спеціальним заземлювачем за допомогою сталевієї полоси 40x4 мм. Заземлювач складається з двох електродів довжиною 7,5 метрів, які також з'єднані між собою сталевією полосією. Контур

заземлення блискавковідводу підключено до загальної системи заземлення будівлі, при цьому опір заземлювального пристрою становить понад 100 Ом.

Операторська обладнана електричною системою з датчиками сповіщення типу ДЛТ, які підключені до приймальної станції за променевою схемою.

Захист навколишнього середовища при виробництві паперу забезпечується завдяки регенерації щолоків, що утворюються під час варіння целюлози з деревини Павловнії. Цей процес відбувається без застосування каталізаторів на основі антрахінону і не призводить до утворення сірковмісних сполук, таких як метилмеркаптани чи диметилсульфіди. У порівнянні з традиційним сульфатним способом, ця технологія є більш екологічною та не потребує додаткових систем очищення.

Основним джерелом забруднення у целюлозно-паперовому виробництві є стічні води, що містять зважені волокна. Для мінімізації негативного впливу на довкілля у процесі виробництва картону застосовується максимальне використання переробленої води. Надлишки стічних вод проходять очищення на підприємстві за діючою схемою. Осад зі зневодненого волокна утилізується на сміттєзвалищі, що має відповідний дозвіл.

6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

6.1 Опис ідеї стартап-проєкту

Стартап передбачає виробництво екологічного паперу з високими бар'єрними властивостями для виготовлення конвертів, які забезпечують довготривале збереження друкованих матеріалів. Цей папір буде стійким до зовнішніх впливів, таких як волога, ультрафіолетове випромінювання, пил та забруднення, що сприяє збереженню кольору, текстури і міцності документів, фотографій та архівних матеріалів.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея спрямована на вирішення двох ключових проблем: збереження документів і фотографій у безпечному стані та мінімізація впливу виробництва на довкілля. Папір буде виготовлятися з екологічно чистої сировини переробленої целюлози. Особливістю паперу стане його хімічна стійкість, що запобігатиме руйнуванню матеріалів через кислотний гідроліз, вплив світла чи вологості. У папір будуть додані спеціальні стабілізуючі компоненти для підвищення довговічності та збереження механічних і оптичних властивостей матеріалів.	1. Виготовлення конвертів. Інвестувати гроші готові організації з архівного збереження документів та книг, також бібліотеки та музеї задля захисту документів.	Підвищення обізнаності громадськості про проблему довгого зберігання архівних документів.
	2. Комерціалізація результатів наукових досліджень. В отриманні таких результатів можуть бути зацікавлені компанії з виготовлення сировини з целюлози та переробки паперу задля впровадження нової технології.	Вивчення методики виготовлення конвертів. Практичне застосування знань.

Продовження табл. 6.1

	3. Корпоративний сектор. Підприємці готові купляти готовий продукт задля тривалого збереження документів, контрактів, сертифікатів.	Підвищення обізнаності громадськості про важливість збереження документів, контрактів, сертифікатів.
	4. Приватні особи. Використання готової продукції для родинних фотографій, цінних сімейних паперів.	Підвищення обізнаності громадськості щодо використання даного типу збереження.

Висновок: даний стартап матиме наступну назву: «Виробництво екологічного паперу для тривалого зберігання архівних документів». Логотип його зображено на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 – Логотип стартап-проєкту

У сучасному світі інновацій та стартапів, визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проєктної ідеї є ключовим етапом на шляху до успіху. Аналіз техніко-економічних показників, порівняння з потенційними конкурентами та виявлення переваг і недоліків, зазначених у таблиці 6.2, допоможуть краще оцінити потенціал і виклики, які можуть виникнути під час реалізації стартапу.

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Конкурент 1 (Фабрика конвертів «Куверт - Україна».)	Конкурент 2 (Delipaper)	Конкурент 3 (Releaf Paper)			
1	Швидкість виконання	1 год 20 хв	1 год 40 хв	1 год 25 хв	1 год 15 хв		+	
2	Механічні показники паперу	99,7 %	98 %	93 %	96 %			+
3	Стійкість до тривалого зберігання	10 років	7 років	9 років	5,5 років			+
4	Вартість	450 грн	150 грн	200 грн	220 грн	+		
5	Надійність	99,7 %	95 %	95,6 %	92,9 %			+

Висновок: ідея проєкту «Виробництво екологічного паперу для тривалого зберігання архівних документів» має сильні сторони, що можуть сприяти її успішному розвитку. До них відносяться: механічні показники паперу, стійкість до тривалого зберігання та надійність. Вони забезпечують проєкту перевагу на ринку, оскільки виконаний продукт буде більш надійнішим та якісним. Однак, проєкт має слабку сторону – вартість. Саме цей показник може в порівнянні з конкурентами обмежити успіх на ринку. Нейтральна сторона не буде допомагати досягти успіху, але також не буде впливати на зниження показників конкурентоспроможності.

6.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

В умовах швидкого технологічного прогресу і зростаючого попиту на інноваційні рішення, важливим елементом успішної реалізації проєкту є аналіз та вибір оптимальних технологій [25], які наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Покращена технологія вироблення паперу	Технологічний потік для виготовлення сировини	Існують основні технології, але потрібно покращити виробництво	Такі технології є доступні, але їх необхідно вдосконалити для проєкту
2	Лабораторії для аналізу якості виготовленої продукції	Обладнання для аналізу	Технології для перевірки вже існують, але потрібно налаштувати обладнання	Базові технології доступні на ринку, але конкретне обладнання та методи можуть вимагати додаткового вибору
3	Автоматизована система виробництва конвертів для тривалого зберігання паперових документів	Системи автоматизованого виробництва	Для конкретних вимог проєкту потрібно розробити та вдосконалити систему виробництва.	Доступними є базові технології, але потрібно вдосконалити технологічний потік. Можливе залучення нового обладнання

Висновок: реалізація проєкту є досяжною, оскільки на ринку вже є доступні технології, які можна використати для створення покращеної технології виробництва паперу. Проте, важливо врахувати необхідність адаптації та вдосконалення цих технологій для задоволення специфічних потреб проєкту. Оптимальний технологічний підхід передбачає застосування системи автоматизованого виробництва та покращення технологічного потоку.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Сучасний розвиток інновацій та підприємництва відбувається надзвичайно динамічно, і одним із ключових чинників успіху стартапу є ретельний аналіз потенційного ринку. Для цього використовується таблиця 6.4, яка дозволяє отримати комплексний огляд важливих показників та оцінити перспективи проєкту [28,29].

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	6 основних конкурентів на ринку
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	20 % від ринку, приблизно 150 різних покупців. Середній чек на одне замовлення 20000 грн. $150 \cdot 20000 = 3,0$ млн. грн на рік
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Технічні складнощі
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	1. Суворі вимоги до стандартизації 2. Норми для виготовлення паперової сировини
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25 %

Висновок: на основі попереднього аналізу ринок визнано привабливим для входження, оскільки його загальний обсяг є значним і демонструє стабільне зростання. Така динаміка є позитивним сигналом для запуску проєкту, адже збільшення попиту свідчить про перспективність та стійкість ринку.

Важливим етапом створення стартапу є глибоке розуміння потреб і характеристик потенційних клієнтів. Ці аспекти детально розглядаються у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреби, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Виробництво екологічного паперу для тривалого зберігання архівних документів	Архівні бюро, бібліотеки, музеї, місцеві органи влади, індивідуальні споживачі	Стандарти та регулювання, цінова чутливість, репутація, споживацька довіра	До продукції: надійність, ефективність. До компанії-постачальника: співробітництво та партнерство, прозорість, комунікація та дотримання стандартів.

Висновок: цільова аудиторія стартап-проєкту охоплює широкий спектр секторів - архівні бюро, бібліотеки, місцеві органи влади, індивідуальні споживачі. Попит на ринку обумовлений потребою у зберіганні документів, що забезпечує сприятливі умови для реалізації нашого стартапу.

У сучасному динамічному бізнес-середовищі, де конкуренція постійно зростає, важливо не лише розробити інноваційний продукт, але й ретельно оцінити потенційні загрози (табл. 6.6) та можливості (табл. 6.7), які можуть впливати на успішність проєкту.

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Технічна надійність обладнання	Технічні несправності	Вдосконалення технічного процесу
2	Відповідність стандартам якості паперу	Невідповідність нормативам та стандартам	Системний моніторинг вимог та адаптація продукту
3	Вплив війни і наслідки пандемії	Зменшення виробничої потужності через обмеження на ринку праці	Планування резервних поставок сировини, залучення додаткової робочої сили.

Висновок: Аналіз факторів загроз є ключовим елементом стратегічного управління стартап-проектом. Оцінка технічної надійності обладнання підкреслює потребу у безперервному вдосконаленні технологічних процесів та забезпеченні належної підтримки системи. Відповідність стандартам якості води вимагає регулярного моніторингу та адаптації продукту до змін у нормативних вимогах. Також важливо враховувати вплив воєнних дій та наслідків пандемії, які акцентують увагу на необхідності планування альтернативних постачань сировини. Завдяки врахуванню цих аспектів компанія зможе швидко адаптуватися до зовнішніх змін, зберігаючи стабільність та конкурентоспроможність.

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання екологічної свідомості	Підвищення уваги до виготовлення екологічного паперу з переробленої сировини	Активна участь в кампаніях з освіти та сприяння екологічній свідомості
2	Регулярні ініціативи та фінансова підтримка інвесторів	Заохочення до використання інновацій у сфері виготовлення паперової продукції	Активна взаємодія з інвесторами та пошук фінансової підтримки
3	Розширення глобального ринку паперової продукції	Зростання можливостей для міжнародного впровадження	Розробка міжнародної стратегії та вивчення місцевих особливостей
4	Вплив війни і наслідки пандемії	Зростання попиту на ринку паперової продукції через підвищений інтерес	Розширення виробництва та посилення маркетингових заходів для привертання клієнтів

Висновок: можливості для розвитку цього стартапу відкривають широкий спектр перспектив, спрямованих на підвищення ефективності та зміцнення конкурентних позицій компанії. Вони включають розширення виробничих потужностей та впровадження активних маркетингових стратегій для залучення клієнтів.

Далі проводиться поетапний аналіз конкурентного середовища (табл. 5.8), який є важливою частиною стратегічного управління компанією. Такий аналіз допомагає оцінити вплив різноманітності конкурентів на діяльність підприємства та визначити можливі напрямки розвитку [29].

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції – монополістична	На ринку представлено багато учасників, які пропонують диференційовану продукцію, забезпечуючи споживачам широкий вибір	Ефективна реклама та активні маркетингові заходи можуть допомогти підвищити впізнаваність бренду та сформувати позитивну репутацію серед цільової аудиторії.
2. За рівнем конкурентної боротьби – національний	Співпраця з основними учасниками та партнерами на національному рівні сприятиме зміцненню позицій стартапу та отриманню додаткових ресурсів	Для охоплення національного ринку компанії доведеться інвестувати значні зусилля у просування своїх продуктів і технологій.
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція ведеться між підприємствами, що працюють у тому ж сегменті ринку та пропонують схожі послуги чи продукти.	Щоб випередити конкурентів, компанії необхідно постійно інвестувати у дослідження, розробки та впровадження новітніх технологій і інновацій.
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Змагання між аналогічними товарами, які використовуються	Для збереження конкурентоспроможності потрібно постійно покращувати якість продукції та додавати нові функціональні можливості.
5. За характером конкурентних переваг – нецінова	Ключовим є розробка та реалізація інноваційних функцій і технологій, які роблять продукт більш зручним і ефективним для користувачів	Важливо забезпечувати високу якість продукції та відповідність стандартам безпеки і якості.
6. За інтенсивністю – марочна	Основний акцент робиться на створенні унікального бренду	Підтримка високого рівня сервісу.

Висновок: Ступеневий аналіз конкуренції на ринку демонструє широку різноманітність конкурентного середовища, що вимагає від компанії високої адаптивності та стратегічного підходу для досягнення успіху. Ретельний та комплексний підхід до різних типів конкуренції, а також виважена стратегія, дозволять стартапу ефективно працювати у конкурентному середовищі та забезпечити стабільний розвиток.

Далі буде проведено поглиблений аналіз конкуренції у галузі за моделлю М. Портера (табл. 6.9), який надасть всебічний огляд стану ринку [30]. Аналізуючи ключові аспекти, такі як прямі конкуренти, потенційні учасники ринку, постачальники, клієнти та товари-замінники, ми зможемо виявити стратегічні можливості та виклики, що постають перед нашим стартап-проектом.

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	1. Фабрика конвертів «Куверт-Україна». 2. Delipaper 3. Releaf Paper	Бар'єри входження в ринок: - маркетингові; - технологічні; - фінансові.	Фактори сили постачальників: - бренд та репутація; - унікальні технології; - доступ до ресурсів.	Фактори сили споживачів: - цінова чутливість; - свідомість; - вимоги до якості; - сприйняття бренду.	Фактори загроз з боку замінників: - цінова конкуренція; - альтернативні технології; - інновації в галузі.
Висновки:	На початку конкурентний тиск буде мінімальним	Можливо-сті входу в ринок є. Потенційні конкуренти будуть. Строки виходу їх на ринок будуть становити декілька років.	Постачальники диктують наступні умови роботи на ринку: - цінова політика; - умови виробництва; - специфічні умови.	Клієнти диктують наступні умови роботи на ринку: - потребують високу якість.	Обмеження для роботи на ринку через товари замінники. Товарів замінників немає. Можуть бути тільки прямі конкуренти.

Висновок: з урахуванням існуючої конкурентної ситуації, робота на ринку є принципово можливою, проте успіх проєкту значною мірою залежатиме від ефективності стратегій розвитку, інноваційного підходу до продукту та здатності конкурувати на насиченому ринку. Вирішальними факторами для досягнення успіху стануть детальний аналіз конкурентів та врахування ключових вимог ринку.

Для збереження конкурентоспроможності проєкт має забезпечувати доступні ціни на послуги, оперативну обробку замовлень та суворе дотримання екологічних стандартів.

На основі аналізу конкурентного середовища (табл. 6.9), а також з урахуванням характеристик ідеї проєкту (табл. 6.2), вимог споживачів до товару (табл. 6.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 6.6 і 6.7), було визначено та обґрунтовано основні фактори конкурентоспроможності, наведені в таблиці 6.10 [31].

Таблиця 6.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспро- можності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1	Механічні показники виготовленого паперу	Від механічних показників залежить тривалість зберігання архівних документів. Якщо показники будуть низькими, можна втратити цінні папери.
2	Стійкість до тривалого зберігання	Завдяки продовженій стійкості паперу для виготовлення конвертів, строк зберігання документів продовжується.
3	Вартість послуг	Пропонування послуг за конкурентними цінами, що допоможе триматись на ринку.
4	Кваліфікація персоналу виробництва	Даний фактор впливає на якість виготовленого паперу. Завдяки кваліфікованим робітникам можна вносити інновації у виробництво.
5	Необхідність дотримання екологічних стандартів	Завдяки цьому фактору буде дотримуватись екологічне виробництво паперу. Це може сприяти збільшенню довіри клієнтів.
6	Репутація та довіра	Виробництво що має високий рівень довіри, може залучати більше клієнтів, зберігати та розширювати свою клієнтську базу.
7	Доступність та зручність надання послуг	Доступність інформації про виробництво, можливість замовлення та оплати онлайн, швидкість виконання замовлень можуть вплинути на рішення клієнта про вибір

Висновок: аналіз конкурентоспроможності вказує на ключові фактори, а саме: якість, вартість послуг, кваліфікація персоналу, дотримання екологічних стандартів, репутація та довіра, а також доступність та зручність надання послуг стають критичними аспектами конкурентоспроможності.

Загальний успіх буде залежати від того, наскільки ефективно виробництво зможе поєднати ці фактори, створюючи при цьому інноваційні рішення та відповідаючи високим стандартам якості та обслуговування.

Надалі за визначеними факторами конкурентоспроможності в таблиці 10 проводимо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проєкту (табл. 6.11) [32].

Таблиця 6.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Децентралізована сертифікація якості води»

№п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали/ 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з децентралізованою сертифікацією якості води						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Механічні показники виготовленого паперу	1		@	•		○		
2	Стійкість до тривалого зберігання	2		○	@			•	
3	Вартість послуг	2			@		○	•	
4	Кваліфікація персоналу лабораторії	3	○	@	•				
5	Необхідність дотримання екологічних стандартів	2				• ○			
6	Репутація та довіра	1		@	•		○		
7	Доступність та зручність надання послуг	1				@ ○			

@ – перший конкурент (Фабрика конвертів «Куверт-Україна».)

• – другий конкурент (Delipaper)

○ – третій конкурент (Releaf Paper)

Висновок: сильними сторонами стартап-проєкту, порівняно з конкурентами є наступні: стійкість до тривалого зберігання, механічні показники виготовленого паперу, кваліфікація персоналу лабораторії, репутація та довіра. Слабкою стороною проєкту є вартість послуг.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проєкту є SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (табл. 6.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, сильних і слабких сторін в таблиці 6.11 [30].

Таблиця 6.12 – SWOT – аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: 1. Механічні показники виготовленого паперу. 2. Стійкість до тривалого зберігання 3. Кваліфікація персоналу. 4. Репутація та довіра.	Слабкі сторони: 1. Вартість послуг.
Можливості: 1. Папір має міцність і стійкість до механічних пошкоджень, що забезпечує його довговічність. 2. Виготовлений папір відповідає стандартам для архівного зберігання та стійкий до впливу часу, вологи та кислотного середовища. 3. Досвідчені спеціалісти забезпечують високу якість продукції та оптимізацію виробничих процесів. 4. Орієнтація на якість та екологічність сприяє формуванню позитивної репутації серед клієнтів.	Загрози: 1. Виробництво екологічного паперу потребує дорогих матеріалів та обладнання, що підвищує кінцеву ціну продукції. 2. Стартап може стикатися зі складнощами у масштабуванні виробництва для виконання великих замовлень. 3. Вартість та доступність екологічно чистої сировини можуть впливати на стабільність виробництва.

Висновок: сильними сторонами стартап-проєкту порівняно з конкурентами є: механічні показники, стійкість до тривалого зберігання, кваліфікація персоналу, а також репутація та довіра. Слабкою стороною проєкту є вартість послуг.

На основі SWOT-аналізу далі розробляємо та аналізуємо альтернативи ринкової поведінки, з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 6.13), для виведення стартапу на ринок, а також орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, які можуть бути виведені на ринок [33, 34].

Таблиця 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Розвиток використання смарт-контрактів для постачання продукції	Технічний персонал, інвестиції	від 3 до 6 міс.
2	Партнерство із організаціями захисту довкілля	Фінансові ресурси, команда з екологічних експертів та фахівців	від 4 до 12 міс.

Висновок: таким чином, обираємо альтернативу розвиток використання смарт-контрактів, оскільки отримання ресурсів для неї є більш простими та ймовірними, а також строки її реалізації є більш стислими.

6.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту

Важливим етапом в розвитку будь-якого проєкту є аналіз цільових груп потенційних споживачів (табл. 6.14) [25]. Розглядаючи вимоги та особливості кожної групи клієнтів, ми можемо легше визначити, які аспекти нашого продукту є найбільш значущими для різних сегментів ринку.

Таблиця 6.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
----------	--	---	---	--------------------------------------	--------------------------

1	Група потребує конверти для тривалого зберігання документів	Висока, так як готовність споживачів сприймати продукт залежить від	Значний, оскільки мають значний обсяг документів та потребують	Середня, на ринку існує декілька конкурентів, які	Легка, якщо виробництво може запропонувати високоякісні послуги
---	---	---	--	---	---

Продовження табл. 6.14

	(наприклад архівне бюро)	конкретних потреб кожної окремої організації.	багато продукту	пропонують схожі послуги	за доступними цінами.
2	Група цікавиться технологічною схемою виробництва для використання у своїх наукових дослідженнях	Висока, оскільки має просту та технологічно удосконалену схему	Може бути середнім або низьким, залежно від доступності альтернативних джерел інформації	Може бути помірною, в залежності від компаній, що готові поділитись схемою виробництва	Може бути високою або низькою, залежно від конкретних умов та ринку
3	Дана група є клієнтом, оскільки можуть використовувати конверти для зберігання договорів (наприклад ФОП)	Висока, оскільки потребують якісну продукцію	Запит на продукт може бути стабільним та зростати від збільшення обсягів роботи	Може бути високою, оскільки виробництвом є висока якість і швидкість надання послуг	Може бути різною у залежності від рівня стандартів якості
Які цільові групи обрано: 1) організації та підприємства, які використовують конверти та мають високі стандарти якості для своєї продукції; 2) студенти та молодь віком до 25 років; 3) Клієнти що використовують продукт для тривалого зберігання документів.					

Висновок: на основі аналізу потенційних споживчих груп ми вирішили зосередитися на одній ключовій цільовій аудиторії – організаціях та підприємствах, які активно використовують конверти та висувають високі вимоги до якості продукції. Усі подальші маркетингові стратегії будуть спрямовані саме на цей сегмент.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформуванати базову стратегію розвитку (табл. 6.15).

Таблиця 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розвиток використання смарт-контрактів.	Надання унікальної послуги та видача сертифікатів якості продукції.	Безпека та надійність, низькі витрати на посередників, автоматизація процесів, доступність	Стратегія диференціації

Висновок: обрано стратегію диференціації, що ґрунтується на створенні унікальної та інноваційної послуги, яка вирізняється від інших пропозицій на ринку.

Наступним нашим кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.16).

Таблиця 6.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Буде шукати нових та забирати існуючих у конкурентів.	Так, незначним копіюванням дизайну послуг, функції, цінову політику, рекламу	Стратегія наслідування лідеру

Висновок: стартап-проєкт не є новатором на ринку, однак компанія зосередить свої зусилля на залученні нових клієнтів шляхом розробки ефективних маркетингових і рекламних стратегій.

Виходячи з вимог споживачів у вибраних сегментах до постачальника (стартап-компанії) та до продукції, а також враховуючи обрану базову стратегію розвитку й конкурентну стратегію, формується стратегія позиціонування (табл. 6.17). Вона передбачає створення ринкової позиції, що дозволить споживачам легко ідентифікувати торговельний проєкт.

Таблиця 6.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1	Надійність, ефективність, точність	Стратегії диференціації та наслідування лідеру	Забезпечення безпеки та конфіденційності даних клієнтів	Надійність, швидкість, точність
2	Співробітництво та партнерство	Стратегія наслідування лідеру	Низькі витрати на посередників	Надійність, професійність, авторитетність
3	Прозорість та комунікація	Стратегія наслідування лідеру	Доступність, автоматизація процесів	Доступність, легкість знайти, близько до клієнта
4	Дотримання стандартів	Стратегії диференціації та наслідування лідеру	Надання високоякісних сертифікатів щодо якості води	Надійність, професійність, авторитетність

Висновок: Стратегія позиціонування стартап-проєкту базується на комбінації диференціації та наслідування ринкового лідера. Основні аспекти цієї стратегії враховують ключові потреби та вимоги цільової аудиторії, а також спрямовані на створення унікальної пропозиції, що дозволить виділитися серед конкурентів на ринку послуг з оцінювання якості води.

6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Першим кроком в розробленні маркетингової програми стартап-проекту є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач (табл. 6.18).

Таблиця 6.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Конверти для тривалого зберігання	Надійний захист документів від вологи, ультрафіолету, плісняви та механічних пошкоджень.	Гарантія тривалого збереження документів навіть у складних умовах зберігання.
2	Видача сертифікатів про якість сировини та продукції	Підтвердження відповідності якості вимогам та стандартам	Офіційний сертифікат про виробництво, сировину та продукт

Висновок: ключовими перевагами концепції потенційного товару є нові технології, використання сучасного обладнання для них, а також можливість отримання сертифікату про якість продукції та виробництва.

Далі розробляємо трирівневу маркетингову модель товару, а саме: уточнюємо ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 6.19) [35].

Таблиця 6.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Базова потреба споживачів – забезпечення тривалого зберігання документів, тощо. Основна функціональна вигода дає змогу забезпечити тривале зберігання документів та отримання сертифікатів якості на продукцію та виробництво.
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики 1. Кислотність 2. Міцність на розрив 3. Відносна вологість 4. Кількість подвійних перегинів 5. Ступінь полімеризації

	Якість: Відповідність стандартам якості, виконання нормативних вимог, належне позначення та інформація про продукт
	Пакування: контейнери

Продовження табл. 6.19

III. Товар із підкріпленням	До продажу: Якісний продукт, відповідний стандартам; приваблива упаковка та етикетка; інформативна документація; ефективна цінова політика
	Після продажу: Клієнтська підтримка після покупки; гарантійна політика; акції, програми лояльності та послуги після продажу
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патентування технологій та винаходів, які використовують на виробництві.	

Висновок: потенційний товар матиме захист від копіювання, який забезпечуватиметься патентуванням технологій та винаходів. Такий підхід робить концепцію потенційного товару конкурентоздатною та готовою задовольняти потреби різних сегментів ринку.

Далі проводимо експресним методом визначення цінових меж (табл. 6.20), якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, що передбачає аналіз ціни на товари-аналоги, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів.

Таблиця 6.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники. Конверти звичайні від фабрики	Рівень цін на товари-аналоги Конверти тривалого зберігання від	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
-------	---	---	--	---

	конвертів «Куверт-Україна»	фабрики конвертів «Куверт-Україна»		
1	1440 грн – 1000 шт конвертів.	8100 грн - 1000 шт конвертів тривалого зберігання.	Високий	1300 грн – 9000 грн / 1000 шт

Висновок: таким чином, верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу можуть коливатися від 1300 до 9000 гривень, враховуючи те що рівень доходів цільової групи високий.

Визначаємо оптимальну систему збуту (табл. 6.21).

Таблиця 6.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Надання клієнтами запиту для отримання конвертів	Постачання та логістика	Непрямий канал збуту	Організація власної системи збуту для підприємств

Висновок: оптимальною стратегією є використання непрямого каналу збуту, що передбачає організацію власної системи збуту для підприємств. Підхід дозволяє налагодити ланцюг постачання та забезпечити ефективну та надійну доставку продукції цільовим клієнтам.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 6.22), яка опирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів [35].

Таблиця 6.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
-------	---------------------------------------	--	--	----------------------------------	--------------------------------

1	Клієнти прагнуть отримати якісний продукт	Онлайн-платформи, соціальні медіа, рекламні банери.	Надійне виробництво з сертифікатами якості.	Показати переваги використання продукції	«Захистіть ваші документи завдяки інноваційним матеріалам»
---	---	---	---	--	--

Висновок: ринкова програма для стартап-проекту з виробництва конвертів для тривалого зберігання документів:

1) Концепція товару – виробництво конвертів із екологічно чистих та довговічних матеріалів, що забезпечують захист документів від вологи, пилу, ультрафіолету та механічних пошкоджень; інтеграція додаткових властивостей, таких як антибактеріальний захист та підвищена вологостійкість; розробка унікального дизайну для архівних, корпоративних та приватних клієнтів; гарантія тривалого збереження документів відповідно до міжнародних стандартів.

2) Концепція збуту – встановлення партнерських відносин із архівами, музеями, бібліотеками, а також корпоративними клієнтами (банками, юридичними фірмами тощо), які мають високі вимоги до збереження документів; реклама продукції через онлайн-платформи, спеціалізовані виставки та конференції; розробка зручної онлайн-платформи для замовлення продукції, вибору індивідуального дизайну та консультацій щодо вибору конвертів; гнучкі умови доставки для забезпечення максимальної зручності клієнтів.

3) Концепція просування – реклама у спеціалізованих виданнях, присвячених архівній справі, діловодству та екологічним рішенням; інтернет-реклама в соцмережах, таргетинг на екологічно орієнтовану аудиторію; участь у виставках і конференціях, пов'язаних із зберіганням документів та екологічними технологіями; акцент на важливості довготривалого збереження документів для бізнесу та культурної спадщини; підвищення уваги до унікальних характеристик продукту, таких як екологічність, довговічність та стильний дизайн.

4) Попередній аналіз можливостей ціноутворення – на ринку представлені компанії, які виготовляють звичайні конверти, проте їх продукція не забезпечує належного рівня захисту для тривалого зберігання; середній ціновий сегмент з

акцентом на високу якість і спеціалізовані функції, які вирізняють продукт на ринку; формування ціни на основі витрат на виробництво, матеріали та впровадження додаткових функцій; запровадження знижок для корпоративних клієнтів та великих замовлень.

Ця ринкова програма спрямована на створення унікальної пропозиції для клієнтів, які цінують якість, довговічність та екологічність, що дозволить стартапу зайняти нішу на ринку конвертів для тривалого зберігання документів.

Висновки до розділу VI

1. Можливість ринкової комерціалізації проєкту існує, оскільки, стартап відповідає актуальним потребам у збереженні документів в умовах підвищеної уваги до архівування та довготривалого зберігання важливих матеріалів.

2. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження стартап-проєкту є. Потенційними клієнтами можуть бути: архіви та бібліотеки, які зберігають історичні документи, музеї для збереження експонатів, корпоративні клієнти (банки, юридичні фірми, страхові компанії), приватні особи, які хочуть зберегти родинні документи та фотографії.

Бар'єри входження на ринок можуть виникати через потребу в значних початкових інвестиціях для придбання обладнання та матеріалів високої якості.

На ринку існують конкуренти, проте використання сучасних технологій та екологічних матеріалів робить проєкт унікальним і конкурентоспроможним. Конкурентна перевага стартапу полягає в розробці інноваційних конвертів з підвищеними захисними властивостями та у використанні екологічно безпечних матеріалів.

3. Альтернативним методом впровадження є розробка персоналізованих рішень. Це може включати можливість вибору дизайну конвертів, нанесення брендových логотипів для корпоративних клієнтів та створення спеціальних розмірів чи функцій залежно від потреб замовника.

4. Подальша імплементація проєкту є доцільною, оскільки він може стати важливим інструментом для захисту та зберігання документів, що відповідає сучасним вимогам якості та екологічності.

ВИСНОВКИ

1. Проведено літературний огляд, основна увага якого приділена методикам природнього та штучного старіння целюлози та паперу. Проведено аналіз та опис факторів, що впливають на процеси старіння.
2. Удосконалено технологічну схему виробництва паперу для конвертів щільність 85 г/м², згідно стандарту. Для композиції використано 80% хвойної сульфатної целюлози та 20% листяної натронної целюлози павловнії.
3. Отримано волокнистий напівфабрикат натронним способом за витрат активного лугу 20 % та 22 %.
4. Досліджено вплив природнього та штучного старіння на якісні показники (фізико-механічні показники, білість, рН водної витяжки) використаної сировини – деревини вільхи, ліщини та павловнії після природнього (60 діб) та штучного старіння (144 та 120 год).
5. Показано, що основні показники міцності, такі як міцність на злом під час багаторазових перегинів та абсолютний опір роздиранню зазнають змін. Природнє старіння призводить до поступового зменшення міцності що коливається від 20 % до 50%. Штучне старіння викликає значно більш виражену деградацію, що проявляється у зниженні показників, що коливається від 30 % до 70 %.
6. Проведено аналіз шкідливих і небезпечних факторів виробництва і техніки безпеки на виробництві.
7. Розрахунки стартап проекту показали, що середня норма рентабельності в галузі виробництва конвертів 10 %, що є позитивним показником підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Thabang H. Mokhothu, Maya Jacob John. Review on hygroscopic aging of cellulose fibres and their biocomposites.
2. Spiros Zervos. Natural and Accelerated Ageing of Cellulose and Paper: A Literature Review.
3. Hulya, K., Ilhan, D., and Salim, H., (2005). "Some of the properties of particleboard made from paulownia," The Japan Wood Research Society 51, 410-414. DOI 10.1007/s10086-004-0665-8
4. Matsuo, M., Yokoyama, M., Umemura, K., Sugiyama, J., Kawai, S., Gril, J., Kubodera, S., Mitsutani T., Ozaki, H., Sakamoto, M., and Imamura, M. (2011). "Aging of wood – Analysis of color changing during natural aging and heat treatment," *Holzforschung* 65(3), 361-368. DOI: 10.1515/HF.2011.040
5. Tuchinda, C., Srivannaboon, S., and Lim, H. W. (2006). "Photoprotection by window glass, automobile glass, and sunglasses," *Journal of the American Academy of Dermatology* 54(5), 845-854, DOI:10.1016/j.jaad.2005.11.1082
6. Feller, R. L. (1994). Accelerated Aging – Photochemical and Thermal Aspects, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, USA.
7. Timar, M. C., Varodi, A. M., and Gurău L. (2016). "Comparative study of photodegradation of six wood species after short time UV exposure," *Wood Science and Technology* 50(1), 135-163. DOI 10.1007/s00226-015-0771-3.
8. Fengel, D, and Wegener, G. (1984). *Wood: Chemistry, Ultra-Structure, Reactions*, Verlag Walter de Gruyter & Co., Berlin, New York
9. Arnold, R. B. (2003). "ASTM's paper aging research program," <http://cool-palimpsest.stanford.edu/byauth/arnold/astm-aging-research/> (accessed 06 Dec 2010). <https://www.astm.org/d6819-02e03.html>
10. Sawoszczuk, T, Baranski, A, Lagan, J. M., Lojewski, T., and Zieba, K. (2008). "On the use of ASTM closed vessel tests in accelerated aging research," *Journal of Cultural Heritage* 9(4), 401-411.
11. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. TAPPI T 453 om-09: Effect of Dry Heat on Properties of Paper. 2009, <https://www.tappi.org/content/tag/sarg/t453.pdf>.
12. ДСТУ ISO 6588-1:2008 Папір, картон і волокнисті напівфабрикати. Визначення рН водної витяжки. Частина 1. Метод холодного екстрагування (ISO 6588-1:2005, IDT)
13. ISO 1924-2:2008. Paper and board — Determination of tensile properties — Part 2: Constant rate of elongation method (20 mm/min) — URL:

- <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/41397/1e7ac7f0a80a4f88959df94682dd61b7/ISO-1924-2-2008.pdf>
14. ISO 1924-2:2008. Paper and board — Determination of tensile properties — Part 2: Constant rate of elongation method (20 mm/min) — URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/41397/1e7ac7f0a80a4f88959df94682dd61b7/ISO-1924-2-2008.pdf>
 15. ASTM International. (2007). Standard Test Methods for Evaluating the Aging of Paper by Thermal and Light Exposure. ASTM D6819
 16. Wilson, W. K., & Parks, E. J. (1980). Paper Aging: The Stability of Paper and Books. Library of Congress Preservation Directorate.
 17. ISO 11799:2003 – Information and documentation – Document storage requirements for archive and library materials
 18. DIN 53134 – Testing of paper and board - Determination of the resistance to microorganisms
 19. ISO 5630-3:1996 – Paper and board – Accelerated ageing – Part 3: Moist heat treatment at 80 degrees C and 65% relative humidity
 20. Wei, Jianqiang, and Christian Meyer. "Degradation rate of natural fiber in cement composites exposed to various accelerated aging environment conditions." Corrosion science 88 (2014): 118-132
 21. Технологія недеревних волокнистих напівфабрикатів: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньо-професійної програми «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології» / Р.І. Черьопкіна, І.В. Трембус, І.М. Дейкун В.А., Барбаш В.А.; – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 229 с.
 22. Хімічне перероблення недеревної сировини. Вибрані розділи. Лабораторний практикум. Ч. 1.: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Р.І. Черьопкіна, І.В. Трембус, В.А. Барбаш – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 61 с. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32896>
 23. Технологія виробництва сульфатної целюлози: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньо-професійної програми «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології» /; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 274 с. Черьопкіна Р.І., Трембус І.В., Дейкун І.М.
 24. Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,2 Мбайт). –

- Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
- 25.Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
- 26.Yudina Nataliya. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. *Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*. №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/>
27. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу : <http://futurollog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.
- 28.Standard Management Systems QUALITY MANAGEMENT Textbook for students and post-graduate students on specialty 131 "Applied mechanics"/ S. Fomichov, A. Banin, I. Skachkov, V. Lysak, O. Gaievskiy, N. Yudina, Kiev: KIM, 2018 – P. 266
- 29.Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
- 30.Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>
- 31.Nataliya Yudina Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-9 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>
- 32.Nataliya Yudina, Olena Pidlisna Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-10 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/238105>
- 33.Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of

- innovations. – 3'2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
- 34.Yudina Nataliya. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. *Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*. №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/>
- 35.Stuhrke R. A. The development of permanent paper // Preservation of paper and textiles of historic and artificial value / ed. J. G. Williams ; Am. chem. soc. Washington, 1977. P. 24–36. (Adv. in chem ser.; no. 164).
- 36.Технологія і обладнання виробництва волокнистих напівфабрикатів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітня програма «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Р.І. Черьопкіна, І.М. Дейкун, І.В. Трембус – Електронні текстові дані (1 файл: 818 КБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 68 с.
- 37.Визначення кислотності паперу. Методичні рекомендації. - К.: Головархів України, УДНДІАСД, 1998, - 18 с.
- 38.ISO 10716:1994. Paper and board — Determination of alkali reserve – Женева: ISO, 1994. – 7 с.

ДОДАТОК А

Орієнтовний перелік публікацій



**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

**Інститут технічної теплофізики НАН України
Інститут Газу НАН України
Грузинський технічний університет**

**Збірник тез доповідей XXVII міжнародної
науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених**

**”РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОБЛАДНАННЯ”**

28 листопада
Київ 2024

UDC 676.062.014.362

METHODS FOR DETERMINING ARTIFICIAL AGING OF CELLULOSE FIBERS

V. Tsykalova, master, R. Cherepkina, Assoc. Prof.,
National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract

The methods for determining the artificial aging of cellulose fibers are considered. The main approaches, including ISO, TAPPI, and ASTM standards, are analyzed.

Анотація

Розглянуто методики визначення штучного старіння целюлозних волокон. Проаналізовано основні підходи, зокрема стандарти ISO, TAPPI та ASTM.

Cellulose is a material of high industrial importance, with applications in various fields, including industry, medicine, cosmetology, agriculture, and especially paper-based products. Depending on consumer properties, certain types of paper and cardboard require durability and longevity.

The International Organization for Standardization (ISO) established a standard in 1993 (ISO 9706 – Information and Documentation – Paper for Documents – Requirements for Permanence [1]).

The terms permanence and durability have been used differently. Permanence often refers to maintaining strength and colour during aging, while durability refers to retaining mechanical properties during use.

Cellulose, which constitutes the majority of paper products, is stable enough to last hundreds of years. However, it is susceptible to acid hydrolysis, which results in its degradation. Over time, chemical and physical changes occur depending on the

composition of the cellulose fibres, processing conditions, and environmental factors. These changes decrease the degree of cellulose polymerization, mechanical strength, and optical properties. This process of irreversible changes in the fibres is known as the aging of cellulose and paper.

Natural or artificial aging methods are employed to study the changes that occur in fibres over time. Natural aging of cellulose occurs slowly, as under environmental conditions, it can take years or even decades to produce statistically significant changes. On the other hand, artificial aging is achieved through exposure to aggressive environments, such as polluted atmospheres, elevated temperatures, humidity, or light. These tests are essential for evaluating the resistance of paper and cellulose to pollution, thermal impact, and light, which are critical factors in paper deterioration [2].

The aim of the work is to analyze the methods of accelerated aging of cellulose fibers.

The method of overcoming the problem of harmful effects is to use aggressive environments to which paper and cellulose samples are exposed.

The earliest and most common approach involves exposure to elevated temperatures, known as thermally accelerated aging. The temperature range for thermally accelerated aging starts at ambient levels and can reach up to 105°C. Experimental setups range from dry ovens to moist ovens and sealed containers.

The ASTM D6819-02e3 standard is an American testing method for the accelerated thermal aging of printing and writing paper using a dry oven apparatus [3]. This method assesses the relative stability of mechanical strength over time for various paper types under normal conditions, assuming proper use. However, it does not provide specific estimates of the expected lifespan of the paper.

Aging is performed in sealed glass tubes by exposing them to an oven temperature of 105±2 °C. Sealed glass containers are recommended to keep decomposition products in contact with the paper, better simulating natural aging conditions in closed books. Following this method, Polish researchers analyzed the

physical and chemical characteristics of six samples that underwent natural aging for 27 years and artificial aging for three days at 105 ± 2 °C. High temperature and humidity were used to accelerate aging. However, kinetic studies in closed and open systems, measuring the degree of polymerization and breaking length, revealed no statistically significant differences in degradation rates [4].

The TAPPI T-453 standard, Effect of Dry Heat on the Properties of Paper and Board [5], regulates methods for determining changes in paper's physical and chemical characteristics under the influence of dry heat in controlled conditions. Initially developed for writing paper, this method can also be applied to other paper types. Samples are conditioned under standard conditions (23 °C and 50 % relative humidity) for at least 24 hours before being exposed to a temperature of 105 °C in a drying chamber. Depending on the experimental goal, temperatures may vary from 150 °C to lower values. After one hour, samples are cooled and tested for physical-mechanical properties. Before and after aging, physical-mechanical properties (breaking strength, tear resistance, number of double folds), optical properties (whiteness, yellowness), and chemical properties (pH, alkali solubility) can be compared.

The ISO 5630-3:1996 standard method for Moist Heat Aging [6] involves exposing samples to 80 °C and 65 % relative humidity, accelerating chemical processes such as hydrolysis and oxidation that typically occur over many years. Samples are placed in an accelerated aging chamber in a way that prevents contact, ensuring uniform exposure to heat and humidity. The study duration usually spans 24, 48, or 72 hours, depending on the experiment's purpose. After aging, samples are assessed for changes in physical-chemical properties such as mechanical strength (breaking or tensile strength), optical properties (whiteness, yellowness), and acidity (pH).

Conclusions:

Research into accelerated paper aging methods demonstrates that various standards, such as ASTM, TAPPI, and ISO, allow the modelling of the effects of

temperature, humidity, and pollutants on the longevity of paper materials. These methods accurately assess changes in physical-chemical properties, helping predict the lifespan of documents and archival materials.

References:

1. The ANSI/NISO Z39.48 Standard and Other Standards/
<https://cool.culturalheritage.org/byorg/abbey/napp/std.html>
2. Arnold, R. B. (2003). "ASTM's paper aging research program," <http://cool-palimpsest.stanford.edu/byauth/arnold/astm-aging-research/> (accessed 06 Dec 2010).
3. Standard Test Method for Accelerated Temperature Aging of Printing and Writing Paper by Dry Oven Exposure Apparatus <https://www.astm.org/d6819-02e03.html>
4. Sawoszczuk, T, Baranski, A, Lagan, J. M., Lojewski, T., and Zieba, K. (2008). "On the use of ASTM closed vessel tests in accelerated aging research," *Journal of Cultural Heritage* 9(4), 401-411.
5. Effect of dry heat on properties of paper and board
<https://www.tappi.org/content/tag/sarg/t453.pdf>
6. ISO 5630-3:1996 – Paper and board – Accelerated ageing – Part 3: Moist heat treatment at 80 degrees C and 65% relative humidity