

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність 162 – «Біотехнології та біоінженерія»

Допускається до захисту
Зав. кафедри харчових
технологій і технологій
переробки продукції
тваринництва,
доцент Загоруй Л.П.

«14» 05 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**АНАЛІЗ БІОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ
ВІДХОДІВ АСЕПТИЧНОГО ПАКУВАННЯ
ТЕТРА ПАК**

Виконав: Приндюк Богдан
Ростиславович

Керівник: Цехмістренко О.С.

Рецензент: Цехмістренко А.Д.

Я, Приндюк Б.Р., засвідчую, що кваліфікаційну роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

Біла Церква – 2026

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу здобувачу	3
Анотація	4
Annotation	5
Відгук керівника роботи	6
Рецензія	7
ВСТУП	8
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	10
1.1 Поширеність проблеми паперових відходів	10
1.2. Утилізація ламінованих і багатошарових паперових відходів	12
1.3. Використання відходів асептичного пакування «Tetra-Pak» та характеристика основних компонентів, утворених за його переробки	13
1.4. Інновації в технології виробництва	16
1.5. Методи переробки відходів типу «Тетра Пак»	22
2. МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ	30
3. ВЛАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
3.1. Підбір обладнання для вдосконалення технологічного процесу переробки асептичного упакування «Тетра Пак»	28
3.2. Розпуск при високій концентрації та грубе сортування	28
3.3. Вимоги до сировини та готової продукції	31
3.4. Експериментальна частина	34
3.5. Технологічна схема виробництва мішкового паперу	39
4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	47
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	49

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Затверджую

Гарант ОП 162 «Біотехнології та біоінженерія»,
професор Мерзлов С.В.

_____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувачу

Приндюку Богдану Ростиславовичу

Тема: **АНАЛІЗ БІОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ
АСЕПТИЧНОГО ПАКУВАННЯ ТЕТРА ПАК**

Затверджено наказом ректора № від _____

Термін здачі здобувачем готової кваліфікаційної роботи в деканат:

до «___» _____ 20__ р.

Перелік питань, що розробляються в роботі. Вихідні дані

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Вступ		
Огляд літератури		
Матеріал та методика виконання роботи		
Власні дослідження		
Економічна ефективність		
Оформлення роботи		
Перевірка на плагіат		
Подання на рецензування		
Попередній розгляд на кафедрі		

Керівник кваліфікаційної роботи _____ д-р с.-г. наук Цехмістренко О.С.

Здобувач _____

Приндюк Б.Р.

Дата отримання завдання «___» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

***Приндюк Б.Р. АНАЛІЗ БІОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ
АСЕПТИЧНОГО ПАКУВАННЯ ТЕТРА ПАК***

Дипломна робота бакалавра за спеціальністю 162 Біотехнологія та інженерія. – Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, 2026 рік.

Дипломну роботу присвячено дослідженню водостійких властивостей картону та впровадженню інновацій щодо покращення показників картону тарного макулатурного вологостійкого. Для цього були поставлені завдання: проаналізувати дані літератури щодо вирішення проблем виробництва картону тарного макулатурного вологостійкого; ознайомитись з технологією його виробництва, проаналізувати використовуване обладнання; запропонувати інновації для вирішення проблем виробництва картону.

Апробація. Результати бакалаврської роботи оприлюднено на Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти «МОЛОДЬ – АГРАРНИЙ НАУЦІ І ВИРОБНИЦТВУ. Новітні технології виробництва та переробки продукції тваринництва, харчові технології» (БНАУ, Біла Церква, 18 березня 2026 року).

Публікації. За темою дипломної роботи опубліковано тези доповіді конференції.

Приндюк Б.Р. Аналіз біотехнології переробки відходів асептичного пакування ТЕТРА ПАК. «МОЛОДЬ – АГРАРНИЙ НАУЦІ І ВИРОБНИЦТВУ. Новітні технології виробництва та переробки продукції тваринництва, харчові технології»: матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти. Біла Церква: БНАУ, 2026. Сс. 80-83 с.

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 51 сторінку, 8 таблиць, 15 рисунків, список використаних джерел із 38 найменувань, 0 додатків.

Ключові слова: макулатура, асептичне пакування, тетра пак, гідророзбивач, набухання, розпуск, температура, мішковий папір.

ANNOTATION

Pryndyuk B.R. BIOTECHNOLOGY ANALYSIS OF THE PROCESSING OF ASEPTIC PACKAGING WASTE TETRA PAK

Bachelor's thesis in specialty 162 Biotechnology and Engineering. – Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, 2026.

The thesis is devoted to the study of the water-resistant properties of cardboard and the introduction of innovations to improve the performance of moisture-resistant packaging waste cardboard. For this purpose, the following tasks were set: to analyze the literature data on solving the problems of producing moisture-resistant packaging waste cardboard; to get acquainted with the technology of its production, to analyze the equipment used; to propose innovations for solving the problems of cardboard production.

Approbation. The results of the bachelor's thesis were published at the All-Ukrainian scientific and practical conference of higher education students «YOUNGS FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND PRODUCTION. The latest technologies for the production and processing of livestock products, food technologies» (BNAU, Bila Tserkva, March 18, 2026).

Publications. The thesis of the conference report was published on the topic of the thesis.

Pryndyuk B.R. Analysis of biotechnology of processing of aseptic packaging waste TETRA PACK. "YOUNG - AGRICULTURAL SCIENCE AND PRODUCTION. Latest technologies of production and processing of livestock products, food technologies": materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference of higher education applicants. Bila Tserkva: BNAU, 2026. Pp. 80-83.

The bachelor's qualification work contains 51 pages, 8 tables, 15 drawings, list of used sources from 38 names, 0 annexes.

Key words: waste paper, aseptic packaging, tetra pack, hydrocracker, swelling, dissolution, temperature, sack paper.

ВІДГУК КЕРІВНИКА

на кваліфікаційну роботу здобувача ____ курсу спеціальності

прізвище, ім'я, по батькові

на тему _____

Оцінка окремих складових кваліфікаційної роботи:

1. **Оформлення роботи** (не більше 10 балів) _____
2. **Своєчасність подання окремих елементів роботи керівнику** (кожний своєчасно поданий елемент дає по 5 балів) _____
3. **Теоретичні та аналітичні аспекти роботи** (не більше 25 балів)

4. **Практичні аспекти роботи** (не більше 20 балів) _____

5. **Оцінка попереднього захисту** (не більше 25 балів) _____

Додаткові думки та загальний висновок керівника _____

Загальна оцінка (не більше 100 балів) _____

Керівник кваліфікаційної роботи

підпис
ініціали

вчене звання, прізвище,

_____ 20__р.

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу здобувача ____ курсу спеціальності

прізвище, ім'я, по батькові

Тема: _____

Кваліфікаційну роботу виконано на кафедрі _____

під керівництвом _____

Обсяг роботи _____ с. Робота містить _____ таблиць, _____ рисунка.

Список літератури включає _____ першоджерел.

Тема роботи є _____
актуальною, не актуальною, чітко визначеною, не чітко визначеною

Зміст роботи тему розкриває _____

повністю, не повністю, тему не розкриває

Роботу оформлено _____

відповідно до вимог, з порушенням вимог

Висновки і пропозиції _____

Обґрунтовані/необґрунтовані, відповідають/не відповідають поставленим завданням

Найбільш вагомим результатом роботи є _____

вказати ключові аспекти роботи

Зауваження, побажання: _____

Висновок _____

відповідає/ не відповідає вимогам, заслуговує оцінки відмінно, добре, задовільно

Рецензент _____

підпис, вчене звання прізвище, ім'я, по батькові

_____ 20____ р.

ВСТУП

Актуальність теми: Сучасний етап розвитку суспільства характеризується необхідністю дотримання вимог щодо раціонального використання природних ресурсів, а також впровадження ресурсоефективних технологій, спрямованих на зменшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Одним із перспективних напрямів вирішення глобальної проблеми збереження лісових ресурсів, що поєднує екологічну доцільність та соціально-економічну ефективність, є перероблення вторинної сировини, яка характеризується складністю розпускання, проте містить волокна з високими паперотворними властивостями.

У процесі перероблення асептичного пакування отримують високоякісний волокнистий матеріал, придатний для виготовлення різних видів паперової продукції, для виробництва яких традиційно використовують целюлозні напівфабрикати. Це створює можливості для розширення асортименту паперової продукції та одержання альтернативних волокнистих напівфабрикатів. З метою покращення фізико-механічних показників паперу, що виготовляється в сучасних умовах, до композиції паперової маси вводять довговолокнуисту сировину, отриману в результаті перероблення асептичного пакування типу «Тетра Пак».

Метою роботи є удосконалення технологічного потоку перероблення асептичного пакування типу «Тетра Пак» з метою виробництва мішкового паперу широкого призначення.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі основні завдання:

- дослідити сучасні інноваційні рішення у сфері перероблення асептичного пакування типу «Тетра Пак»;
- встановити основні чинники, що сприяють інтенсифікації процесу набухання волокнистого шару упаковки;
- удосконалити технологічну схему перероблення з урахуванням отриманих експериментальних даних щодо покращення та пришвидшення процесу розпускання макулатурної маси;

- виконати розрахунок теплового балансу для визначення витрат енергетичних ресурсів у технологічному процесі.

Об'єктом дослідження є процес перероблення асептичного пакування типу «Тетра Пак». **Предметом дослідження** виступають технологічний потік та технологічні процеси перероблення асептичного пакування типу «Тетра Пак» для виробництва мішкового паперу.

У роботі використано комплекс **теоретичних та експериментальних методів дослідження**, зокрема опрацювання науково-технічних літературних джерел, обґрунтування вибору технологічного обладнання, експериментальне дослідження процесу інтенсифікації набухання волокнистого шару асептичного пакування типу «Тетра Пак», а також розрахунок балансу витрат пари та теплової енергії.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані для впровадження, удосконалення та оптимізації технологій перероблення відходів асептичного пакування типу «Тетра Пак». Використання довговолокнистої сировини, отриманої в результаті перероблення такого пакування, у композиції з макулатурною масою дозволяє підвищити якість готової продукції та розширити асортимент альтернативних целюлозних напівфабрикатів.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Поширеність проблеми паперових відходів

Зростання масштабів людської діяльності зумовлює постійне підвищення потреби у різноманітних матеріалах і речовинах, необхідних для забезпечення виробничих та побутових процесів. Одним із найбільш поширених матеріалів у сучасних умовах є картон, який широко застосовується у виробництві упаковки, меблів, у будівельній сфері та рекламній індустрії. Галузь виробництва картону характеризується високим рівнем конкуренції, що обумовлює необхідність постійного вдосконалення технологічних процесів з метою забезпечення високої якості продукції, економічної ефективності та одночасного зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Аналіз сучасних наукових і технічних джерел свідчить про наявність кількох ключових напрямів підвищення ефективності технології виготовлення універсального картону, серед яких особливе значення мають вибір сировини, енергозбереження, використання інноваційних матеріалів та автоматизація виробництва.

Технологічний процес виробництва універсального картону включає підготовку сировини, формування полотна, пресування, сушіння та подальшу обробку продукції. Традиційно сировинна композиція складається з макулатури та первинної целюлози. Основним завданням виробників є досягнення оптимального співвідношення між якістю сировини та її вартістю. Водночас інтенсифікація технології виробництва картону не може обмежуватися лише вибором сировинних компонентів і потребує комплексного аналізу всіх етапів виробничого процесу.

У численних дослідженнях, присвячених підготовці сировини, основну увагу приділяють процесам очищення та оброблення макулатури для забезпечення необхідних технологічних властивостей. Для видалення забруднень часто застосовують високотемпературні режими, що супроводжується значними енергетичними витратами. У зв'язку з цим актуальним напрямом досліджень є пошук способів зниження енергоспоживання. У низці наукових праць запропоновано використання

новітніх методів оброблення сировини, зокрема ультразвукових технологій, які дозволяють скоротити витрати енергії під час підготовки волокнистої маси [37].

Одним із викликів сучасного картонного виробництва є впровадження інноваційних матеріалів та спеціальних добавок для покращення властивостей картону без зниження ефективності виробничого процесу. Зокрема, перспективним напрямом є використання полімерних добавок, здатних підвищувати водостійкість картону без істотного збільшення витрат на сировину. Наукові дослідження підтверджують можливість заміни традиційних синтетичних компонентів матеріалами на основі біополімерів, зокрема лактатами та біорозкладними полімерами, які забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики упаковки та водночас мають менший негативний вплив на довкілля. Крім того, застосування мінеральних наповнювачів дозволяє знизити витрати на сировину без суттєвого погіршення якості готової продукції. Такі добавки не лише зменшують собівартість виробництва, а й здатні покращувати міцність картону та його технологічні властивості [31].

Виробництво картону характеризується значною нерівномірністю енергетичних витрат, найбільша частка яких припадає на процеси сушіння та пресування [14]. Саме тому оптимізація цих етапів є важливим напрямом підвищення ефективності виробництва. Одним із перспективних способів удосконалення технології є використання комбінованих методів сушіння, що поєднують традиційні та сучасні технологічні рішення. Зокрема, застосування термодинамічних насосів для утилізації тепла та сонячних колекторів для зменшення витрат енергоресурсів дозволяє істотно скоротити енергоспоживання та тривалість виробничого циклу. Використання більш ефективних систем сушіння сприяє підвищенню загальної продуктивності виробництва та зменшенню витрат на енергетичні ресурси.

Важливою умовою підвищення ефективності виробництва універсального картону є автоматизація виробничих процесів. Використання

сучасних систем керування виробництвом, зокрема автоматизованих ліній формування та пресування картону, дозволяє мінімізувати вплив людського фактора на якість готової продукції, зменшити кількість браку та підвищити швидкість виконання технологічних операцій.

Процеси цифровізації виробництва нерозривно пов'язані із впровадженням систем моніторингу, які забезпечують контроль стану обладнання та параметрів технологічного процесу в режимі реального часу. Такі системи дозволяють автоматично коригувати параметри виробництва та підтримувати оптимальні умови виготовлення картону за мінімальних витрат ресурсів [14].

Суттєвим аспектом підвищення ефективності виробництва картону є дотримання екологічних вимог. Імплементація міжнародних екологічних стандартів, зокрема ISO 14001, дозволяє підприємствам зменшувати негативний вплив на навколишнє середовище, контролювати обсяги утворення відходів та вдосконалювати процеси їх утилізації. Водночас підвищення екологічної відповідальності виробництва сприяє зростанню конкурентоспроможності продукції на ринку завдяки збільшенню попиту на екологічно безпечні матеріали. Використання вторинної сировини та біорозкладних компонентів забезпечує підвищення стійкості виробництва та його економічної ефективності [17].

Таким чином, удосконалення технології виробництва універсального картону є важливим завданням, спрямованим на підвищення економічної ефективності, скорочення енергетичних витрат та забезпечення високої якості продукції. Сучасні наукові дослідження акцентують увагу на необхідності комплексної оптимізації всіх етапів виробничого процесу — від підготовки сировини до сушіння та пресування. Використання інноваційних матеріалів і сучасних технологічних рішень, зокрема автоматизації, енергозбереження та екологічно безпечних компонентів, сприяє підвищенню ефективності виробництва картону при одночасному зниженні витрат та забезпеченні високих стандартів якості продукції [24].

1.2. Утилізація ламінованих і багатошарових паперових відходів

Стрімкий розвиток сучасної цивілізації супроводжується постійним зростанням обсягів твердих побутових відходів (ТПВ). Особливу екологічну проблему становлять відходи багатокомпонентного складу, перероблення яких є технологічно складним. До таких матеріалів належать паперово-поліетиленові та пластико-картонні композити, а також багатошарова асептична упаковка типу «Tetra Pak», «Pure-Pak», «Combibloc», «Quadrobloc», що широко використовується для пакування продуктів тривалого зберігання, зокрема молока, соків, соусів та супів. Застосування таких пакувальних матеріалів обумовлене їх високими бар'єрними властивостями та здатністю забезпечувати безпечне зберігання харчових продуктів протягом тривалого часу [25].

Відходи асептичного пакування класифікують як макулатуру марки МС-12Г та відносять до IV класу небезпеки, оскільки тривалість їх природного розкладання перевищує 400 років. Значні обсяги утворення таких відходів та складність їх перероблення зумовлюють суттєвий негативний вплив на навколишнє середовище і потребують підвищеної уваги до питань їх утилізації. Основними проблемами поводження з даним видом відходів є їх своєчасне вилучення зі складу твердих побутових відходів на початкових етапах збору, створення ефективних логістичних систем транспортування до спеціалізованих переробних підприємств, а також розроблення технологічного обладнання для розділення композитного матеріалу на окремі складові компоненти, зокрема целюлозу, поліетилен та алюмінієву фольгу [25].

Світові обсяги перероблення асептичної упаковки щорічно перевищують 25 мільярдів одиниць. Найбільш розвинені підприємства з перероблення таких відходів функціонують у країнах Європи, Америки та Азії. Зокрема, промислову переробку упаковки типу «Tetra Pak» активно здійснюють підприємства, розташовані у країнах Скандинавії, Німеччині, Китаї та Польщі [9].

Технології перероблення пакувальних матеріалів постійно удосконалюються, оскільки саме вони є однією з найбільш ефективних альтернатив захороненню відходів на полігонах. Використання відходів як вторинної сировини сприяє скороченню кількості екологічно небезпечних відходів, зменшенню антропогенного навантаження на довкілля та впровадженню принципів сталого розвитку у сучасні виробничі процеси [29].

1.3. Використання відходів асептичного пакування «Tetra-Pak» та характеристика основних компонентів, утворених за його переробки

Відходи виробництва пакетів і використана упаковка типу «Tetra Pak» становлять значну частку вторинної сировини, у зв'язку з чим їх доцільно розглядати не як відходи, а як цінний ресурс для подальшого використання. У процесі перероблення такої упаковки отримують три основні компоненти: целюлозне волокно, поліетилен та алюмінієву фольгу або комбіновану поліалюмінієву суміш. Отримані матеріали придатні для виготовлення нової продукції. Зокрема, поліалюмінієві гранули використовують у процесах лиття під тиском та екструзії, тоді як целюлозне волокно застосовують у виробництві паперу та картону [2].

У ряді країн, зокрема у Фінляндії, активно впроваджуються технології комплексного перероблення всіх складових асептичної упаковки. Поліетилен у процесі спалювання утворює значну кількість теплової енергії, яка може бути використана на целюлозно-паперових підприємствах та для забезпечення енергетичних потреб прилеглих населених пунктів. Алюміній відновлюють на газифікаційних установках, причому цей процес є значно енергоефективнішим порівняно з виробництвом металу з бокситової сировини [19].

Для підвищення ефективності перероблення сучасні підприємства постійно вдосконалюють технологічні рішення. Одним із таких рішень є попереднє подрібнення відходів, що дозволяє видалити до 90 % органічних залишків, оптимізувати логістичні процеси транспортування та

інтенсифікувати процес набухання волокнистого шару під час подальшої переробки. При цьому собівартість перероблення упаковки типу «Tetra Pak» лише приблизно на 10 % перевищує витрати на перероблення звичайної макулатури, що компенсується стабільно високою якістю отриманого волокнистого продукту.

Таким чином, вторинне перероблення упаковки типу «Tetra Pak» є екологічно доцільним та економічно перспективним напрямом, оскільки сприяє отриманню затребуваних на ринку матеріалів і готової продукції [9; 19].

Асептична упаковка являє собою багатошаровий композиційний матеріал, що складається з кількох шарів паперу або картону, синтетичних полімерів (поліетилену, мікровоску) та тонкого шару алюмінієвої фольги. Зокрема, до складу упаковки «Tetra Pak» входить близько 75 % високоякісного картону, 20 % поліетилену та 5 % алюмінію [33].

Результати досліджень свідчать про те, що вторинний папір і картон, отримані з переробленої упаковки «Tetra Pak», зберігають високі якісні характеристики, наближені до властивостей продукції з первинної целюлози. Типова конструкція упаковки включає картонний шар товщиною близько 0,4 мм, двостороннє поліетиленове покриття товщиною 0,05 мм та шар алюмінієвої фольги товщиною 0,0065 мм, що є значно тоншим порівняно з побутовою алюмінієвою фольгою [22].

Ефективність перероблення та кількість отриманих компонентів значною мірою залежать від характеристик макулатури, її вологості та ступеня забруднення. Так, для отримання 1 т волокнистого матеріалу з упаковки типу «Tetra Pak» за вологості 10 % і вмісту забруднень 5 % необхідно приблизно 1,55 т вихідної сировини. У результаті перероблення додатково отримують близько 0,23 т поліетилену та 0,12 т алюмінію [2].

Основною цінністю упаковки «Tetra Pak» є високоякісне волокно картонного шару, яке виготовляється з первинної сировини — целюлози, напівцелюлози та деревної маси. Оскільки це волокно проходить лише одну

стадію технологічного перероблення, воно зберігає високі фізико-механічні властивості та є перспективним для повторного використання у виробництві паперової продукції [2].

На сучасному етапі відходи асептичної упаковки «Tetra Pak» використовують для виробництва широкого асортименту продукції [34]. Залежно від функціонального призначення виготовляють дво-, три-, чотири- та багатошарові комбіновані матеріали, зокрема:

- папір–адгезив–фольга — матеріал із високими паро-, водо- та ароматобар'єрними властивостями, що застосовується для пакування олії, жирів та чаю;

- фольга–адгезив–папір–поліетилен — композиційний матеріал, у якому папір з одного боку поєднують з фольгою та ламінують поліетиленом, що забезпечує можливість автоматизованого пакування, стерилізації та тривалого зберігання харчових продуктів [38].

Для видалення органічних залишків із поверхні використаної упаковки постачальники та сміттесортувальні комплекси здійснюють попереднє подрібнення макулатури за допомогою шредерів, після чого матеріал пресується у стоси масою 480–520 кг у вологому стані. Подрібнення дозволяє усунути понад 90 % органічних залишків, підвищити щільність кіп та оптимізувати логістичні витрати [21]. Крім того, збільшення площі контакту кромки упаковки з водою сприяє інтенсифікації процесу набухання та покращує подальший розпуск макулатури типу «Tetra Pak».

Практичні дослідження показують, що енергетичні витрати на розпуск упаковки «Tetra Pak» перевищують витрати на перероблення макулатури марки МС-5Б лише на 10–15 %, тоді як витрати води залишаються практично однаковими [21]. Загальні витрати на перероблення 1 т упаковки «Tetra Pak» перевищують витрати на перероблення звичайної макулатури (МС-5Б, МС-6Б) приблизно на 10 %, проте вартість самої сировини є майже у десять разів нижчою. Крім того, звичайна макулатура може містити до 10 % неперероблюваних включень, таких як стрейч-плівка чи скотч, які

потребують подальшого захоронення. Натомість у процесі перероблення упаковки «Tetra Pak» після відділення волокна отримують 15–25 % однорідного за структурою поліалюмінію, придатного для подальшого використання [21].

1.4. Інновації в технології виробництва

Для покращення фізико-механічних властивостей картону, забезпечення стабільності його характеристик за умов підвищеної вологості та збільшення продуктивності картоноробної машини доцільним є використання сучасного технологічного обладнання з високими технічними характеристиками, а також спеціальних хімічних реагентів для зміцнення волокон і визначення їх оптимального дозування. Аналіз літературних джерел дозволяє виокремити низку перспективних технологічних рішень:

1. Застосування дисперсії на основі алкенілсукцинового ангідриду (ASA) для поліпшення гідрофобності картону.

Проклеювання паперу та картону сприяє зменшенню їх здатності поглинати вологу та уповільнює процес змочування [10]. Алкенілсукциновий ангідрид (ASA), який застосовується у паперовому виробництві з 1963 року [10], є органічною циклічною сполукою світло-жовтого кольору маслоподібної консистенції, нерозчинною у воді та рідкою за кімнатної температури [6]. На сучасному етапі у процесах проклеювання застосовують галуново-каніфольні системи, AKD (димералкілкетен) та ASA, які вводять у волокнисту суспензію на вологому етапі виробництва [32]. Галун і каніфоль використовують переважно для отримання кислого паперу при значеннях pH 4,0–5,5, де утворюються алюмінієві сполуки, що взаємодіють із каніфоллю та забезпечують її закріплення у структурі матеріалу [4].

ASA та AKD застосовують переважно у лужних технологічних процесах [3], хоча ASA може використовуватися і в кислому середовищі. Оскільки ASA є нерозчинним у воді, перед введенням у волокнисту масу його емульгують катіонним крохмалем або полімерними сполуками для забезпечення рівномірного розподілу в суспензії [4].

Емульсії ASA готують безпосередньо у виробничих умовах та оперативно вводять у макулатурну масу. Частинки емульсії фіксуються у структурі аркуша на стадії формування полотна, тоді як основний процес проклеювання відбувається під час сушіння, коли ASA розкладається, а його компоненти взаємодіють із волокнами [8].

2. Покращення фізико-механічних показників картону шляхом використання макулатури марки МС-12Г.

Асептична упаковка є багатошаровим матеріалом, що складається з кількох шарів паперу або картону (рис. 1), покритих синтетичними полімерами та фольгою [16]. Упаковка типу «Tetra Pak» містить приблизно 75 % високоякісного картону, 20 % поліетилену та 5 % алюмінію. Вторинний папір і картон, отримані з такого волокна, мають характеристики, близькі до показників продукції з первинної целюлози.



Рис. 1. Склад упаковки «Tetra-Pak»

Основною цінністю упаковки є картонний шар, виготовлений із первинного волокна — целюлози, напівцелюлози та деревної маси, яке

пройшло лише один цикл перероблення і зберегло високі фізико-механічні властивості [1].

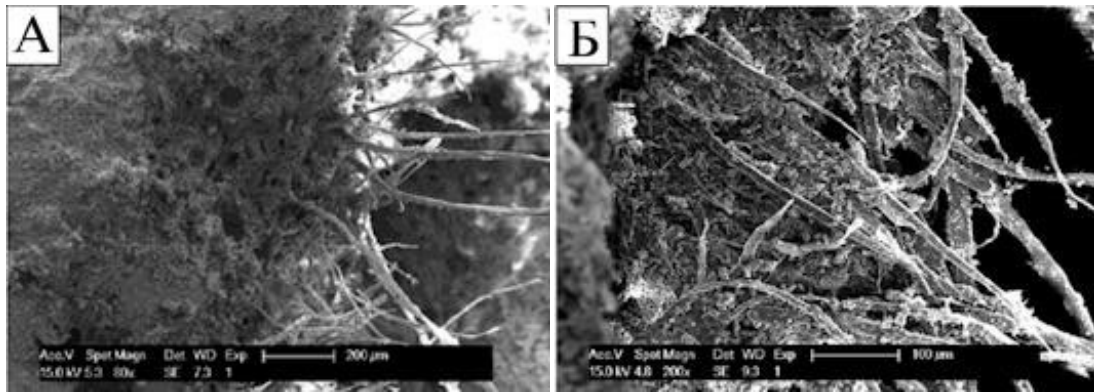


Рис. 2 Волокна під мікроскопом А - Tetra-Pak, Б - гофрокартон

Мікроскопічні дослідження показують, що волокна «Tetra Pak» формують більш щільну та однорідну структуру з меншою пористістю порівняно з волокнами гофрокартону. Волокна гофрокартону характеризуються більшою кількістю порожнин, що забезпечує вищу повітропроникність і гнучкість. Таким чином, волокно «Tetra Pak» має переваги завдяки своїй однорідності та високій якості.

Для попереднього подрібнення доцільно використовувати спеціалізовані подрібнювачі картону, призначені для оброблення картонних коробок, фруктових контейнерів та упаковки з пінополістиролу. Зокрема, конструкція подрібнювача моделі «EKZ» передбачає наявність двох валів з автономними приводами: швидкообертювальний вал виконує функцію подрібнення матеріалу, тоді як повільніший забезпечує його втягування у робочу зону.

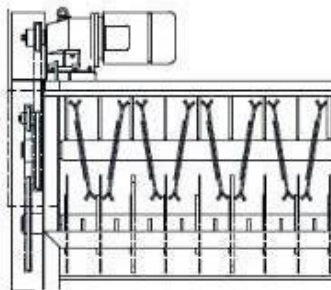


Рис. 3. Механізм подрібнювача «EKZ»

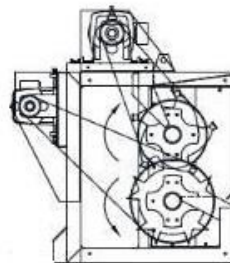


Рис. 4. Елементи ножів дробарки EKZ

Агрегат функціонує у поєднанні з конвеєрною системою подачі сировини. Подрібнення здійснюється двома роторними валами зі

зносостійкими сталевими сегментами, які поперемінно спрямовані назовні та всередину, що забезпечує ефективне руйнування структури матеріалу. Після оброблення отримують фрагменти розміром 200×300 мм – 300×400 мм, придатні для подальшого технологічного перероблення.

1.5. Методи переробки відходів типу «Тетра Пак»

Традиційна технологія вилучення паперового волокна здійснюється у гідророзбивачах. Оскільки процес відбувається у водному середовищі, він супроводжується значними витратами енергії, необхідністю очищення стічних вод та їх подальшої утилізації. Незважаючи на це, перероблення упаковки залишається економічно доцільним [20; 35].

На сучасному етапі також розробляються технології сухого розпуску упаковки «Tetra Pak», що базуються на використанні аеродинамічного диспергатора та дозволяють зменшити витрати на перероблення [35].

Сухий спосіб перероблення передбачає оброблення волокнистих матеріалів в аеродинамічному диспергаторі з одночасним висушуванням, подрібненням та сепарацією матеріалу за показниками вологості та гранулометричного складу. Інерційна сепарація забезпечує вилучення лише тих частинок, що відповідають заданим параметрам, тоді як надмірний механічний або тепловий вплив може спричиняти їх деструкцію [35].

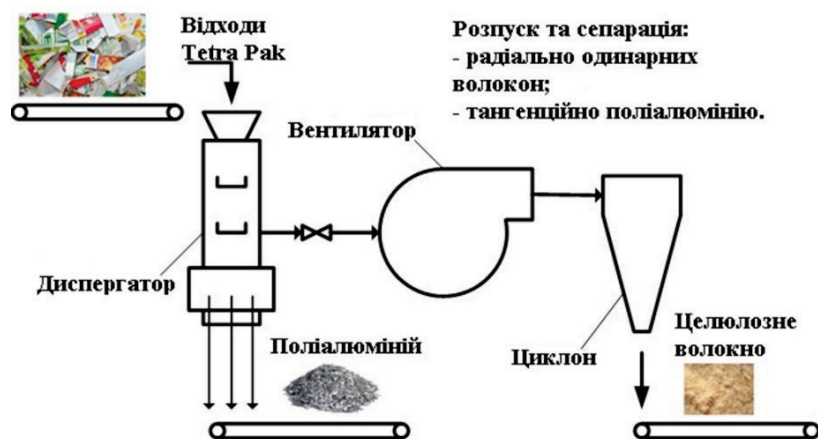


Рис. 5. Схема перероблення відходів упаковки «Тетра Пак» сухим методом

Перевагою аеродинамічного диспергатора є можливість оброблення матеріалів без спеціальної попередньої підготовки. Вихідна сировина може мати вологість до 60 % та розміри частинок до 200×200 мм [35]. Установка

забезпечує делікатне сушіння та подрібнення із максимальним збереженням волокон, а також ефективне розділення волокнистої маси та поліалюмінієвих частинок за принципом інерційної сепарації. Основним недоліком сухої технології є її порівняно низька продуктивність, яка становить близько 5 т/добу [7].

Мокрий спосіб перероблення полягає у просочуванні макулатури водою з двох сторін, внаслідок чого гідродинамічна енергія витрачається переважно на послаблення міжволоконних зв'язків та розпад листового матеріалу на окремі волокна [30]. Вода у целюлозному волокні може перебувати у вільному, капілярному та молекулярно зв'язаному стані [18]. Процес розпуску упаковки «Tetra Pak», яка містить поліетиленові та алюмінієві шари, є складнішим через багатошарову структуру матеріалу. Полімерні та алюмінієві покриття перешкоджають прямому проникненню води до картонного шару, тому ефективність розволокнення залежить від ступеня механічного руйнування структури упаковки. Крім того, полімерна плівка утримується на поверхні картону силами адгезії, що зміцнює структуру матеріалу та знижує швидкість його розпуску [30].

Технологія мокрого перероблення упаковки «Tetra Pak» передбачає розпуск макулатури у гідророзбивачі за концентрації 13–15 % та температури 40–50 °С протягом приблизно 15 хв. Після цього макулатурна маса надходить у сортувальний барабан із діаметром отворів 8 мм для проведення грубого сортування та відділення поліалюмінієвих відходів [23].

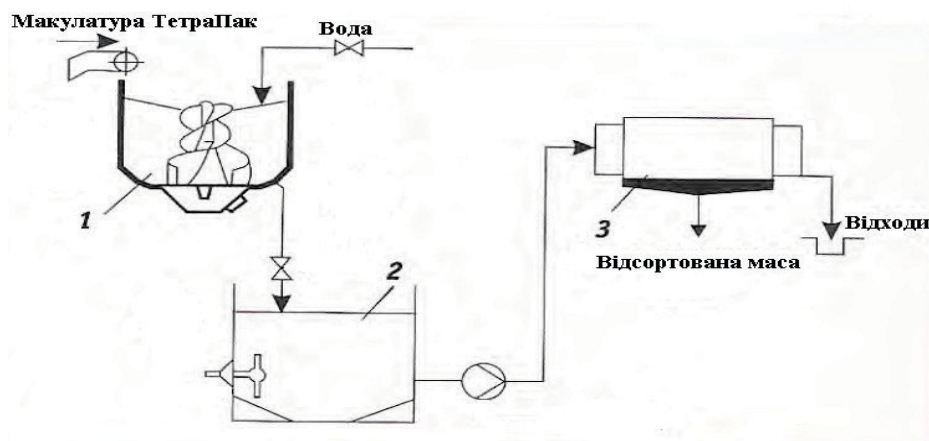


Рис. 6. Вузол розпуску картонної упаковки для рідких продуктів та ламінованого

паперу: 1 – гідророзбивач; 2 – басейн; 3 – сортуючий барабан.

Розпуск макулатури є першою та однією з найважливіших стадій її перероблення. Незалежно від конструкції гідророзбивачів, принцип їх роботи базується на поєднанні дії води, гідродинамічних сил та сил тертя [30].

Характеристики основних елементів обладнання

Літературні джерела [30] пропонують удосконалену конструкцію двороторного гідророзбивача (біпульпера), яка передбачає:

- періодичний режим роботи;
- проведення розпуску за високої концентрації маси (16–18 %);
- встановлення активного ротора та верхнього шнекового ротора по центральній осі ванни;
- збільшення кількості та геометричних параметрів зубців на робочих лопатях активного ротора;
- використання суцільнозварної плити з контрножами замість традиційної підроторної сітки.

Гідророзбивач характеризується продуктивністю, концентрацією маси та тривалістю процесу розпуску. Активний ротор забезпечує ефективне руйнування макулатури за концентрації 8–18 %, тоді як верхній шнековий ротор запобігає прослизанню маси та забезпечує стабільну роботу за високих концентрацій [30]. Така конструкція дозволяє підвищити сили тертя у масі, інтенсифікувати процес перетирання компонентів, збільшити обсяг завантаження макулатури та, відповідно, продуктивність обладнання. Одночасно посилюється руйнування полімерних та алюмінієвих шарів, що сприяє відокремленню волокна. Активний ротор ефективно працює при середніх концентраціях маси (8-12 %), за вищих концентрацій відбувається зрив потоку маси з ротора (прослизання маси), як наслідок – зниження ефективності та продуктивності та збільшення витрат енергії. Верхній ротор нагнітанням усуває зазначений недолік до межі концентрації маси 18–20 % [30].

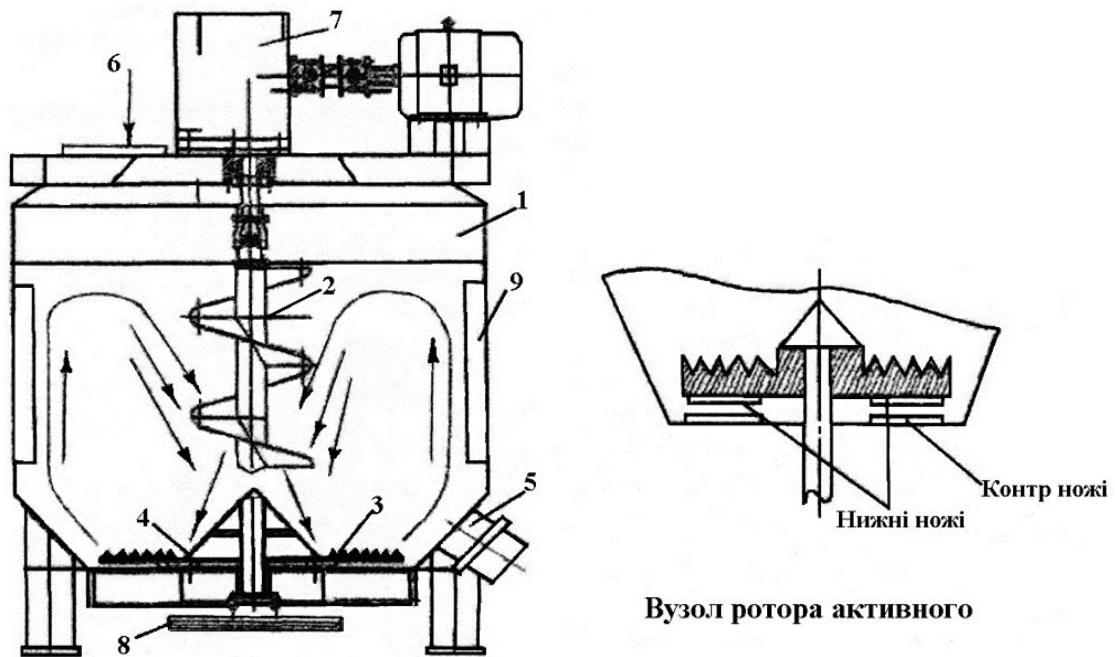


Рис. 7. Пристрій біпульпера: 1 – ванна; 2 – ротор напірний; 3 – ротор активний; 4 – контрножі; 5 – випуск маси; 6 – завантаження макулатури; 7 та 8 – приводи; 9 – дефлектор.

Така конструкція дозволяє підвищити сили тертя у масі, інтенсифікувати процес перетирання компонентів, збільшити обсяг завантаження макулатури та, відповідно, продуктивність обладнання. Одночасно посилюється руйнування полімерних та алюмінієвих шарів, що сприяє відокремленню волокна.

Фактори прискорення набухання волокнистої частини асептичної упаковки «Тетра Пак» для подальшої переробки

Одним із перспективних напрямів інтенсифікації процесу перероблення є застосування активаторів розпуску, які прискорюють набухання та розволокнення целюлозного шару упаковки [13]. Набухання волокон є складним фізико-хімічним процесом, що включає ослаблення міжволоконних зв'язків та пластифікацію волокон за рахунок проникнення води у їх структуру. Здатність целюлози до набухання залежить від способу її отримання, хімічного складу та якості сировини. Висока гідрофільність целюлозних волокон сприяє активному проникненню води у пори та капіляри структури паперу, що призводить до послаблення зв'язків між

волокнами та полегшує їх розволокнення [5]. Важливим фактором є також температура процесу. Підвищення температури знижує в'язкість води та полегшує її проникнення у структуру паперу. Нагрівання маси з 10 до 40 °C дозволяє скоротити тривалість процесу розпуску приблизно на 10 % [11].

Істотний вплив на процес набухання має рН середовища. Лужне середовище сприяє набуханню волокон, тоді як кисле — уповільнює цей процес. Саме тому у технології часто застосовують гідроксид натрію як активатор набухання [11]. Лужна обробка активізує процеси іонного обміну та посилює набухання волокон за рахунок осмотичного ефекту. Проте для відкриття зроговілих поверхонь волокон необхідне поєднання хімічного впливу з механічною дією під час розмелювання. Здатність целюлози до набухання змінюється в широких діапазонах залежно від умов одержання, якості сировини та хімічного складу целюлози. Збільшення вмісту пентозанів призводить до підвищення здатності її до набухання.

Збереженню форми та структури паперу при зануренні у воду сприяє наявність міжволоконних сил зв'язку. Висока гідрофільність волокон і складових макромолекул целюлози обумовлює активне проникнення води в пори і капіляри структури паперу, волокна набухають, зв'язки між ними слабшають, що сприяє розволокненню [5].

Особливістю переробки є багаторазове повернення макулатури у виробництво, внаслідок чого відбувається зроговіння волокон, їх скорочення, зниження показників міцності. Незворотні зміни волокон ускладнюють проникнення води в структуру, їх набухання та знижують міцність паперу. При змочуванні водою контакт між ними здійснюється через гідроксильні групи на поверхні. Надалі вода проникає через міжміцелярний простір, зв'язується з гідроксильними групами на поверхні міцел, спричиняючи набухання.

На першій стадії набухання полімеру поглинається невелика кількість рідини, виділяється тепло (теплота набухання), відбувається об'ємне стискування. Об'єм набухлого полімеру є менший за сумарний об'єм

полімеру та поглиненої рідини; об'ємне стискування пояснюється проникненням маленьких молекул розчинника у проміжки між макромолекулами та щільнішій упаковці системи. Поглинена з виділенням тепла рідина витрачається на сольватацію полярних груп полімеру (один моль рідини на один моль полярних груп), утворюючи мономолекулярний сольватний шар.

На другій стадії поглинається багато рідини без виділення тепла. Рідина не зв'язується з полімером, просто дифундує, всмоктується пористою структурою волокна між мікрофібрилами. Набухання та обмежене розчинення відбуваються спонтанно. Вода проникає в пори сухого паперу, тобто проходить процес набухання, міцні зв'язки між волокнами розриваються, утворюються слабкі водневі містки (рис. 8). Вода зменшує взаємодію волокон, що знижує міцність паперу [11].

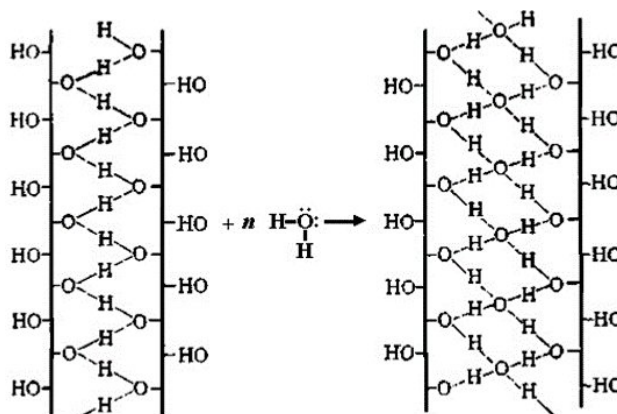


Рис. 8. Механізм утворення водневих містків, спричинене гідрофільністю целюлозного волокна

Окрім розмірів внутрішніх вологопровідних шляхів та ступеня їх змочування швидкість просочення паперу рідиною залежить від величини поверхні зіткнення волокон між собою (її зростання полегшує перехід вологи між волокнами) та ступеню гідрофобності поверхні волокон (впливає на антикапілярні властивості міжволоконних просторів).

Достатня тривалість зволоження паперу у поєднанні зі зниженою гідрофільністю поверхні міжволоконних пор визначає процес намокання. При цьому рух вологи в сильно проклеєному папері відбувається як через міжволоконні, так і через внутрішньоволоконні пори. Швидкість промокання

залежить від розмірів та стану внутрішніх пор, концентрації маси, температури, рН середовища, площі поверхні зіткнення волокон між собою, гідродинаміки процесу змішування тощо. Збільшення площі зіткнення волокон між собою сприяє інтенсивній міграції вологи між волокнами [11], граничне насичення завершується за гідратації доступних гідроксильних груп [5].

Можна констатувати факт того, що композитний склад асептичної упаковки «Тетра Пак» із вмістом гідрофобних шарів поліетилену та алюмінієвої фольги спричиняє розшаруванню упаковки за рахунок розсовування волокон між собою, спричинене проникненням води в картон [11; 5]. Механічний вплив прискорює розпуск та розшарування, тож доречним є застосування активаторів розпуску целюлозного волокна для економії електроенергії, підвищення продуктивності обладнання і швидкої переробки макулатури [13].

На процес розпуску впливає температура суміші, що пов'язано зі зниженням в'язкості води за нагрівання, внаслідок чого вона легше проникає у пори паперу. Нагрівання маси з 10 до 40 °C в гідроразбивачі дозволяє скоротити тривалість процесу майже на 10 % [11].

Істотну роль в набуханні відіграє рН використаного водного середовища (лужне сприяє набуханню волокна, кисле перешкоджає), тож у якості допоміжної речовини використовують гідроксиду натрію [11]. Лужна обробка впливає на набухання внаслідок реакцій іонного обміну. Кислотні групи (карбоксильні групи полісахаридів) в межах стінки волокна дисоціюють, волокно посилено набухає внаслідок осмотичного тиску, вироблене зустрічними катіонами розчину (Donnan-ефект). Рівень набухання збільшується в ряді катіонів: $Al^{3+} < H^{+} < Mg^{2+} < Ca^{2+} < Li^{+} < Na^{+}$. Переробка целюлозної маси з низьким виходом ефект осмотичного тиску, викликаного іонами натрію не здатна відкрити зроговілу поверхню стінки волокна без механічної дії фібрилюючого розмелювання.

2. МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Метою дослідження було удосконалення технологічного потоку з переробки асептичної упаковки «Тетра Пак» з метою її переробки на мішковий папір широкого призначення на потужностях ТОВ «КПФ «Папір-Мал».

Для досягнення даної мети були поставлені наступні завдання:

- дослідити інновації в технології переробки асептичного пакування типу «Тетра Пак».
- Встановити основні чинники пришвидшення процесу набухання.
- Вдосконалення технологічної схеми та впровадження отриманих даних щодо покращення та пришвидшення розпуску макулатурної маси.
- Розрахунок теплового балансу для визначення витрати енергетичних ресурсів.
- Розробка ініціативного проекту за результатами отриманих даних та можливості його впровадження.

Об'єктом дослідження була переробка асептичного пакування «Тетра Пак», а предметом – технологічний потік та технологічні процеси з переробки асептичного пакування для виробництва мішкового паперу на ТОВ «КПФ «Папір-Мал».

У роботі застосовувались наступні методи дослідження:

- ~ теоретичне опрацювання джерел літератури;
- ~ обґрунтування вибору технологічного обладнання;
- ~ експериментальне визначення процесу прискорення набухання волокнистого шару асептичної упаковки;
- ~ розрахунок балансу витрати пари та тепла.

3. ВЛАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі аналізу літературних даних, для підвищення ефективності, інтенсифікації та продуктивності переробки асептичної упаковки типу «Тетра Пак» з метою виготовлення мішкового паперу марки М-78В було прийнято рішення впровадити низку технологічних змін. Зокрема, заплановано встановити подрібнювач перед просочувальною ємністю, гідророзбивач високої концентрації «HI-CONSISTENCY PULPER», який в системі розпуску працюватиме у комплексі з турбосепаратором і сортуючим барабаном. Також планується використання напірної сортувалки STU-081 та термодисперсійної установки.

3.1. Підбір обладнання для вдосконалення технологічного процесу переробки асептичного упакування «Тетра Пак»

Подрібнювач макулатури

Для попереднього подрібнення обрано подрібнювач картону «EKZ» від компанії «ERDWICH». Як зазначено в огляді літератури, цей агрегат ідеально підходить для переробки картонних коробок, тари для фруктів, упаковок із пінополістиролу та інших видів упаковок [28]. Подрібнювач працює з конвеєрною подачею і має завантажувальну камеру з різними допустимими габаритами залежно від моделі (від 1095x710 мм до 2500x710 мм). Кінцевий продукт має розмір від 200×300 мм до 300×400 мм, що забезпечує необхідну підготовку сировини до наступних етапів обробки [28].

3.2. Розпуск при високій концентрації та грубе сортування

Гідророзбивачі високої концентрації фірми “PARASON” (рис. 9) застосовують гвинтові ротори, у конструкції яких (рис. 10) у нижній частині наявні спеціальні зубці, призначені для розривання асептичної упаковки, збільшення площі контакту з водою, кращого розпуску та відділення поліалюмінію. Конструкція ГРВ створює ефективну циркуляцію всередині ванни (рис. 9), що підвищує якість розпуску сировини та дозволяє працювати з концентрацією до 15-16% (вдвічі вища за таку на виробництві ТОВ «КПФ «Папір-Мал» – 7–8%, що збільшує продуктивність). Відповідно ця конструкція ГРВ «HI-CONSISTENCY PULPER» підходить для всіх сортів

макулатури. Гідророзбивачі високої концентрації фірми «PARASON» (рис. 9) здатні забезпечити максимально ефективне руйнування асептичного пакування. Їх конструкція включає гвинтові ротори зі спеціальними зубцями у нижній частині, які сприяють зростанню площі контакту із водою, поліпшенню якості розпуску та відокремленню поліалюмінієвих компонентів. Завдяки інтенсивній циркуляції всередині ванни досягається висока якість обробки при концентрації сировини в діапазоні 15-16% — вдвічі більше, ніж наявні показники на виробництві компанії «КПФ «Папір-Мал» (7-8%).

Гідророзбивач «HI-CONSISTENCY PULPER» підходить для всіх видів макулатури та забезпечує ефективне видалення забруднень, м'яке розпускання і якісну підготовку волокон. У складі системи приготування макулатурної суспензії також застосовуються турбосепаратори з функцією розведення (рис. 11), обладнані ситами діаметром 6-8 мм із крилатками навпроти сита. Ці пристрої виконують грубе сортування і відповідають за відокремлення поліалюмінію та сторонніх домішок, а також за розведення висококонцентрованої маси для подальшого її очищення. Система має високий рівень продуктивності завдяки наступним характеристикам: зменшені втрати волокна при видаленні забруднень; готовність гідророзбивача до подальшого використання одразу після спорожнення; ефективне попереднє фільтрування великих домішок, яке знижує ризик несправностей у наступному технологічному обладнанні [12].

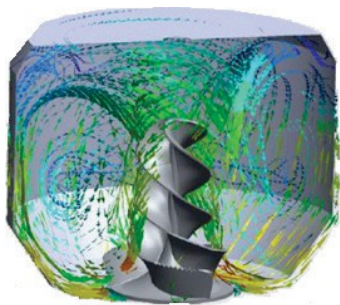


Рис. 9. Гідророзбивач високої концентрації «HI-CONSISTENCY PULPER» фірми «PARASON»

Рис. 10. Ротор гідророзбивача «HI-CONSISTENCY PULPER» фірми «PARASON»

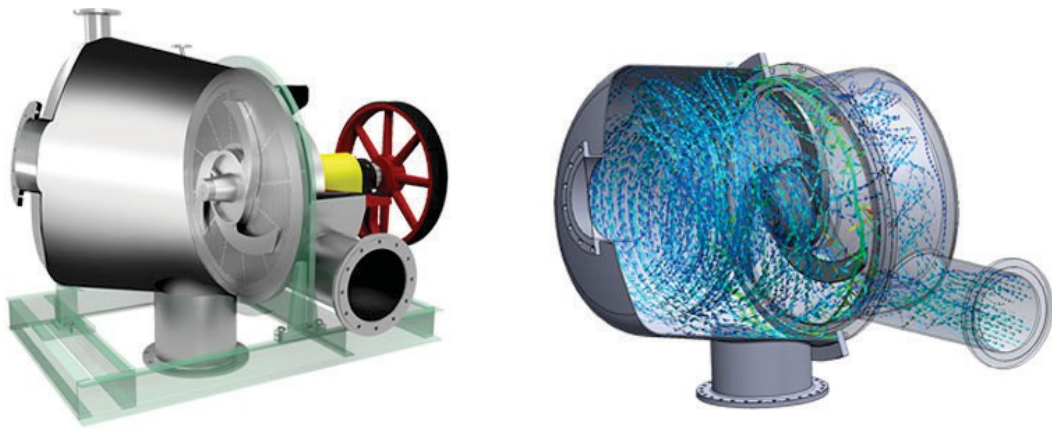


Рис. 11. Турбосепаратор для дорозпуску та розбавлення макулатурної маси фірми “PARASON”

З метою покращення існуючої технологічної схеми на ТОВ «КПФ «Папір-Мал» (рис. 12), пропонується замінити поточну сортувалку на універсальну напірну модель типу STU-081. Це обладнання для грубого сортування відзначається високою продуктивністю та мінімізацією втрат волокна у відходах, що значно оптимізує процес виробництва [26].



Рис. 12. Основні частини машини корпус сортування (1) із вертикальним циліндричним ситом (2) впускна (вхідна) частина (3) із сепаратором важких домішок; випускна (вихідна) частина (4) кришка (5); ротор (6) рама з ремінним приводом (7) електродвигун (8)

Сортувальник STU-081 забезпечує можливість використання різних типів роторів, сит і приводів. Він може функціонувати як на початковому

етапі грубого сортування за допомогою сіта з круглими отворами, так і на заключних стадіях точного сортування. На етапах тонкого сортування сита зі щільною структурою ефективно видаляють найдрібніші домішки, такі як гранули, дрібні частинки пластмаси чи клейкі залишки [26].

Пристрій має тривалий термін служби, простий в експлуатації та вирізняється компактною закритою конструкцією. Основний елемент — вертикальне циліндричне сито, яке очищується зсередини обертовим ротором. Впускний патрубок, а також отвори для відведення легких та важких домішок розташовані тангенційно до корпусу. Вихід очищеного матеріалу організований радіально. Частини машини, що контактують з матеріалом, виготовлені з нержавіючої сталі, а інші компоненти — зі стандартних конструкційних матеріалів.

3.3. Вимоги до сировини та готової продукції

У сучасних умовах розвитку целюлозно-паперової промисловості важливого значення набуває використання вторинної сировини, зокрема паперової та картонної макулатури, придатної для виробництва паперу, картону та інших видів продукції. На відміну від несортованої та непакованої макулатури, до такої вторинної сировини застосовуються вимоги Технічних умов [15]. Відповідно до складу макулатуру класифікують на чотири групи: група А — макулатура з високими паперотворними властивостями, група Б — із середніми, група В — із низькими, а група Г — макулатура, що характеризується складністю розпускання.

Кожна група макулатури, залежно від складу, джерела надходження, кольору та здатності до розволокнення, поділяється на окремі марки. Для таких марок встановлено допустимий вміст домішок, який не повинен перевищувати:

- для марок МС-7Б-1 та МС-7Б-2 — 5 %, а також для марок МС-8В-1, МС-8В-2 та МС-8В-3;
- для марок МС-5Б-2 та МС-5Б-3 — 5 %, а також для марок МС-6Б-1,

МС-6Б-2 та МС-6Б-3.

За погодженням зі споживачем допускається наявність домішок макулатури з вищими паперотворними властивостями в кількості, що не перевищує 10 % [15]. Масова частка забруднень у макулатурі не повинна перевищувати для групи Б – 0,5 %, для групи В – 1,0 %, для групи Г – 1,5 %, тоді як для групи А наявність забруднень не допускається. Вологість макулатури всіх марок не повинна перевищувати 15,0 %, оскільки розрахунок маси партії здійснюється, виходячи з нормативної вологості 12,0 % [15].

Виробництво мішкового паперу марки М-78В здійснюється відповідно до вимог нормативної документації [27] із використанням допоміжних хімічних реагентів, які вводяться до складу макулатурної маси, а саме катіонного крохмалю та алкілкетендимеру. Основні характеристики катіонного крохмалю HI-CAT 5183A наведено в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1. Специфікація катіонного крохмалю HI-CAT 5183A:

Зовнішній вигляд	Порошок білого кольору
Втрати при висушуванні	не більше 16 %
Вміст азоту (по сухому залишку)	0,40 – 0,45 %
Ступінь заміщення	0,048 – 0,055 моль/моль
В'язкість за Брукфілдом (95 °С, 50 об./хв., шпindel 4)	400 +/- 250 мПа. С
рН 3 %-ої суспензії при 20 °С	4,0 – 6,0

Таблиця 2. Специфікація алкілкетендимеру NeitroSize KD 150

Параметр	Одиниця виміру	Специфікація	
		Мін.	Макс.
Зовнішній вигляд	візуально	Молочно-біла рідина	
Сухий залишок	%	17,5	19,5
рН	од. рН	2,5	4,5

Мішковий папір характеризується високими показниками опору роздиранню, подовження при розриві, опору зламу та продавлюванню. Папір марки М-78В застосовується для виготовлення мішків різних типів і марок без використання просочування [27]. Виготовлення паперу здійснюється у рулонах шириною 960, 1020, 1030, 1040, 1060, 1090, 1120, 1220, 1230, 1260 та

1320 мм із допустимим граничним відхиленням за шириною не більше ± 5 мм. За погодженням зі споживачем допускається виготовлення рулонів іншої ширини. Маркування продукції проводиться відповідно до вимог чинних стандартів.

У роботі запропоновано виготовлення паперу з використанням відходів асептичної упаковки типу «Тетра Пак». Показники маси волокна після перероблення такої сировини є близькими до характеристик первинного волокна, що створює можливість для виготовлення мішкового паперу марки М-78В [27].

Якісні показники мішкового паперу повинні відповідати встановленим нормативним вимогам (табл. 3). Зокрема, просвіт паперу має бути рівномірним, а поверхня не повинна містити складок, розривів кромek, малопомітних дірчастих складок, зморшок чи смуг, допустимих для рулонного паперу згідно з ГОСТ 13525.5-68. Намотування паперу повинно бути рівномірним і щільним по всій ширині рулону, а обріз кромek – чистим та рівним. Для вирівнювання намотування забороняється використовувати паперові обрізки. У місцях обриву кінці полотна повинні склеюватися липкою стрічкою шириною не більше 50 мм або тонким шаром нерозтікального клею без склеювання сусідніх шарів паперу. Кількість склеюк у рулоні не повинна перевищувати трьох [27].

Таблиця 3. Показники якості мішкового паперу марки М – 78 В

Найменування показника	Нормування показника для марки М – 78 В	Метод випробування
1. Маса паперу площею 1 м ² , г	78 $\pm$ 4	По ГОСТ 13199-88
2. Маса покриття площею 1 м ²	-	По п. 4.4
Руйнівне зусилля в поперечному напрямку, Н (кгс), не менше в сухому стані у вологому стані	31(3,2) -	По ГОСТ 13525.1-79 По ГОСТ 13525.7-68, розділ 3
Відносне видовження при розтягуванні в машинному напрямі, %, не менше,	2,7	По ГОСТ 13525.1-79
Абсолютна опір роздирання в машинному напрямку, мН (Гс), не менше	670(70)	По ГОСТ 13525 3-78
Повітропроникність, см ³ / хв	150 – 660	По ГОСТ 13525 14-77

Поверхнева вбираність води при односторонньому змочуванні (Кобб ₆₀) сіткового боку, г, не більше	33	По ГОСТ 12605-82
Водонепроникність, год, не менше: - по гідростатичному методу - по методу коробочок	- -	По ГОСТ 9841 – 83 та п. 4.5 діючого стандарту По ГОСТ 21472-81 та п. 4.8
Вологість, %	7-11	По ГОСТ 13525 16-91
Ступінь адгезії, % не менше	-	По п. 4.7
Паронепроникність паперу площею 1м ² за 24 години, г, не більше	-	По ГОСТ 21472-81 та п. 4.8 діючого стандарту

Одним із основних показників міцності мішкового паперу є індекс ТЕА (Tensile Energy Absorption), який характеризує кількість енергії, що поглинається одиницею площі зразка паперу в процесі розтягування до моменту його руйнування. Достовірність цього показника підтверджується результатами кореляційного аналізу взаємозв'язку між індексом ТЕА паперу та міцністю виготовлених із нього мішків. Міцність мішків визначається кількістю ударів до моменту їх руйнування під час скидання з певної висоти та залежить від характеру взаємодії мішка з ударною поверхнею.

3.4. Експериментальна частина

У процесі аналізу та узагальнення літературних джерел, у яких висвітлюється вплив температури та рН середовища на процес набухання целюлозних матеріалів, було прийнято рішення дослідити інтенсивність поглинання вологи картонним шаром відходів виробництва асептичного пакування типу «Тетра Пак». Для проведення досліджень використовували зразки відходів асептичної упаковки з-під соку «Садочок», з яких за допомогою шаблону вирізали фрагменти розміром 30×50 мм. У ході експерименту визначали залежність швидкості набухання, тобто поглинання вологи картонним шаром асептичної упаковки, від тривалості перебування зразків у вологому середовищі.

Для кожного досліду відбирали по 20 зразків, які поміщали у скляну ємність 1 із водою або попередньо підготовленими розчинами луку 6 (табл.

4). Зразки розташовували під покривним склом 2, яке встановлювали на скляну опору 3 та фіксували за допомогою затискача 4, що забезпечувало стійкість і нерухомість конструкції. Покривне скло мало спеціальні бурти, які запобігали спливанню зразків на поверхню рідини (рис. 13). Перед проведенням випробувань кожен зразок попередньо зважували. Надалі через кожні 15 хв здійснювали фіксацію зміни маси зразків з метою визначення інтенсивності набухання картонного шару через кромки асептичної упаковки типу «Тетра Пак»/

Таблиця 4. Показники розчинів NaOH для проведення випробування

№ п/п	Густина, г/см ³	Температура, °С	Концентрація			Значення pH
			%	г/л	Моль/л	
1	1,055	20	5,11	53,91	1,3475	12
2	1,000	20	0,16	1,59	0,0397	8

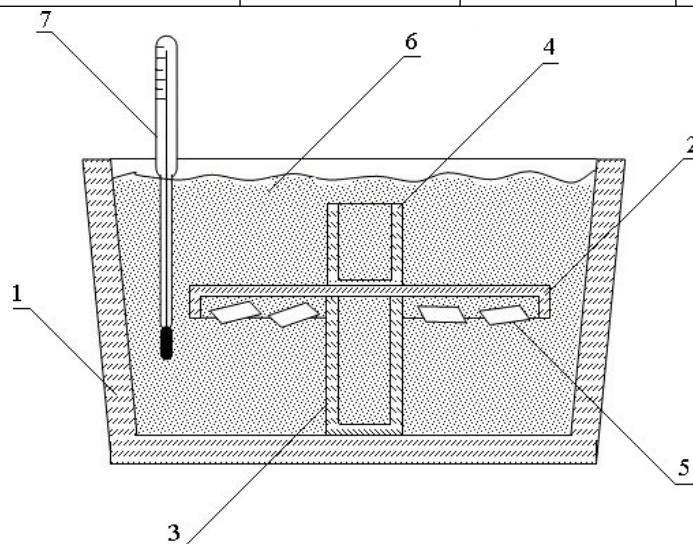


Рис. 13. Ванна для просочування зразків. 1 – скляна ємність; 2 – покривне скло для утримання зразків у розчині; 3 – опора для покривного скла; 4 – фіксатор покривного скла; 5 – зразки асептичної упаковки розміром 30x50 мм; 6 – середовище просочування; 7 – термометр для контролю температури середовища.

Дослідження виконували відповідно до режимів просочування, наведених у таблиці 5.

Ступінь поглинання рідини картонним шаром оцінювали за приростом маси зразків. Відносний приріст маси зразка q , %, визначали за формулою:

$$q = [(m_k - m_n) / m_n] * 100$$

де m_n і m_k – маса зразка до і після просочення, г.

Таблиця 5. Режими просочення

Номер режиму	Температура, °C	Просочувальна рідина	Концентрація, %
1	13 (базовий варіант)	вода	—
2	20	вода	—
3	30	вода	—
4	40	вода	—
5	60	вода	—
6	20	гідроксид натрію	0,2
7	20	гідроксид натрію	5,0

Результати проведених досліджень після статистичної обробки та аналізу наведені у таблиці 6. Встановлено, що температурний інтервал у межах 13–30 °C не мав суттєвого впливу на швидкість поглинання рідини картонним шаром асептичної упаковки. Перші незначні відмінності між режимами просочування стали помітними через 45 хв експерименту, тоді як через 5 годин відносний приріст маси зразків становив близько 8 %.

Таблиця 6 – Приріст маси зразків асептичної упаковки типу «Тетра Пак» за різних умов просочування

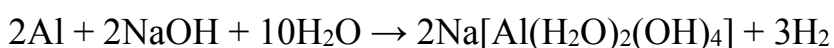
Час, хв	Відносний приріст маси зразка розміром 30x50 мм, %						
	13 C	20°C	30°C	40°C	60°C	NaOH 5% при 20°C	NaOH 0,2% при 20°C
15	2,33	2,29	2,57	2,36	4,50	5,57	2,14
30	2,83	3,33	3,70	3,87	4,81	10,60	3,86
45	3,83	3,37	3,57	5,69	7,81	17,29	4,70
60	3,73	3,88	3,45	5,44	9,39	18,57	5,14
75	4,08	5,12	3,55	6,92	10,66	18,43	6,29
90	4,53	6,00	5,67	7,11	11,74	19,75	8,00
105	5,08	6,00	5,86	6,47	11,90	21,88	8,33
120	5,33	6,40	6,03	7,62	13,68	25,13	8,00
135	5,48	6,83	6,31	6,78	12,74	25,33	7,50
150	5,48	7,12	6,73	8,62	13,28	26,11	7,40
165	6,83	6,86	5,61	7,91	14,70	30,70	7,56
180	6,48	7,00	5,95	7,94	14,84	30,44	8,78
195	6,62	7,20	6,35	8,58	15,68	29,00	8,25
210	6,33	7,37	7,86	8,38	16,14	32,27	7,67
225	7,50	7,56	8,35	8,47	16,28	33,78	8,89
240	7,71	8,10	8,28	8,92	16,61	32,50	8,90
255	7,11	8,50	8,75	8,64	18,25	31,56	8,82
270	7,73	8,56	8,31	11,21	20,57	31,20	9,38
285	7,22	7,89	8,48	10,41	23,68	36,25	10,78
300	9,11	9,22	8,57	13,15	23,38	35,29	11,00

Практично аналогічні результати були отримані для режиму просочування водою за температури 40 °C та для 0,2 %-го розчину луку при

pH = 8. За цих умов процес просочування відбувався інтенсивніше, а приріст маси на рівні 8 % досягався приблизно через 175 хв.

У випадку просочування водою за температури 60 °C приріст маси зразків на 8 % спостерігався вже через 45 хв, тоді як у 5 %-му розчині лугу аналогічний результат досягався через 15 хв. Для режиму 7 через 45 хв відносний приріст маси становив 15 %, тоді як для режиму 5 аналогічне значення було досягнуто лише через 195 хв. Порівняння результатів із базовим режимом 1 за часових проміжків 45 та 175 хв показало, що найбільш ефективними виявилися режими 5 та 7.

Тривале просочування зразків у 5 %-му розчині гідроксиду натрію супроводжувалося виділенням газу та поступовим руйнуванням алюмінієвої фольги по краях зразка. Це пояснюється взаємодією алюмінію з лугом після руйнування його захисного оксидного шару [36]:



Перші ознаки такої взаємодії були зафіксовані через 1,5 год експерименту, а через 5 годин процес став інтенсивним та нерівномірним відносно країв зразків (рис. 14).

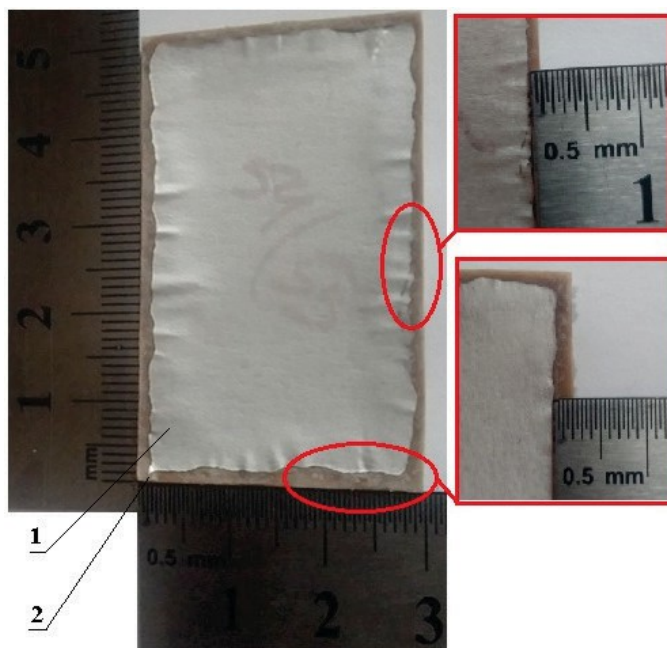


Рис. 14. Зразок асептичної упаковки після просочування протягом 5 год у 5 %-му розчині NaOH

За допомогою програмного забезпечення MS Excel 2010 із використанням функції «Лінія тренда» було виконано апроксимацію експериментальних залежностей та отримано однофакторні математичні моделі для всіх досліджуваних режимів просочування. Усі моделі мають поліноміальний характер та адекватно описують залежність відносного приросту маси зразків від часу просочування (табл. 7). Для апроксимації використовували поліноми п'ятого та шостого ступенів.

Таблиця 7. Результати апроксимації експериментальних залежностей

Номер кривої	Математична модель	Достовірність апроксимації, (R ²)
1	$y = -1E-14x^6 + 9E-11x^5 - 7E-08x^4 + 2E-05x^3 - 0,0023x^2 + 0,1484x + 0,1731$	0,9722
2	$y = -3E-13x^6 + 2E-10x^5 - 9E-08x^4 + 2E-05x^3 - 0,0016x^2 + 0,1252x + 0,27$	0,9778
3	$y = -5E-13x^6 + 4E-10x^5 - 1E-07x^4 + 3E-05x^3 - 0,0024x^2 + 0,1435x + 0,3803$	0,9375
4	$y = 2E-14x^6 + 6E-11x^5 - 5E-08x^4 + 2E-05x^3 - 0,0024x^2 + 0,1974x - 0,0569$	0,9684
5	$y = -9E-12x^5 + 6E-09x^4 + 1E-06x^3 - 0,0011x^2 + 0,2072x + 0,4462$	0,9870
6	$y = 9E-14x^6 - 1E-10x^5 + 4E-08x^4 - 6E-06x^3 - 0,0002x^2 + 0,1213x + 0,1655$	0,9708
7	$y = 9E-14x^6 + 2E-10x^5 - 2E-07x^4 + 5E-05x^3 - 0,0075x^2 + 0,5939x - 0,6577$	0,9821

Аналіз отриманих результатів дає підстави рекомендувати включення до технологічної схеми перероблення відходів асептичного пакування стадії попередньої підготовки до розпускання. Така стадія може передбачати просочування матеріалу у розчині гідроксиду натрію, зокрема під тиском, протягом 15–45 хв. Основою цього процесу є здатність целюлозного волокна до набухання у лужному середовищі. За концентрації їдкого натру 5 % відбувається інтенсивне набухання целюлози, переважно в аморфних ділянках волокна. У результаті цього волокна збільшуються в об'ємі, сили адгезії між полімерною плівкою та целюлозою послаблюються, що сприяє самовільному відокремленню полімерної плівки від поверхні картону [20].

Для забезпечення більшої площі контакту картонного шару з лужним середовищем відходи пакування перед просочуванням доцільно піддавати попередньому подрібненню.

3.5. Технологічна схема виробництва мішкового паперу

Наведена на рис. 15 технологічна схема забезпечує можливість перероблення макулатурних відходів марки МС-12Г та відходів асептичного пакування типу «Тетра Пак» з отриманням цінного волокнистого напівфабрикату, фізико-механічні властивості якого є близькими до показників первинної целюлози [30]. Використання такого волокнистого матеріалу дозволяє виготовляти мішковий папір марки М-78В, який традиційно виробляють із невибіленої целюлози.

Технологічний процес передбачає транспортування макулатури конвеєром до подрібнювача 1. Проведення попереднього сухого подрібнення перед стадією розпускання сприяє підвищенню продуктивності обладнання та зниженню енерговитрат на процес розволокнення [20]. Далі подрібнена макулатура надходить у ємність 2 для просочування, де протягом 15–30 хв під тиском обробляється розчином лугу. Після завершення оброблення розчин зливають, матеріал промивають від залишків лугу, а підготовлену масу направляють до гідророзбивача високої концентрації «НІ-CONSISTENCY PULPER» 3, оснащеного спеціальним гвинтовим ротором. Конструкція ротора забезпечує інтенсивне внутрішньомасне тертя та ефективний розпуск волокнистого матеріалу. Наявність додаткових зубців на роторі сприяє подрібненню та руйнуванню фрагментів упаковки типу «Тетра Пак» на початковій стадії розпускання, що забезпечує додатковий доступ води до волокнистої структури. Для проведення процесу розпускання використовують підігріту оборотну воду, яка сприяє набуханням волокон та розшаруванню картонного і поліетиленового шарів упаковки. Відомо, що при руйнуванні паперу відбувається як розрив міжволоконних зв'язків, так і руйнування самих волокон. Співвідношення між цими процесами залежить

від міцності міжволоконних зв'язків: чим слабші зв'язки, тим легше вони руйнуються і тим меншою є ймовірність пошкодження самих волокон, і навпаки [29].

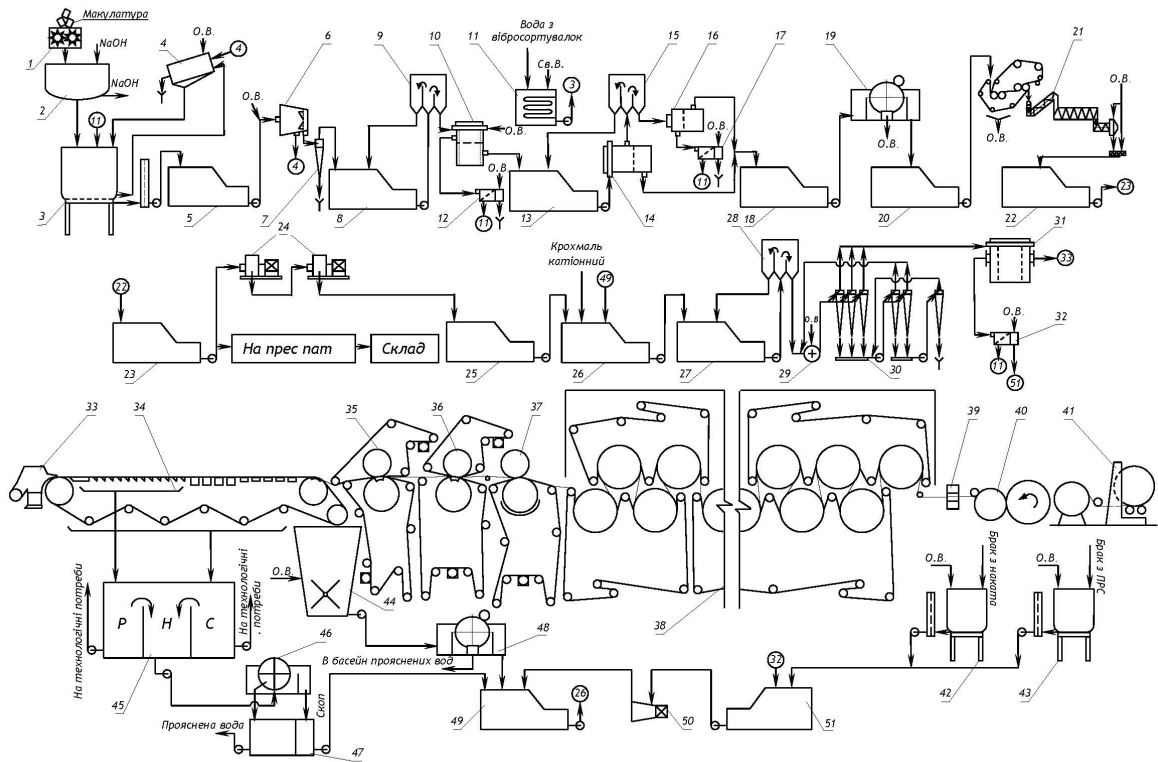


Рис. 15 Технологічна схема виробництва мішкового паперу

На основі проведених досліджень для процесу розпускання доцільно використовувати оборотну воду температурою 40–60 °С, що забезпечує інтенсифікацію процесів набухання целюлозного волокна. Оборотна вода з басейну 11, до якої за необхідності додають свіжу воду, попередньо підігрівається у теплообміннику за рахунок конденсату виробництва та насосом подається в гідророзбивач 3. У результаті формується макулатурна суспензія концентрацією 15–16 %, яка після розпускання через сортуочу плиту з отворами діаметром 12 мм надходить до акумулюючого басейну. На цій стадії здійснюється попереднє грубе розволокнення та видалення великих сторонніх включень. Подальше розволокнення макулатурної маси до стану, придатного для виробництва паперу, здійснюється у сортуючому гідророзбивачі 4 [20]. Його функції включають розбавлення маси до концентрації 4 %, додаткове розпускання волокон, сортування та видалення

залишків поліалюмінію за допомогою сит із отворами 6–8 мм. Відсортовані відходи надходять на промивання до сортувального барабана 5.

Сортувальний барабан являє собою похилий перфорований циліндр, розташований поруч із гідророзбивачем для самопливного вивантаження поліалюмінієвих відходів. Над барабаном встановлено систему сприсків для промивання матеріалу, а під ним – збірник для вилучення промитого волокна. Для покращення перемішування внутрішня поверхня барабана оснащена спіральними лопатями. Відходи надходять через вивантажувальний патрубок, розташований над перфорованою плитою гідророзбивача. Промивна вода разом із залишками волокна повертається до гідророзбивача 3 для повторного розпускання, а очищена полімерна плівка направляється у гідравлічний прес для зневоднення та пакування. Віджата вода через систему каналізації повертається до басейну оборотної води 11.

Розбавлена макулатурна суспензія надходить до очисника маси 7 для вилучення важких включень. Під тиском 200–300 кПа маса тангенціально подається у верхню частину конічного очисника. Під дією відцентрових сил важкі домішки переміщуються до стінок апарата та накопичуються у грязьовику, звідки періодично видаляються. Очищена маса концентрується у центральній частині конуса та через верхній патрубок під тиском 100–200 кПа надходить до басейну 6.

Далі паперова маса через бак постійного рівня 9 подається на напірну сортувалку 8 (STU-081), де за допомогою сит із круглими отворами діаметром 2–3 мм видаляються дрібні легкі включення поліалюмінію. Відходи надходять на вібраційну сортувалку 12, а очищена маса – до акумулюючого басейну з мішалкою 13. Із цього басейну маса насосом подається на тонке сортування у горизонтальну сортувалку 14 (SH-700), обладнану ситом із щілинами 1,2 мм.

Після проходження через сито маса надходить до басейну 18, тоді як відходи із горизонтальної сортувалки через бак постійного напору 15 направляються до сепаратора відходів 16 (VSV-20), призначеного для

остаточного розволокнення, сортування та промивання відходів [26]. Перелив із сепаратора повертається до басейну оборотної води 11. Після оброблення у сепараторі із ситом 1,8 мм макулатурна суспензія також подається до басейну 18, а залишкові відходи направляються на плосковібраційну сортувалку 17.

Надалі макулатурна маса піддається двоступеневому згущенню. На першому етапі за допомогою згущувача 19 концентрація маси збільшується до 5 %, після чого вона накопичується у басейні 20. На другому етапі концентрацію підвищують до 20–30 %, після чого маса надходить до термодисперсійної установки 21, де здійснюється рівномірне диспергування домішок, які не були видалені під час тонкого очищення [29]. Після термодисперсійної обробки маса накопичується у басейні 22 і насосом подається до басейну 23 для підготовки до розмелювання.

Із басейну 23 паперова маса може подаватися на прес-пат для зневоднення, що дозволяє отримати макулатурний напівфабрикат у товарному вигляді для подальшого використання на інших паперових виробництвах або реалізації як окремого продукту.

Для підвищення ступеня фібриляції волокон макулатурна суспензія з басейну 23 проходить через два дискові млини 24, після чого надходить до басейну розмеленої маси 25. Далі масу насосом подають до композиційного басейну 26, куди також дозується оборотний катіонний брак. Після цього паперова маса насосним агрегатом направляється до машинного басейну 27.

Тонке очищення волокнистої маси

Після розмелювання та складання композиції волокниста суспензія надходить у машинний басейн 27, звідки через бачок постійного напору 28 подається до змішувального насоса 29. У насос також подається оборотна вода для розбавлення маси. Перелив із бачка постійного напору повертається до басейну 27. Величина переливу повинна становити не менше 10 % від кількості маси, що надходить, оскільки його відсутність викликає коливання витрати маси та погіршує видалення вільного повітря [29].

Змішувальний насос 29 подає паперову масу на перший ступінь тонкого очищення 30, що реалізується у триступеневій системі вихрових конічних очисників (центриклинерів). Після очищення від дрібних механічних домішок, таких як пісок та іржа, маса надходить на вузлоуловлювач 31 для видалення волокнистих включень – пластівців, згустків та вузлів волокон. Далі маса подається до масонапускного пристрою сіткового столу 33, а відходи, які не пройшли через сито, направляються до басейну зворотного браку 51.

Відходи першого ступеня УВК 30 із нижньої частини центриклинерів розбавляються оборотною водою та подаються на другий ступінь очищення. Очищена маса з верхньої частини другого ступеня повертається до трубопроводу перед змішувальним насосом 29, а відходи другого ступеня після розбавлення подаються на третій ступінь очищення. Маса з верхніх патрубків третього ступеня повертається перед насосом другого ступеня, тоді як залишкові відходи промиваються, зневоднюються та виводяться з виробничого процесу.

Формування полотна. Пресування і сушіння продукції, оброблення

Папероробна машина оснащена напірним ящиком закритого типу, призначеним для рівномірного подавання високодисперсної паперової маси на сітку із заданою швидкістю. Випуск маси здійснюється через щілину напускного пристрою довжиною 3000 мм. Висота щілини регулюється гвинтами верхньої губи, що дозволяє забезпечити необхідну товщину шару маси на формувальному столі.

Формувальний стіл включає грудний вал, гідродинамічні планки, плоскі відсмоктувальні ящики, гауч-вал, сіткоповоротний вал та систему валів для натягу і правлення сітки. Саме на цій ділянці відбувається первинне формування та зневоднення волокнистого полотна.

Після вузлоуловлювача маса через потокорозподільувач надходить до масонапускного пристрою 33, а звідти через щілину напірного ящика подається на сітку. Після проходження гауч-вала полотно із сухістю 22–27 %

передається до пресової частини машини, де зневоднення здійснюється шляхом пресування та вакуумного відсмоктування на першому 35 і другому 36 пресах, а також механічного пресування на третьому пресі 37.

За допомогою канатикового механізму заправлення полотно передається до сушильної частини машини, яка складається з чотирьох груп сушильних циліндрів загальною кількістю 27 одиниць. Сушильна частина оснащена сушильними сітками та ковпаками закритого типу для інтенсивного сушіння.

Після сушіння волокнисте полотно із сухістю 91–94 % намотується у рулони за допомогою периферичного накату 40. Перед накатом встановлений сканер 39 автоматичного регулювання подачі паперової маси, який у режимі реального часу контролює фізичні характеристики готової продукції.

Після намотування рулони подаються на поздовжньо-різальний верстат 41, де здійснюється їх різання відповідно до заданого формату. Надалі продукція пакується, зважується, маркується та транспортується на склад готової продукції.

Використання свіжої та оборотної води на виробництві

У виробничому процесі як свіжу воду використовують річкову воду, яка подається насосним агрегатом після попереднього очищення від механічних домішок на автоматизованій станції фільтрації. Акумуляування очищеної води здійснюється у залізобетонному резервуарі об'ємом 400 м³. Із резервуара вода використовується для різних технологічних потреб, зокрема подається насосами високого тиску на сприскування пресових сукон, грудного валу, сітки сіткового столу та сіткоповоротного валу, а також використовується для забезпечення роботи технологічного обладнання і заливання вакуумних насосів.

Оборотні води, що відводяться з папероробної машини, містять частину волокнистого матеріалу, проклеювальні речовини, наповнювачі та інші компоненти, які вводяться до складу паперової маси. Такі води повторно використовують для розбавлення маси перед очищенням, розпускання сухого

браку та інших технологічних операцій. Надлишкові оборотні води направляються на систему уловлювання волокна.

Відведення оборотної води з папероробної машини здійснюється таким чином: вода з реєстрової частини подається до басейну реєстрових вод, а вода з відсмоктувальних ящиків надходить до басейну смоктунових вод 45. Надалі вся оборотна вода використовується для технологічних потреб, зокрема для розпускання сухого браку у гідророзбивачах ГРВ-(01) 42 та ГРВ-(02) 43, а також для розведення макулатурної маси у гауч-мішалці 44.

Надлишок води з басейну 45 направляється на згущення у систему 46. Вилучене волокно надходить у збірник 47, звідки насосом перекачується до басейну готового браку 49. Освітлена вода надходить до окремого відсіку басейну 47, а її надлишок через перелив відводиться до каналізаційної мережі.

Перероблення зворотного браку

Перероблення зворотного браку у технологічній лінії виробництва здійснюється за допомогою гауч-мішалки 44, а також гідророзбивачів ГРВ-(01) 42 і ГРВ-(02) 43. Гауч-мішалка встановлюється під гауч-валом, куди для повторної переробки направляється волокнисте полотно із сітки під час запусків, обривів полотна та обрізання кромek у процесі роботи обладнання.

Для розбавлення волокнистої суспензії до гауч-мішалки насосом подається оборотна вода з басейну 45. Після цього маса надходить до згущувача 48, а далі – до басейну готового браку 49.

Для перероблення сухого браку, що утворюється під час роботи папероробної машини у зоні накату, передбачено встановлення гідророзбивача ГРВ-(01) 42, а під поздовжньо-різальним верстатом – гідророзбивача ГРВ-(02) 43. У цих апаратах здійснюється розпускання сухого браку, який утворюється у сушильній частині машини, на накаті та під час роботи поздовжньо-різального обладнання.

Оборотна вода з басейну 45 насосом подається до гідророзбивачів, де після повного розпускання утворюється волокниста суспензія. Надалі вона

насосом перекачується до басейну браку 51, куди одночасно надходять відходи з плосковібраційної сортувалки 32 після проходження вузлоуловлювача 31.

Маса з басейну браку 51 за допомогою насоса подається до пульсуючого млина 50. У цьому апараті суспензія концентрацією 2,5–5,0 % піддається інтенсивній дії пульсуючих гідродинамічних тисків та градієнтів швидкостей, унаслідок чого відбувається розділення пучків, пелюсток і грудочок на окремі волокна [20].

Після оброблення у пульсуючому млині маса накопичується у басейні готового браку 49, звідки насосним агрегатом дозується до композиційного басейну 26 для подальшого використання у виробничому процесі.

4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Таблиця 8. Тепловий баланс контактного сушіння мішкового паперу

Початкові дані		
Продуктивність, кг/год	$G =$	3900,74
Початкова вологість матеріалу, %	$W_1 =$	56
Кінцева вологість матеріалу, %	$W_2 =$	6
Початкова температура матеріалу, °C	$t_1 =$	20
Початкова температура повітря, °C	$\theta_1 =$	10
Початкова вологість повітря, %	$F_1 =$	0,5
Кінцева температура повітря, °C	$\theta_4 =$	80
Кінцева вологість повітря, %	$F_2 =$	0,9
Температура повітря після теплообмінника, °C	$\theta_2 =$	25
Температура граючої пари, °C	$\theta_{\text{пари}} =$	130
Стаття приходу/ витрати тепла		Кдж/год
Прихід тепла		
1.3 паром, що надходить в сушильні циліндри		12809692,67
2.3 паром, що надходить в калорифер		1567718,436
3. Тепло використане в теплообміннику		527380,5422
Всього		14904791,65
Витрати тепла		
1. На підігрів матеріалу		1054334,561
2. На сушіння в 2-му, 3-му періодах		11487285,25
3. На втрати в оточуюче середовище		77856,15773
4. На втрати з невикористаним повітрям		52738,05422
5. На підігрівання повітря в теплообміннику		527380,5422
6. на втрати з повітрям, що відходить		1880990,6
Всього		15080585,17
Витрати пари в сушильній частині, кг/год	$D_1 =$	5834,814166
Витрати пари в калориферах, кг/год	$D_2 =$	714,095644
Загальна витрата пари, кг/год	$D =$	6548,909811
Витрата пари на 1 кг матеріалу, кг/год	$D_{\text{пит}} =$	1,678889085
Кількість повітря, що подається в сушильну частину, кг/год	$L =$	34896,59645
Кількість свіжого повітря, кг/год	$L_9 =$	38386,2561
Поверхня теплопередачі для підігрівника, м ²	$F_1 =$	13,38837537
Поверхня теплопередачі для сушіння, м ²	$F_{2,3} =$	186,0928003
Загальна поверхня теплопередачі, м ²	$F =$	199,4811757
Температура повітря, на вході в сушильну частину, °C	$\theta_3 =$	74,58976898
Температура матеріалу в ході сушіння є постійною швидкістю, °C	$t_2 =$	60
Середня температура матеріалу в 2,3 періодах, °C	$t_4 =$	78,9
Середня температура матеріалу, °C	$t_5 =$	40
Температура матеріалу після сушіння, °C	$t_3 =$	113,55

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. На основі проведеного огляду науково-технічної літератури проаналізовано сучасний стан використання асептичного пакування типу «Тетра Пак», визначено основні переваги та перспективи впровадження технологій його перероблення. Також досліджено чинники, що впливають на інтенсифікацію процесу набухання волокнистої складової асептичного пакування з метою подальшого ефективного перероблення.
2. Проведено експериментальні дослідження, спрямовані на визначення способів інтенсифікації процесів просочення та набухання асептичного пакування за різних технологічних умов, що дозволяє підвищити продуктивність і якість процесу розпускання у виробничому циклі.
3. Розроблено технологічну схему перероблення відходів пакування типу «Тетра Пак» для виробництва мішкового паперу марки М-78В. З метою підвищення ефективності технологічного процесу запропоновано впровадження інноваційних рішень, зокрема стадії попереднього подрібнення макулатури, її просочування перед розпусканням, використання технології розпуску за високої концентрації, а також застосування гідророзбивача, оснащеного шнековим ротором і додатковими зубцями.
4. Виконано розрахунок теплового балансу контактного процесу сушіння паперу. Установлено, що сумарні витрати теплової енергії становлять 15080585,17 кДж/год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Akgün, D., Özcan, D. O., & Övez, B. (2022). Optimization and characterization of cellulose nanocrystal production from aseptic tetra pak food packaging waste. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 9(1), 131-148.
2. Bouazizi, A., Berrich Kilani, E., Aloui, F., & Bekri-Abbes, I. (2026). Activated biochar from laminated beverage cartons for dye removal in water treatment through an integrated multi products process. *Separation Science and Technology*, 61(6), 817-836.
3. Lakshmaiya, N., Vijetha, K., Doss, A. S. A., Nitesh, K. S., Ross, N. S., & Maranan, R. (2025). Dual-Scale evaluation of hybrid Al-SiC/Graphene composites: mechanical properties and deep Learning-Driven machinability insights. *Results in Engineering*, 27, 105742.
4. Ntifafa, Y., Xu, L., Bollinger, S., Ji, Y., & Hart, P. W. (2023). Alkenyl succinic anhydride: the question of covalent bonding and chemistry considerations for better sizing. *Polymers*, 15(13), 2876.
5. Petrushka, I. M., Mokryy, V. I., & Dmytriv, B. A. (2024). Аналіз технологій утилізації та використання волокнистого макулатурного скопу. *Environmental safety and natural resources*, 51(3), 5-21.
6. Santiago-Martínez, L., Avraamidou, S., Ayala-Cortés, A., Azike, R., Bakshi, S., Banik, C., ... & Huber, G. W. (2026). Biomass Demineralization: A Critical Need for Future Biorefineries. *Chemical Reviews*.
7. Verkhivker, Y. G., & Myroshnichenko, O. M. (2025). ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА, ПЕРЕРОБКИ, МАРКУВАННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ТАРИ ДЛЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ. *Journal of Chemistry and Technologies*, 33(2), 483-492.
8. Wang, H., Sun, J., Zhao, Y., Zhang, Z., & Cheng, S. (2022). Janus particles stabilized alkenyl succinic anhydride emulsion as internal sizing agent. *Cellulose*, 29(11), 6361-6372.
9. Бовсуновський, В. М. (2022). РОЗРОБКА НАПРЯМІВ УТИЛІЗАЦІЇ КОМБІНОВАНОЇ ПОЛІМЕРНОЇ УПАКОВКИ ДОЙ-ПАК.
10. Вюрцбург, О.Б.; Mazzarella, ED Новел Процес розміру паперу. Патент США № 3,102,064, 27 серпня 1963 р.
11. ГАЛИШ, В., РАДОВЕНЧИК, Я., ГОМЕЛЯ, М., & РАДОВЕНЧИК, В. (2022). Вивчення процесів очищення підсіткових вод для повторного використання в целюлозно-паперовій промисловості. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 313(5), 128-133.
12. Гідпорозбивач URL: (<https://parason.com/products/pulping/hi-consistency-pulper-system/>)
13. Григоров, А. Б. (2023). Курс лекцій з навчальної дисципліни "Рециклінг та ресурсозбереження в галузі".
14. Дмитренко, В. М. (2023). Впровадження цифрових технологій в картонну промисловість. Журнал автоматизації та робототехніки.
15. ДСТУ 3500: 2019. Макулатура паперова і картонна. Технічні умови

16. Електродний ресурс (<https://zerowaste.org.ua/2023/10/27/rekomendacziyi-do-proyektu-zakonu-ukrayiny-pro-upakovku-i-vidhody-upakovky/>)
17. Іванова, І. М., та Федорова, Л. В. (2020). Енергозбереження у виробництві картону: оптимізація технологічних процесів. *Енергетичний вісник України*.
18. Караюмер, А. Ю., & Кустовська, А. Д. (2025). ВИКОРИСТАННЯ ВОЛОКНИСТИХ ВІДХОДІВ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ ВОДОРОСТЕВОЇ БІОМАСИ РОДУ ZOSTERA ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРОВИХ МАТЕРІАЛІВ. *Science-Based Technologies*, 66(2).
19. Ковальов, О. О., & Панов, І. С. (2026). ПРОЦЕСИ УТИЛІЗАЦІЇ РІЗНИХ ВИДІВ ПАКУВАЛЬНОЇ ТАРИ Й УПАКОВКИ, ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*, (1), 98-104.
20. Курта, С. А., Воронич, О., & Ільницький, М. (2022). ТЕХНОЛОГІЯ І ОБЛАДНАННЯ ПОДРІБНЕННЯ ПАПЕРОВО-ПОЛІМЕРНОЇ УПАКОВКИ, СЕПАРАЦІЇ ТА РЕЦИКЛІНГУ ЦЕЛЮЛОЗИ І ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ. *Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології»(м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.)*.–К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2022.–248 с., 113.
21. Матвєєва, Н., & Мальований, Г. (2024). ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ З ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ТА ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ. *Економіка та суспільство*, (60).
22. Міщук, О. І. УПАКОВКА ЯК ЕЛЕМЕНТ КОМПЛЕКСУ ПРОСУВАННЯ. ТМ Борисова, докт. економ. наук, доцент, НБ Кирич, докт. економ. наук, професор, ММ Тимошик, директор рекламного агентства «Маркетингові технології ПБС», голова ТГО «Альянс рекламистів Тернопільщини», 110.
23. Мовчанюк, О. М. (2023). Технологія башмачного пресування у виробництві паперу та картону. *ВЧЕНІ ЗАПИСКИ*, 42023197.
24. Мороз, І. П., та Лещенко, Т. П. (2022). Сучасні екологічні стандарти в картонній промисловості. *Екологія та виробництво*.
25. Мохаммед З. Аль-Гарраві, JinwuWang, та Дуглас В. Боусфілд. Покращення вторинної переробки картону з поліетиленовим покриттям із шаром нанофібрильованої целюлози.
26. Напірна сортувалька компанії «PAPCEL» URL:(<https://www.papcel.cz/ru/produkty/papir/cardboards/stock-preparation-line/>)
27. Петренко, А. В. (2025). Технологічний потік з виробництва паперу мішкового Крафт.
28. Подрібнювач макулатури URL: (<https://www.erdwich.com/ru/mashiny/>)
29. Примаков С.П., Барбаш В.А. «Технологія паперу і картону» / Навчальний посібник для вузів – К: ЕКМО, 2002, – 396 с.
30. Свердлик Г.В. Установка та технологія композиції волокна із макулатури ТетраПак і МС-5Б для флютингу і тест-лайнера / Автореф. дис.

на здобуття наук.ст. к.т.н., 2013. – 142 с.

31. Слободянюк, О. В., та Козак, С. М. (2021). Інноваційні підходи до виготовлення картону з використанням полімерних добавок. Журнал екологічної інженерії та промисловості.
32. Сюй, Л.; Майерс, Дж.; Харт, П. Як використовувати галун з катіонною дисперсною каніфоллю. Таппі Дж. 2016, 15, 331–335.
33. Сяолінь Чен, Ісін Луо, Сянлан Бай Факультет машинобудування, Університет штату Айова, Еймс, штат Айова, США «Переробка картонної упаковки Tetra-Пак, що містить поліамід до цінних хімічних речовин і полімерів, які можна переробити»
34. Технологія сухого способу переробки асептичної упаковки «Парматех»: URL: <https://www.parmatech.org/slozhnyie-otxodyi/>
35. Технологія сухого способу переробки асептичної упаковки «Парматех»: URL: <https://www.parmatech.org/slozhnyie-otxodyi/>
36. Хоботова, Е. Б. (2026). Загальна та неорганічна хімія. Частина 2. Неогранічна хімія: підручник.
37. Чорний, В. О., та Мельник, О. В. (2022). Технології виготовлення картону: сучасний стан і тенденції розвитку. Технічний вісник Харківського національного університету.
38. Шилович, Т. Б., Малин, Е. Д., & Блайвас, І. Ю. (2017). Удосконалення технології виробництва вологостійкого тарного картону. Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (1), 49-52.