

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

на тему:

«Технології захисту навколишнього середовища при функціонуванні  
картонно-паперового підприємства»

Дубинський Євгеній Віталійович

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЗНСтаОП

\_\_\_\_\_ Т.М. Ткаченко

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ МАГІСТР**

«Технології захисту навколишнього середовища при  
функціонуванні картонно-паперового підприємства»

Виконав студент групи ТЗНСм-24

Дубинський Євгеній Віталійович

Спеціальність: 183«Технології захисту навколишнього середовища»

Керівник: д.т.н., проф. Василенко Л.О.

Рецензент: \_\_\_\_\_

Київ 2025 р

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Спеціальність: 183«Технології захисту навколишнього середовища»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЗНС та ОП

\_\_\_\_\_ Т.М. Ткаченко

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 року

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

- 1.Тема роботи:Технології захисту навколишнього середовища при функціонуванні картонно-паперового підприємства.  
керівник роботи: д.т.н., Василенко Л. О.  
затверджена наказом вищого навчального закладу від «\_\_\_» \_\_\_\_\_  
202\_\_ р. № \_\_\_\_\_
- 2.Строк подання студентом роботи «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.
- 3.Вихідні дані до роботи а) дані надані підприємством
- 4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Загальна характеристика картонно-паперової промисловості, Загальна характеристика об'єкта досліджень та території розташування, Кліматичні та геологічні особливості регіону досліджень, Аналіз, Висновки. Список використаної літератури
5. Перелік графічного матеріалу Рисунки - 3

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Загальна характеристика картонно-паперової промисловості	березень	виконано
2	Загальна характеристика об'єкта досліджень та території розташування	березень	виконано
3	Кліматичні та геологічні особливості регіону досліджень	квітень	виконано
4	Рекомендації щодо розвитку системи управління екологічною безпекою підприємства	травень	виконано
5	Охорона праці на підприємстві	травень	виконано
6	Висновки	червень	виконано
7	Список використаної літератури	вересень	виконано
8	Остаточне оформлення роботи	жовтень	виконано
9	Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	грудень	виконано
10	Попередній захист роботи на кафедрі	грудень	виконано

### 7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		Дата	Підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			
Розділ 5.			

### 8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська робота містить [90] сторінок, [3] рисунків, [39] джерел за переліком посилань.

Об'єкт дослідження – процес формування та розсіювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від джерел картонно-паперового підприємства.

Предмет дослідження – технологічні та організаційно-технічні заходи, спрямовані на зниження антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

Мета роботи полягає в оцінці впливу підприємства на стан атмосферного повітря та розробці комплексу заходів для досягнення нормативів екологічної безпеки.

У роботі проведено аналіз господарської діяльності підприємства та інвентаризацію джерел викидів. Виконано розрахунок розсіювання забруднюючих речовин, який виявив недостатню ефективність існуючої системи газоочистки.

Обґрунтовано доцільність модернізації пилогазоочисного обладнання шляхом заміни інерційних циклонів на високоефективні рукавні фільтри з імпульсною регенерацією. Запропоновано технологічні заходи щодо оптимізації спалювання палива в котельні та заходи з фітомеліорації санітарно-захисної зони.

У розділі охорони праці проаналізовано шкідливі виробничі фактори (шум, пил, пожежна небезпека) та розроблено інженерні рішення щодо захисту персоналу.

Ключові слова: Охорона навколишнього середовища, картонно-паперове виробництво, викиди в атмосферу, рукавний фільтр, гранично-допустима концентрація, екологічна безпека.

## ABSTRACT

The Master's thesis consists of [90] pages, [3] and [39] references.

The object of the study is the process of formation and dispersion of pollutant emissions into the atmospheric air from the sources of a cardboard and paper enterprise.

The subject of the study is technological and organizational-technical measures aimed at reducing the anthropogenic load on the environment.

The purpose of the work is to assess the enterprise's impact on the state of atmospheric air and to develop a set of measures to achieve environmental safety standards.

The thesis analyzes the economic activity of the enterprise and provides an inventory of emission sources. Calculations of pollutant dispersion were performed, revealing the insufficient efficiency of the existing gas cleaning system.

The feasibility of modernizing dust and gas cleaning equipment by replacing inertial cyclones with high-efficiency bag filters with pulse regeneration is substantiated. Technological measures for optimizing fuel combustion in the boiler room and phytomelioration of the sanitary protection zone are proposed.

The occupational health and safety section analyzes harmful production factors (noise, dust, fire hazard) and develops engineering solutions for personnel protection.

**Keywords: ENVIRONMENTAL PROTECTION, CARDBOARD AND PAPER PRODUCTION, ATMOSPHERIC EMISSIONS, BAG FILTER, MAXIMUM PERMISSIBLE CONCENTRATION, ENVIRONMENTAL SAFETY.**

**Ключові слова: екологічна безпека,**

## ЗМІСТ

Вступ		11
Розділ 1.		13
1.1	Загальна характеристика картонно-паперової промисловості	13
1.2	Основні екологічні проблеми картонно-паперових підприємств	15
1.3	<b>Джерела забруднення навколишнього середовища при виробництві картону та паперу</b>	17
1.4	Сучасні технології захисту атмосферного повітря на підприємствах галузі	23
1.5	Методи очищення стічних вод картонно-паперових підприємств.	26
1.6	Поводження з відходами та вторинна переробка сировини	28
1.7	Аналіз нормативно-правових вимог у сфері охорони довкілля	30
Розділ 2.	<b>ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	34
2.1	Загальна характеристика досліджуваного картонно-паперового підприємства	34
2.2	Загальна характеристика досліджуваного картонно-паперового підприємства	35
2.3	Сировинна база та допоміжні матеріали	38
2.4	Характеристика основних екологічно небезпечних процесів	40
2.5	Методи екологічних досліджень і розрахунків	43
2.6	Інформаційна та нормативна база досліджень	46
Розділ 3.	Кліматичні та геологічні особливості м. Обухів	49

3.1	Фізико-географічна характеристика регіону	49
3.2	Кліматичні умови та їх вплив на поширення забруднюючих речовин	50
3.3	Геологічна будова та гідрогеологічні умови	52
3.4	Характеристика ґрунтів та підземних вод	54
3.5	Оцінка екологічної вразливості території	56
Розділ 4.	Рекомендації щодо розвитку системи управління екологічною безпекою підприємства	59
4.1	Впровадження сучасних технологій переробки та утилізації відходів виробництва	59
4.2	Технології сортування та первинної обробки відходів розпуску макулатури	60
4.3	Технології енергетичної утилізації та рециклінгу шламів	61
4.4	Повторне використання водних ресурсів та замикання технологічних циклів	63
4.5	Модернізація інфраструктури поводження з відходами на підприємстві	65
4.6	Впровадження цифрових інструментів управління екологічними аспектами	67
4.7	Впровадження принципів циркулярної економіки у стратегію розвитку комбінату	68
Розділ 5.	Охорона праці	72
5.1	Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	72
5.2	Організаційні та правові заходи	73
5.3	Санітарно-гігієнічні та інженерно-технічні заходи	75
5.4	Електробезпека	78
5.5	Пожежна безпека	80
	Висновки	83
	Список використаної літератури	84

## ВСТУП

### **Актуальність роботи.**

Актуальність дослідження зумовлена тим, що картонно-паперова промисловість є однією з ресурсо- та водоемних галузей промисловості, діяльність якої супроводжується значним антропогенним навантаженням на навколишнє середовище. У процесі виробництва картону та паперу утворюються значні обсяги забруднених стічних вод, атмосферних викидів і твердих відходів, що містять органічні та неорганічні забруднювальні речовини.

Основними екологічними проблемами функціонування картонно-паперових підприємств є забруднення поверхневих і підземних вод органічними речовинами, завислими частинками та сполуками хімічних реагентів, викиди пилу і газоподібних забруднювачів в атмосферне повітря, а також накопичення виробничих відходів і осадів очисних споруд. Додатковим чинником актуальності є посилення вимог природоохоронного законодавства, необхідність впровадження найкращих доступних технологій (НДТМ/ВАТ) та переходу підприємств до принципів сталого розвитку і циркулярної економіки.

У зв'язку з цим виникає необхідність науково обґрунтованого аналізу екологічного впливу картонно-паперового підприємства та розроблення ефективних технологічних рішень, спрямованих на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

### **Об'єкт дослідження:**

вплив діяльності картонно-паперового підприємства на навколишнє середовище.

### **Предмет дослідження:**

діяльність картонно-паперового підприємства в частині утворення викидів в атмосферне повітря, скидів стічних вод, формування відходів та застосування технологій захисту навколишнього середовища.

**Мета роботи:**

зниження екологічного впливу картонно-паперового підприємства шляхом аналізу джерел забруднення та обґрунтування ефективних технологій і заходів охорони навколишнього середовища.

**Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких задач:**

1. **Охарактеризувати** особливості технологічних процесів картонно-паперового виробництва та основні джерела негативного впливу на навколишнє середовище.

2. **Обґрунтувати** вибір сучасних технологій та методів захисту атмосферного повітря, очищення стічних вод і поводження з відходами картонно-паперового підприємства.

3. **Оцінити** екологічний вплив діяльності підприємства на компоненти навколишнього середовища та ефективність існуючих природоохоронних заходів.

4. **Розробити** рекомендації щодо зменшення негативного впливу підприємства на навколишнє середовище з урахуванням екологічної та економічної доцільності.

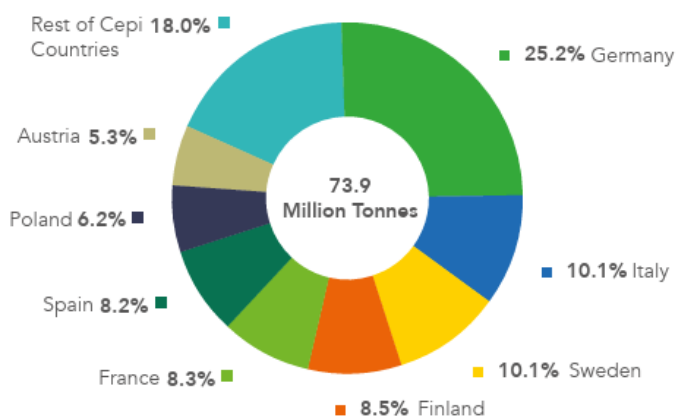
## Розділ 1

### 1.1. Загальна характеристика картонно-паперової промисловості.

Картонно-паперова промисловість є важливою складовою переробної економіки, що виробляє широку номенклатуру продукції — від пакувальних матеріалів і гофрокартону до друкарського та гігієнічного паперу. Технологічний ланцюг галузі включає отримання пульпи (з первинної деревини або з макулатури), її підготовку (механічні та/або хімічні методи пульпування), відбілювання (за потреби), формування аркушів, пресування та сушіння, а також допоміжні операції (обробка, покриття, порізка і пакування). Джерелом сировини для галузі є як насамперед деревина, так і вторинні волокна — паперова сировина (макулатура), що визначає різні технічні схеми виробництва та екологічні профілі підприємств **[Error! Reference source not found.]**

За останні роки структура попиту зміщується в бік упаковки і спеціалізованих картонно-пакувальних рішень, що підсилює роль галузі в ланцюгах поставок товарів (харчова промисловість, e-commerce тощо). У Європі (країни-члени СЕРІ) сумарне виробництво паперу та картону у 2023 р. складало близько 73,9 млн т, при цьому сектор займає значну частку у переробці деревини та в промисловому ланцюжку доданої

Paper and Board Production by Country in 2023



вартості (див. рис 1.1) **[Error! Reference source not found.]**

## Рис. 1.1 Виробництво паперу та картону за країнами у 2023 році

Технологічні особливості галузі зумовлюють кілька ключових екологічних характеристик:

- Ресурсоемність. Високе споживання води та енергії — вода використовується в процесах формування пульпи, миття, біопроесах та охолодженні, тоді як енергія витрачається на нагрів, сушіння та переробку. Частина енергоспоживання припадає на сушильні процеси, що робить енергетичну ефективність критичною складовою екологічної політики підприємств [**Error! Reference source not found.**]
- Викиди в довкілля. Стічні води можуть містити значні концентрації органічних речовин (високі значення ХПК/БПК), завислих речовин, речовин відбілювання та допоміжних хімічних реагентів; у повітря можуть надходити пил, оксиди азоту і сірки, CO<sub>2</sub> та леткі органічні сполуки. Накопичення і неправильна утилізація осадів очисних споруд і твердих відходів може призводити до вторинного забруднення ґрунтів і підземних вод [**Error! Reference source not found.**]
- Циркулярність і переробка. Галузь інтенсивно працює над підвищенням ступеня повторного використання волокон; у європейському регіоні показники переробки паперу і картону традиційно високі, проте змінюються в залежності від ринкових умов: у 2022 р. частка переробки всього спожитого паперу/картону в Європі становила близько 70.5%, а за даними 2023 р. було зафіксовано підвищення цього показника (звітні оцінки ~79.3% — методологія підрахунку див. джерела). Це підкреслює роль ефективних ланцюгів збору та ринку «Paper for Recycling» для зменшення потреби у первинній деревині і зменшення екологічного відбитку виробництва [**Error! Reference source not found.**]

Питання водоспоживання та обсягів скидів є одним із центральних екологічних викликів галузі. Оцінки водоспоживання та обсягу стічних вод у літературі варіюють залежно від технологічної схеми,

ступеня рециркуляції на підприємстві та типу продукції; у рецензійних та галузевих джерелах зустрічаються наступні орієнтовні показники обсягу стічних вод/водоспоживання:

- близько 200 м<sup>3</sup> стоків на 1 т продукції — орієнтовна оцінка, наведена у матеріалах FAO з огляду effluent і типових витрат галузі; ця оцінка відображає повний технологічний цикл без високого ступеня циркуляції водних потоків **[Error! Reference source not found.]**

- нижчі оцінки (порядку 60 м<sup>3</sup>/т) фігурують у деяких наукових статтях як мінімальні значення для сучасних оптимізованих ліній або для окремих категорій паперу при застосуванні інтенсивної рециркуляції. **[Error! Reference source not found.]**

- приклад дослідницького звіту/аналізу наводить середнє значення близько 256 м<sup>3</sup>/т для певних технологічних конфігурацій (CIBTECH, дослідження 2021), що підкреслює широкий розкид оцінок і залежність від специфіки виробництва **[Error! Reference source not found.]**

На основі наведених фактичних положень слідує висновок, що заходи екологічного управління в картонно-паперовій галузі мають бути багатовимірними: впровадження ресурсоефективних технологій (зниження питомого водоспоживання та енергоспоживання), модернізація очисних споруд (біологічні, фізико-хімічні та комбіновані системи для зменшення ХПК/БПК, ЗРЧ та взяття під контроль токсичних компонентів), а також розвиток інфраструктури збору і переробки макулатури для підвищення ступеня циркуляції волокон. Усе це визначає науково-прикладну спрямованість подальших розділів дослідження **[Error! Reference source not found.]**

## **1.2. Основні екологічні проблеми картонно-паперових підприємств**

Картонно-паперова промисловість, поряд з технологічними перевагами та важливою роллю у сучасній економіці, є джерелом значного антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Основні екологічні проблеми, що виникають унаслідок її діяльності, зумовлені комплексом технологічних процесів, значними обсягами сировинних та енергетичних ресурсів, а також утворенням великих обсягів забруднюючих речовин у повітрі, воді і ґрунті [5]

#### Забруднення водних ресурсів

Однією з головних екологічних проблем картонно-паперових підприємств є утворення та скидання забруднених стічних вод. Підприємства галузі генерують великі обсяги стоків, що містять високі концентрації органічних речовин, завислих частинок, азоту, фосфору, важких металів, сульфатів та інших домішок, які змінюють якісні характеристики води та можуть призводити до евтрофікації водних екосистем [9]

Стоки картонно-паперових підприємств зазвичай характеризуються підвищеним біохімічним та хімічним споживанням кисню (БПК/ХПК), що створює умови кисневого дефіциту у водоймах і негативно впливає на водні екосистеми та життя водних організмів [9]

#### Забруднення атмосферного повітря

Діяльність картонно-паперових підприємств супроводжується викидами в атмосферу різних забруднювачів, зокрема пилу, оксидів сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ), летких органічних сполук (ЛОС) та інших газоподібних продуктів згоряння. Такі викиди можуть спричинити погіршення якості атмосферного повітря як у межах промислових зон, так і в прилеглих населених пунктах, що потенційно впливає на здоров'я населення [10]

Крім того, недостатньо ефективні або застарілі технології спалювання відходів та теплоутворюючі процеси можуть призводити до

підвищеного викиду частинок, діоксинів та інших токсичних компонентів, що має додаткові негативні наслідки екологічного характеру [10]

#### Тверді відходи та шлами очисних споруд

Картонно-паперова промисловість утворює значні обсяги твердих відходів, включно з шламами від очисних споруд, відходами паперу, відходами пульпи та іншими неспрямованими матеріалами. Ці відходи мають складну структуру і часто містять органічні домішки та хімічні сполуки, що ускладнює їх безпечну утилізацію чи переробку. Забезпечення належного поводження з такими відходами є важливою екологічною та технологічною проблемою, оскільки їх неправильне зберігання або захоронення може призвести до забруднення ґрунтів і підземних вод [8]

#### Енергетичний вплив та зміна клімату

Попри те, що картонно-паперова галузь частково використовує біомасу у технологічних процесах, загальне енергетичне споживання залишається високим, що сприяє утворенню великих обсягів парникових газів (ПГ) унаслідок згоряння викопних та промислових палив. Це створює додаткові виклики у контексті боротьби з глобальним потеплінням і вимагає впровадження ефективних стратегій декарбонізації та енергозбереження [10]

#### Інтегровані екологічні проблеми

Проблеми картонно-паперової промисловості мають комплексний характер, що включає взаємопов'язані впливи на різні компоненти довкілля: вода, повітря, ґрунти та біоти. Забруднення водних об'єктів може призводити до вторинних ефектів на ґрунти та біологічні системи, а викиди у повітря можуть впливати на кислотність опадів та екосистемні процеси в прилеглих районах [10]

Рішення таких комплексних проблем вимагають інтегрованого підходу до управління природокористуванням, впровадження сучасних технологій очищення стічних вод і викидів, а також системи моніторингу та контролю,

що забезпечують сталий розвиток підприємств галузі та збереження екологічної якості навколишнього середовища.

### **1.3. Джерела забруднення навколишнього середовища при виробництві картону та паперу**

Виробнича діяльність підприємств целюлозно-паперової промисловості (ЦПП) характеризується комплексним впливом на довкілля, що охоплює всі компоненти біосфери: атмосферне повітря, гідросферу та літосферу. Масштаби та специфіка забруднення залежать від застосовуваної технології (сульфатний або сульфітний спосіб варіння, використання макулатури, наявність відбілювання) та ефективності природоохоронного обладнання [11, 14].

Джерела та склад викидів в атмосферне повітря

Атмосферні викиди картонно-паперових підприємств формуються як в основних технологічних процесах, так і в допоміжних енергетичних установках. Згідно з даними галузевих досліджень, основними стаціонарними джерелами забруднення є содорегенераційні котлоагрегати (СРК), вапняні печі, установки для спалювання кори та деревних відходів, а також цехи варіння та відбілювання целюлози [11].

Спектр забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу, можна класифікувати за походженням:

1. Продукти згоряння палива: До цієї групи належать оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ), діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксид вуглецю ( $\text{CO}$ ) та тверді частки (пил, зола). Ці викиди є характерними для енергетичних котлів та ТЕЦ, що забезпечують підприємство паром та електроенергією [11].

2. Специфічні технологічні викиди: При використанні сульфатного способу виробництва (крафт-процес) утворюються відновлені сполуки сірки (TRS — Total Reduced Sulfur), зокрема сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ), метилмеркаптан ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ), диметилсульфід та диметилдисульфід. Дані сполуки характеризуються низьким порогом нюхового сприйняття, що зумовлює наявність стійкого специфічного запаху навіть на значній відстані від джерела викиду [11].

3. Леткі органічні сполуки (ЛОС): Виділяються на етапах випарювання чорного лугу, у цехах сушіння паперу та при очищенні стічних вод. До їх складу можуть входити метанол, терпени, ацетон та хлорорганічні сполуки (при використанні хлорного відбілювання) [11].

Окремо слід виділити проблему викидів парникових газів (CO<sub>2</sub>), оскільки процес кальцинації у вапняних печах та спалювання викопного палива роблять галузь значним емітентом діоксиду вуглецю [16].

Характеристика стічних вод та вплив на водні об'єкти

Картонно-паперове виробництво належить до категорії водоемних галузей промисловості. Питомі витрати води можуть варіюватися в широкому діапазоні (від 5 до 100 м<sup>3</sup>/т продукції) залежно від ступеня замкненості водооборотних циклів. Стічні води підприємств галузі є складними полікомпонентними системами, що містять розчинені органічні сполуки, колоїдні системи та грубодисперсні домішки [12].

Основними джерелами утворення стічних вод є:

- Цехи підготовки маси та варіння: Стічні води цього етапу (чорний луг, конденсати випарних станцій) характеризуються екстремально високими показниками хімічного (ХПК) та біологічного (БПК) споживання кисню, наявністю лігніну, смоляних кислот та токсичних речовин.
- Відбілювання целюлози: Традиційні схеми відбілювання із застосуванням елементарного хлору призводять до утворення адсорбованих галогенорганічних сполук (АОХ), включаючи діоксини та фурани, які є стійкими органічними забруднювачами з високою здатністю до біоаккумуляції.
- Папероробні машини (ПРМ): Води, що відводяться від сіткової частини ПРМ (так звані «білі води»), містять значну кількість дрібного волокна, каоліну, крохмалю, клею та барвників. Вони формують основне навантаження на очисні споруди за показником завислих речовин.

Скидання недостатньо очищених стічних вод у природні водойми призводить до зміни кольоровості води, появи піни, зниження вмісту розчиненого кисню та порушення процесів фотосинтезу, що в сукупності спричиняє евтрофікацію та деградацію водних екосистем.

Утворення твердих відходів та шламів.

Функціонування картонно-паперових підприємств супроводжується утворенням значних обсягів твердих відходів, питома вага яких може сягати 100 кг на 1 тонну продукції [14].

Класифікація основних потоків відходів включає:

1. Відходи переробки макулатури (Rejects): Включають скоби, пластик, пісок, скло та інші сторонні домішки, що відокремлюються на стадіях розпуску та сортування вторинної сировини (макулатури).

2. Шлами очисних споруд: Найбільш масовий вид відходів, що поділяється на первинний шлам (волокно, наповнювачі) та вторинний надлишковий активний мул (біомаса мікроорганізмів). Дані відходи характеризуються високою вологістю та складною колоїдною структурою, що ускладнює їх зневоднення та утилізацію.

3. Енергетичні відходи: Зола та шлаки від спалювання кори, деревних відходів та вугілля. Хімічний склад золи (оксиди Si, Ca, Al) дозволяє розглядати її як потенційну сировину для будівельної галузі, проте наявність важких металів може обмежувати таке використання.

4. Відходи регенерації хімікатів: Шлам зеленого луку (dregs), пічний пісок (grits) та недопал вапна, що утворюються в циклі каустизації.

Накопичення зазначених відходів на полігонах та шламонакопичувачах створює ризики забруднення ґрунтових вод фільтратом та відчуження значних площ земельних ресурсів.

Забруднення водних об'єктів

Целюлозно-паперова промисловість є одним із найбільших промислових споживачів води. Питоме водоспоживання варіюється від 5 до 100 м<sup>3</sup> на тонну готової продукції залежно від типу сировини та замкнутості

циклів. Стічні води галузі характеризуються високим вмістом органічних речовин (ХПК та БПК), завислих речовин, а також наявністю специфічних токсикантів [15].

Основні потоки стічних вод формуються на наступних етапах:

1. Відбілювання целюлози: Це джерело найбільш забруднених стоків. При використанні хлорвмісних реагентів утворюються адсорбовані органічні галогени (АОХ), діоксини, фурани та хлорфеноли. Ці речовини є стійкими, токсичними та здатними до біоаккумуляції. Навіть сучасні методи відбілювання без елементарного хлору (ECF) генерують стоки зі складним хімічним складом [8,15].

2. Варка та регенерація (конденсати): Конденсати від випарних станцій чорного лугу містять високі концентрації летких органічних сполук (зокрема метанолу) та сірчаних сполук. Ці потоки мають високий рівень ХПК (до 3–4 г/л) і часто потребують окремої попередньої обробки [15].

3. Виробництво паперу: Стічні води папероробних машин (так звані "білі води") насичені дрібним волокном, наповнювачами (каолін, карбонат кальцію), залишками клею та крохмалю. Вони формують основне навантаження за завислими речовинами (TSS) [13, 15].

Без належної очистки скидання таких вод призводить до евтрофікації водойм, зниження вмісту розчиненого кисню та токсичного впливу на гідробіонтів [8].

Утворення твердих відходів

Згідно з оглядом Vilarinho et al. (2022), виробництво целюлози за крафт-методом генерує близько 100 кг твердих відходів на кожен тону виробленої целюлози. рис Основні категорії відходів включають:

- Зола та шлаки: Утворюються в енергетичних котлах при спалюванні кори, деревних відходів та шлаків (летюча зола та донна зола). Хімічний склад золи включає оксиди кремнію, кальцію, алюмінію, а також може містити важкі метали, що ускладнює їх утилізацію [13].

- Відходи циклу каустизації: До них належать осад зеленого луку (dregs), що складається з карбонатів та нерозчинних домішок, пічний пісок (grits) та надлишковий вапняний шлам (lime mud), який не вдалося регенерувати у вапняній печі [13].

Шлами очисних споруд: (Рис 1.3)

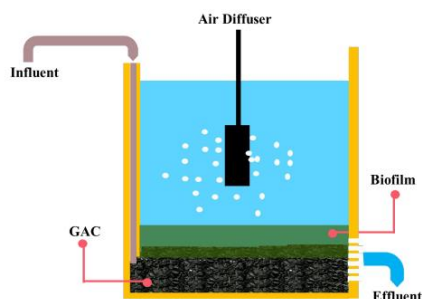


Figure S2 Granular activated carbon (GAC) system configuration for treating contaminated wastewater



Figure 3. Photograph of the pilot cloth filtration plant installed in the studied wastewater treatment plant.

### Рис. 1.3. Приклад очисних споруд

1. *Первинний шлам*: Утворюється на етапі механічної очистки та складається переважно з втрачених волокон целюлози та неорганічних наповнювачів.

2. *Вторинний (біологічний) шлам*: Це надлишковий активний мул після біологічної очистки. Він характеризується високим вмістом вологи, складною колоїдною структурою та низькою здатністю до зневоднення [15].

- Відходи переробки макулатури (Rejects): При використанні вторинної сировини утворюються специфічні відходи, що містять скоби, пластик, клей, пісок та шлам від деінкінгу (видалення чорнил) [8,14].

Комплексний підхід до управління цими потоками є критично важливим для зменшення екологічного сліду підприємств галузі.

#### **1.4. Сучасні технології захисту атмосферного повітря на підприємствах галузі**

Стратегія захисту атмосферного повітря на сучасних підприємствах картонно-паперової промисловості базується на впровадженні Найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ), регламентованих відповідними довідковими документами ЄС (BREF) та національним законодавством. Комплекс природоохоронних заходів поділяється на первинні методи (модифікація технологічного процесу для запобігання утворенню забруднювачів) та вторинні методи (очищення відхідних газів "на кінці труби") [17, 20].

##### **1.4.1. Технології вловлювання твердих частинок**

Основними джерелами емісії пилу та золи є содорегенераційні котли (СРК), вапняні печі та енергетичні установки, що працюють на біомасі (корі, деревних відходах). Для очищення димових газів від твердих частинок застосовуються наступні технології: [19, 20].

- Електростатичні фільтри (Електрофільтри): Є найбільш поширеним рішенням для очищення газів СРК. Принцип дії базується на іонізації газового потоку та осадженні заряджених частинок пилу на

електродах. Сучасні електрофільтри забезпечують ефективність вловлювання понад 99,5%, знижуючи концентрацію пилю на виході до 10–20 мг/м<sup>3</sup>[18].

- Рукавні фільтри: Застосовуються переважно для очищення газів від вапняних печей та допоміжних котлів. Завдяки використанню сучасних фільтрувальних тканин (наприклад, політетрафторетилену), вони забезпечують стабільну ефективність незалежно від електричного опору пилю, що є перевагою над електрофільтрами при вловлюванні дрібнодисперсних фракцій (PM<sub>2.5</sub>) [19].

- Мокрі скрубери (Вентурі): Використовуються як фінішна ступінь очищення, часто у комбінації з теплоутилізаторами. Окрім вловлювання пилю, вони дозволяють абсорбувати частину кислотних газів (SO<sub>2</sub>, HCl) [19].

#### **1.4.2. Методи очищення від сірковмісних сполук та газів з неприємним запахом.**

Специфічною проблемою галузі є емісія відновлених сполук сірки (TRS) та діоксиду сірки. Сучасна інженерна практика передбачає розділення газових потоків на концентровані (LVHC — низький об'єм, висока концентрація) та розбавлені (HVLC — високий об'єм, низька концентрація). [21,25].

- Термічне окиснення (спалювання): Гази, що містять концентровані дурнопахнучі сполуки (сірководень, метилмеркаптан), збираються герметичними системами трубопроводів і направляються на спалювання у вапняні печі або спеціалізовані термічні окиснювачі. При температурі понад 850 °C органічні сполуки сірки окислюються до SO<sub>2</sub>, який далі вловлюється у скруберах [21,24].

- Абсорбційне очищення (Скрубери): Для видалення діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>) застосовують мокрі скрубери з використанням лужних розчинів

(NaOH або вапняного молока). Ця технологія дозволяє повернути частину сірки у виробничий цикл, реалізуючи принцип рециркуляції ресурсів [21, 25].

### **1.4.3. Зниження викидів оксидів азоту (NO<sub>x</sub>)**

Оксиди азоту утворюються під час високотемпературних процесів спалювання. Для їх мінімізації застосовують комбінацію методів:

- Первинні заходи (Low-NO<sub>x</sub> пальники): Оптимізація процесу горіння шляхом ступінчастої подачі повітря та палива, що дозволяє знизити температуру в ядрі факела і зменшити утворення термічних NO<sub>x</sub> на 30–50%.
- Селективне некаталітичне відновлення (SNCR): Впорскування розчину аміаку або карбаміду безпосередньо в топкову камеру котла (температурне вікно 850–1100 °C). Це дозволяє відновити NO<sub>x</sub> до елементарного азоту [26,30,32].
- Селективне каталітичне відновлення (SCR): Використання каталізаторів (на основі оксидів титану або ванадію) для відновлення оксидів азоту при нижчих температурах. Метод забезпечує найвищу ефективність (до 90%), проте вимагає значних капіталовкладень [26,30,32].

### **1.4.4. Біотехнологічні методи очищення**

Для очищення низькоконцентрованих викидів від очисних споруд та цехів переробки макулатури дедалі частіше впроваджуються біофільтри. Проходячи через шар органічного завантаження (торф, кора, компост), забруднюючі речовини (ЛОС, меркаптани) сорбуються та окислюються мікроорганізмами до води та вуглекислого газу. Перевагами методу є низькі експлуатаційні витрати та відсутність вторинних забруднень [23].

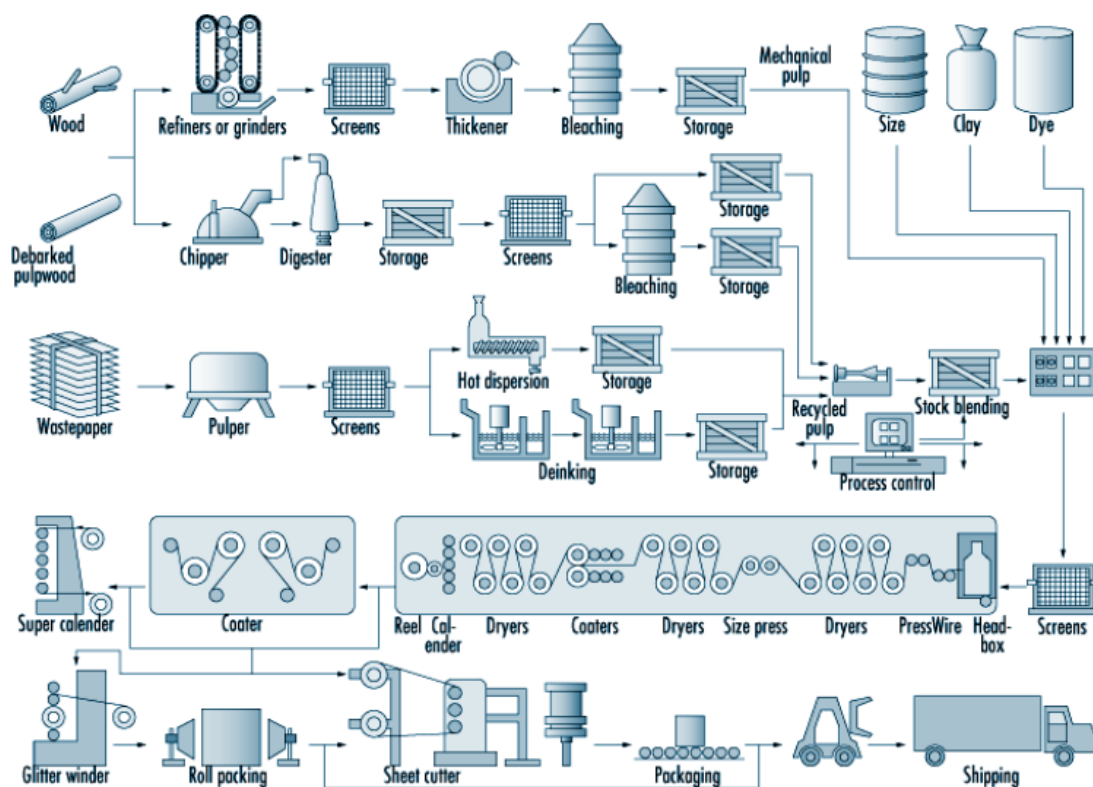
Впровадження зазначених технологій дозволяє сучасним підприємствам досягати нормативів викидів, встановлених Директивою

2010/75/ЄС про промислові викиди, та суттєво зменшувати зону негативного впливу на атмосферне повітря. [32,40].

### 1.5. Методи очищення стічних вод картонно-паперових підприємств.

Очищення стічних вод підприємств картонно-паперової промисловості є складним багатостадійним процесом, що зумовлено високою різноманітністю забруднюючих речовин: від великодисперсних завислих часток (волокно, кора) до розчинених органічних сполук (лігнін, вуглеводи) та токсичних речовин. Сучасні схеми очищення, як правило, включають механічну, біологічну та фізико-хімічну (третинну) стадії.(рис.1.5)

Illustration of process flow in pulp and paper manufacturing operations



Source: Adapted from Weidenmüller 1984.

Source: (ILO Encyclopaedia

Рис. 1.5.Ілюстрація технологічного процесу у виробництві целюлозно-паперової продукції

### 1.5.1. Механічне очищення

Першим етапом обробки стічних вод є видалення нерозчинних домішок, що дозволяє захистити наступні стадії від засмічення та знизити навантаження за показниками завислих речовин.

- Проціджування та відстоювання: Використовуються решітки та пісковловлювачі для видалення великих включень, а також первинні радіальні відстійники. Ефективність видалення завислих речовин на цьому етапі сягає 60–80%, а органічних забруднень (за БПК) — 25–40%.
- Флотація: Для очищення "білих вод" (стічних вод папероробних машин) широко застосовують напірну флотацію. Цей метод є ефективним для вилучення дрібного волокна, яке має погану здатність до осадження, і дозволяє повернути це волокно у виробничий процес.

### 1.5.2. Біологічне очищення

Це основна стадія видалення розчинених органічних сполук, що базується на життєдіяльності мікроорганізмів.

- Аеробні методи: Найпоширенішою технологією є використання аеротенків з активним мулом. Метод забезпечує високу ефективність зниження БПК (до 90–95%) та розкладання легкоокиснюваної органіки. Проте аеробні процеси є енергоємними через необхідність постійної аерації та утворюють значну кількість надлишкового активного мулу .
- Анаеробні методи: Застосовуються для концентрованих стоків (наприклад, конденсатів варіння). Перевагою анаеробних реакторів (UASB, EGSB) є низьке споживання енергії, менший приріст біомаси та можливість отримання біогазу (метану) як відновлюваного джерела енергії. Часто анаеробна стадія передує аеробній для досягнення максимальної ефективності.

### 1.5.3. Фізико-хімічні та третинні методи (Tertiary Treatment)

З огляду на посилення екологічних нормативів, традиційної біологічної очистки часто недостатньо для видалення стійких органічних забруднювачів (COD), кольоровості та специфічних токсикантів.

- Коагуляція та флокуляція: Додавання солей алюмінію або заліза дозволяє осадити колоїдні частки та високомолекулярні сполуки лігніну, що знижує каламутність і кольоровість води [27].
- Удосконалені окиснювальні процеси (AOPs): Використання озону (O<sub>3</sub>), перекису водню (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) або процесу Фентона дозволяє зруйнувати стійкі до біодеградації сполуки, зокрема хлорорганіку та феноли [27].
- Мембранні технології: Ультрафільтрація та зворотний осмос дозволяють досягти якості води, придатної для повторного використання у технологічному циклі (замкнені системи водопостачання), проте їх широке впровадження обмежується високою вартістю та проблемою забруднення мембран [27].

Комплексне поєднання зазначених методів дозволяє мінімізувати вплив підприємств на водні об'єкти та наближає галузь до концепції "нульового скиду" (ZLD — Zero Liquid Discharge).

### 1.6. Поводження з відходами та вторинна переробка сировини

У сучасному екологічному менеджменті картонно-паперова промисловість розглядається як ключовий елемент циркулярної економіки. Стратегія поводження з відходами на підприємствах галузі реалізується у двох основних напрямках: максимізація використання вторинної волокнистої сировини (макулатури) та ефективна утилізація виробничих відходів (шламів, золи, відсівів), що утворюються в процесі виробництва.

Вторинна переробка паперової сировини

Використання макулатури (Recovered Paper / Paper for Recycling) дозволяє суттєво знизити навантаження на лісові ресурси та зменшити енергоємність виробництва. Європейська паперова індустрія демонструє одні з найвищих показників рециклінгу серед усіх галузей промисловості. За даними моніторингового звіту EPRC (European Paper Recycling Council), у 2023 році рівень переробки паперу в Європі досяг 79,3% [31,30].

Процес переробки вторинної сировини супроводжується утворенням специфічних відходів — так званих «відсівів» (rejects). Це домішки, що відокремлюються на етапах розпуску та сортування макулатури: пластик, скоби, скло, текстиль та пісок. Обсяг таких відходів може сягати 5–15% від маси вхідної сировини залежно від її марки. Традиційним методом їх утилізації було захоронення на полігонах, проте сучасні вимоги (зокрема Директива ЄС про відходи) стимулюють перехід до енергетичної утилізації (waste-to-energy) після попередньої підготовки та сушіння [31,30].

#### Утилізація шламів та осадів очисних споруд

Найбільш масовим видом відходів картонно-паперових підприємств є шлами (скопи), що утворюються на стадіях очищення стічних вод. Вони поділяються на первинні (волокнисті) та вторинні (надлишковий активний мул). Питання їх утилізації є критичним через високу вологість та значні обсяги утворення [42].

Згідно з оглядом Vilarinho et al. (2022), [28], перспективними напрямками валоризації (підвищення цінності) целюлозно-паперових шламів є:

- Енергетична утилізація: Спалювання зневодненого шламу в котлах з киплячим шаром дозволяє отримати теплову енергію та зменшити обсяг відходів на 80–90%. Теплотворна здатність сухого шламу порівнянна з низькосортним вугіллям (12–14 МДж/кг).
- Виробництво будівельних матеріалів: Зола від спалювання шламів та самі шлами можуть використовуватися як добавка при виробництві цементу, керамічної цегли, легких заповнювачів (керамзиту) та

в дорожньому будівництві. Високий вміст оксидів кремнію, кальцію та алюмінію робить їх цінною вторинною сировиною.

- Сільське господарство: Використання шламів як ґрунтопокращувачів (після компостування або анаеробного зброджування) дозволяє повернути органічну речовину та нутрієнти (азот, фосфор) у ґрунт, за умови контролю вмісту важких металів.

Поводження з зоною та неорганічними відходами

При спалюванні біомаси та відходів утворюється летка та донна зола. Завдяки лужним властивостям, така зола може застосовуватися для нейтралізації кислих ґрунтів або для стабілізації інших видів відходів. Окрему категорію становлять відходи циклу каустизації (dregs і grits), які через свій хімічний склад найчастіше підлягають захороненню на спеціалізованих полігонах, хоча ведуться дослідження щодо їх використання у виробництві бетонів [29].

Впровадження комплексних технологій переробки дозволяє підприємствам наблизитися до концепції «нульових відходів на полігон» (Zero Waste to Landfill), що є показником високої екологічної ефективності[29].

## **1.7. Аналіз нормативно-правових вимог у сфері охорони довкілля**

Діяльність підприємств картонно-паперової промисловості в Україні регулюється складною системою нормативно-правових актів, яка перебуває на етапі активної гармонізації із законодавством Європейського Союзу. Правова база формує жорсткі вимоги до екологічних показників виробництва, дозвільної системи та звітності.

Загальнодержавне природоохоронне законодавство

Основою екологічного права є Конституція України (ст. 50), яка гарантує кожному право на безпечне для життя і здоров'я довкілля, та Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Цей закон

визначає принципи екологічної безпеки, серед яких пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість екологічної експертизи (оцінки впливу на довкілля) та платність за спеціальне використання природних ресурсів і забруднення довкілля [26,30,42].

Регулювання у сфері охорони атмосферного повітря та водних ресурсів

Оскільки картонно-паперові комбінати є значними водокористувачами та джерелами емісій, їх діяльність суворо регламентується спеціальними кодексами та законами:

- Водний кодекс України: Встановлює нормативи гранично допустимих скидів (ГДС) забруднюючих речовин у водні об'єкти. Підприємства зобов'язані отримувати дозвіл на спеціальне водокористування та дотримуватися регламентів очищення стічних вод. Особлива увага приділяється категоріям забруднювачів, характерних для галузі (БСК, ХСК, завислі речовини, сульфати) [39].

- Закон України «Про охорону атмосферного повітря»: Зобов'язує суб'єктів господарювання отримувати дозволи на викиди забруднюючих речовин стаціонарними джерелами. Для підприємств целюлозно-паперової промисловості, які часто мають власні ТЕЦ та содорегенераційні котли, критичним є дотримання нормативів викидів пилу, оксидів азоту, сірки та специфічних органічних сполук [38].

Управління відходами

Із набранням чинності новим Законом України «Про управління відходами» (2023 р.) відбулися суттєві зміни у підходах до поводження з промисловими відходами. Закон впроваджує п'ятиступеневу ієрархію поводження з відходами (запобігання утворенню — підготовка до повторного використання — рециклінг — відновлення — видалення). Для картонно-паперових підприємств це означає необхідність пріоритетної переробки скопу (шламів) та золи, а також отримання дозволів на здійснення операцій з оброблення відходів [34,38,39].

Євроінтеграційні процеси та оцінка впливу на довкілля (ОВД)

Ключовим елементом сучасного регулювання є Закон України «Про оцінку впливу на довкілля», який відповідає вимогам Директиви 2011/92/ЄС. Будь-яка реконструкція, модернізація або розширення потужностей паперових фабрик (які відносяться до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки) потребує проходження процедури ОВД з обов'язковим громадським обговоренням [36].

Крім того, в рамках виконання Угоди про асоціацію з ЄС, Україна імплементує положення Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди (Industrial Emissions Directive — IED). Це передбачає перехід до інтегрованих дозволів та впровадження Найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ/ВАТ). Для целюлозно-паперової промисловості відповідні НДТМ викладені у спеціальному довідковому документі (ВАТ Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board), який встановлює діапазони емісійних рівнів, досяжних при використанні сучасних технологій [33].

Таким чином, сучасне нормативно-правове поле вимагає від підприємств галузі не лише дотримання граничних концентрацій на "кінці труби", а й впровадження комплексних технологічних рішень для запобігання забрудненню на всіх етапах виробничого циклу.

#### Висновки до Розділу 1

1. Картонно-паперова промисловість є стратегічно важливою галуззю, яка, однак, створює значне навантаження на довкілля через високе водо- та енергоспоживання, а також утворення специфічних відходів (скопу) та викидів.

2. Основними екологічними проблемами галузі є забруднення водних об'єктів органічними речовинами (високі показники ХСК/БСК) та хлорорганічними сполуками (у разі вибілювання), емісія сполук сірки та парникових газів в атмосферу, а також накопичення шламів.

3. Аналіз сучасних технологій показав, що зниження негативного впливу можливе шляхом впровадження замкнених циклів

водокористування, біологічних методів очищення стічних вод (аеробних та анаеробних), використання макулатури як вторинної сировини та енергетичної утилізації відходів.

4. Нормативно-правова база України, гармонізована з директивами ЄС, вимагає переходу до принципів сталого розвитку та впровадження найкращих доступних технологій (НДТМ), що обґрунтовує актуальність подальших досліджень у магістерській роботі.

## Розділ 2

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Загальна характеристика досліджуваного картонно-паперового підприємства

Об'єктом дослідження у магістерській роботі обрано Приватне акціонерне товариство «Київський картонно-паперовий комбінат» (далі — ПрАТ «ККПК»), яке є одним із найбільших підприємств целюлозно-паперової промисловості в Східній Європі. Підприємство розташоване в промисловій зоні міста Обухів (Київська область), що знаходиться за 45 км від столиці України. Таке розташування зумовлене наближеністю до джерел сировини (макулатури великого мегаполісу), наявністю водних ресурсів (р. Дніпро) та транспортних розв'язок.

ПрАТ «ККПК» спеціалізується на випуску картонно-паперової продукції переважно із вторинної сировини, що визначає його екологічну стратегію як ресурсозберігаючу. Частка підприємства на ринку паперової продукції України становить близько 30%, а загальна виробнича потужність перевищує 240 тис. тонн картону та 70 тис. тонн паперу-основи на рік [29].

Організаційно-виробнича структура комбінату включає три основні заводи:

1. Картонне виробництво: Спеціалізується на випуску крейдованого та некрейдованого картону (коробкового картону) з макулатури та целюлози. Технологічний процес включає підготовку маси, формування полотна на картоноробній машині (КРМ), сушіння, крейдування та розрізання.

2. Паперове виробництво (Тіссью): Виготовляє папір-основу санітарно-гігієнічного призначення (туалетний папір, рушники, серветки) з високоякісної макулатури та первинної

целюлози. Виробництво оснащено сучасними папероробними машинами (ПРМ) янкі-типу.

3. Завод гофротари: Здійснює переробку картону власного виробництва у гофрований картон та готову упаковку (ящики, лотки).

Інфраструктура забезпечення та природоохоронні об'єкти: Важливою особливістю об'єкта дослідження є наявність автономної інженерної інфраструктури:

- Водопостачання та водовідведення: Підприємство здійснює забір води з р. Дніпро (Трипільський промисловий вузол). Очищення виробничих та господарсько-побутових стічних вод відбувається на власних каналізаційних очисних спорудах (КОС), які включають стадії механічного, біологічного та фізико-хімічного очищення. Очищені води скидаються у р. Дніпро.

- Енергозабезпечення: Комбінат забезпечується електроенергією та тепловою парою від Трипільської ТЕС, а також частково за рахунок власної когенераційної установки, що працює на природному газі.

- Поводження з відходами: На території підприємства функціонують майданчики для тимчасового зберігання відходів (скопу, золи, полімерних відходів переробки макулатури).

Діяльність ПрАТ «ККПК» пов'язана зі значним техногенним навантаженням на довкілля регіону, що проявляється у викидах забруднюючих речовин в атмосферне повітря (оксиди азоту, вуглецю), скидах стічних вод та утворенні великотоннажних відходів, що робить його репрезентативним об'єктом для розробки природоохоронних заходів.

## **2.2. Технологічна схема виробництва картону та паперу**

Технологічний процес виробництва картону на ПрАТ «ККПК» базується на використанні вторинної сировини (макулатури) і складається з двох основних етапів: підготовки паперової маси (розпуск та очищення) та

безпосередньо формування картонного полотна на картоноробній машині (КРМ). Схема виробництва є безперервною, високоомеханізованою та характеризується значним водоспоживанням.

### **2.1.1 Підготовка маси (Маспідготовка).**

Метою цього етапу є перетворення стосованої макулатури на волокнисту суспензію з заданими властивостями, очищену від сторонніх домішок.

1. Розпуск макулатури: Макулатура марок МС-5Б, МС-6Б (відходи гофрокартону) завантажується конвеєром у гідророзбивачі (гідропулпери) безперервної дії. Під дією ротора та води відбувається розмивання макулатури до концентрації 3–4%. На цій стадії видаляються найбільші важкі домішки (каміння, метал) через джгутоуловлювачі та грейфери.

2. Грубе очищення та доразволокнення: Суспензія проходить через турбосепаратори, де відбувається відділення важких домішок та легких включень (плівок, пінопласту), які не розпустилися. Відходи з цього етапу (скотч, поліетилен) направляються на вузол зневоднення та подальшу утилізацію.

3. Вихрове очищення (Рідкі циклони): Очищення маси від дрібних важких домішок (піску, скріпок, скла) відбувається у відцентрових очисниках (гідроциклонах) за рахунок різниці густини волокна та домішок.

4. Сортування та фракціонування: На напірних сортувалках маса розділяється на довговолокнисту (посилює міцність каркасу картону) та коротковолокнисту фракції. Таке розділення дозволяє оптимізувати структуру багатошарового картону.

5. Термодисперсійна обробка: Для усунення вкраплень бітуму, парафіну, клею та друкарської фарби маса нагрівається парою до 90–100 °С та піддається інтенсивному механічному

впливу в диспергаторах. Це дозволяє «розтерти» забруднення до невидимих розмірів, покращуючи зовнішній вигляд картону.

### **2.2.2. Виготовлення картону на картоноробній машині (КРМ)**

Підготовлена маса подається на КРМ, де відбувається формування полотна. Сучасні машини (наприклад, фірми Voith), встановлені на підприємстві, мають багат шарову структуру формування.

1. Сілкова частина (Формування): Волокниста суспензія (концентрація 0,5–1,0%) подається через напірні ящики на рухому нескінченну сітку. Тут відбувається інтенсивне зневоднення маси під дією гравітації та вакуумних відсмоктувачів. Формується мокре полотно з окремих шарів (верхній, нижній, середній). Вода, що стікає крізь сітку (підсіткова або «біла» вода), збирається і повертається у цикл для розбавлення маси, що забезпечує замкнутість водооборотного циклу.

2. Пресова частина: Полотно проходить через систему пресових валів, де механічним шляхом видаляється волога до досягнення сухості 40–50%. Це найбільш енергоефективний спосіб видалення води.

3. Сушильна частина: Картон контактує з поверхнею сушильних циліндрів, що обігріваються паром. На цьому етапі випаровується залишкова волога до кінцевої вологості 6–8%. Цей процес є найбільш енергоємним і супроводжується утворенням пароповітряної суміші (випарів), що викидається в атмосферу.

4. Клеїльний прес та крейдування: Для надання картону вологостійкості та друкарських властивостей на його поверхню наноситься розчин крохмалю або крейдувальна паста (суміш пігментів та сполучних речовин).

5. Накат і різка: Готове полотно намотується в тамбурні рулони, після чого на поздовжньо-різальному верстаті розрізається на формати необхідного розміру, пакується та відправляється на склад або на завод гофротари.

Основними джерелами впливу на довкілля в цій технологічній схемі є стічні води від промивання обладнання та надлишок обігової води (містять завислі речовини, розчинену органіку), а також викиди пари від сушильної частини.

### **2.3. Сировинна база та допоміжні матеріали**

Специфіка виробничої діяльності ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат» визначається орієнтацією на використання вторинних матеріальних ресурсів. Це дозволяє класифікувати підприємство як об'єкт «зеленої економіки», що сприяє збереженню лісових ресурсів, проте висуває підвищені вимоги до систем очищення від забруднень, привнесених із макулатурою.

#### **2.3.1. Основна волокниста сировина**

Базовим компонентом для виробництва картонної продукції та значної частини санітарно-гігієнічних виробів є макулатура (папір та картон, що були у вжитку). Річний обсяг переробки макулатури на комбінаті перевищує 300 тис. тонн.

Згідно з ДСТУ 3500:2009 «Макулатура паперова та картонна», підприємство використовує переважно такі марки:

- Група «Б» (Середня якість): Марка МС-5Б (відходи виробництва та споживання гофрованого картону) та МС-6Б (картон з друком). Це основна сировина для виробництва тарного картону та гофротари.
- Група «В» (Низька якість): Марка МС-13В (відходи картону, кольорового паперу), що використовується для формування внутрішніх шарів картону.

- Група «А» (Висока якість): Марка МС-1А, МС-2А (відходи білого паперу) застосовується обмежено, переважно при виробництві високоякісних марок паперу-основи (тісью).

Для виробництва верхніх шарів високоякісного картону (топ-лайнер) та целюлозного паперу використовується товарна белена целюлоза (хвойна та листяна), яка імпортується, оскільки власне целюлозне варіння на підприємстві відсутнє.

### **2.3.2. Допоміжні матеріали та хімічні реагенти**

Для забезпечення технологічного процесу та надання готовій продукції необхідних споживчих властивостей (вологостійкості, міцності, гладкості) використовується широкий спектр хімічних речовин:

1. Проклеювальні речовини: Для гідрофобізації картону (запобігання розмоканню) застосовуються каніфольні клеї або синтетичні проклейки (АКД – алкілкетендимерні, АСА).

2. Зміцнювачі: Нативний (кукурудзяний, картопляний) та катіонний крохмаль. Він додається у паперову масу або наноситься на поверхню (у клеїльному пресі) для підвищення механічної міцності та жорсткості картону.

3. Наповнювачі та пігменти: Каолін (біла глина) та карбонат кальцію (крейда) використовуються для заповнення міжволоконного простору, підвищення білизни та покращення друкарських властивостей поверхні (крейдування).

4. Барвники та оптичні відбілювачі: Застосовуються для надання продукції товарного вигляду або відповідного відтінку.

5. Технологічні добавки (Process Chemicals):

- *Піногасники*: Необхідні для боротьби з піною, що утворюється через наявність ПАР та органіки у макулатурній масі.

- *Біоциди*: Запобігають розвитку слизу (бактерій та грибків) у замкнених водооборотних циклах, що є критичним для стабільної роботи обладнання.
- *Ретенційні агенти (утримувачі)*: Поліакриламід, що сприяють утриманню дрібного волокна та наповнювача на сітці папероробної машини, зменшуючи їх винос у стічні води.

### **2.3.3. Реагенти для водопідготовки та очищення стоків**

Екологічна безпека підприємства значною мірою залежить від ефективності роботи очисних споруд, де використовуються:

- *Коагулянти*: Сульфат алюмінію або поліоксихлорид алюмінію для дестабілізації колоїдних систем.
- *Флокулянти*: Високомолекулярні полімери для укрупнення пластівців шламу.
- *Поживні речовини (біогени)*: Сполуки азоту (сечовина) та фосфору, що додаються в аеротенки для підтримки життєдіяльності активного мулу при біологічному очищенні.

### **2.3.4. Енергетичні ресурси та вода**

Виробництво є енергоємним. Основним паливом для когенераційної установки та технологічних потреб (сушіння) є природний газ. Електроенергія постачається із зовнішніх мереж та генерується власною газопоршневою станцією. Джерелом водопостачання для технологічних потреб є річка Дніпро (через водозабір Трипільської ТЕС). Висока водоемність виробництва вимагає постійного контролю якості води та оптимізації питомих витрат.

## **2.4. Характеристика основних екологічно небезпечних процесів**

Виробнича діяльність ПрАТ «ККПК» належить до екологічно небезпечних видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку. Техногенний вплив підприємства має комплексний характер і охоплює викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, скиди стічних вод у водні об'єкти, утворення промислових відходів, а також фізичні фактори впливу (шум, вібрація, теплове забруднення).

Аналіз технологічного регламенту та матеріалів оцінки впливу на довкілля (ОВД) дозволяє виділити основні джерела екологічної небезпеки за компонентами довкілля.

### **2.4.1. Джерела забруднення атмосферного повітря**

На підприємстві функціонує понад 50 джерел викидів, які можна поділити на дві групи: енергетичні та технологічні.

1. Енергетичні установки (Теплоелектроцентрально): Найбільший внесок у валові викиди вносить спалювання природного газу в газотурбінних установках та парових котлах для отримання електроенергії та пари. Основними забруднювачами є:

- Оксиди азоту (NO<sub>x</sub>): Утворюються при високотемпературному горінні. Є основними токсичними компонентами викидів підприємства.
- Оксид вуглецю (CO): Продукт неповного згоряння палива.
- Парникові гази (CO<sub>2</sub>): Утворюються в значних обсягах, що вимагає моніторингу в рамках стратегії декарбонізації.

2. Технологічні викиди:

- Сушильна частина КРМ та ПРМ: Процес сушіння картону та паперу супроводжується викидом в атмосферу великих обсягів вологого повітря (пароповітряної суміші). Разом із вологою у повітря потрапляють аерозолі, дрібнодисперсний паперовий пил та леткі органічні сполуки (ЛОС), що виділяються з хімічних добавок (формальдегід, пари кислот) при нагріванні.
- Вузол розпуску макулатури: Джерело виділення пилу та специфічних запахів, пов'язаних із розкладанням органічних залишків у брудній макулатурі.
- Системи пневмотранспорту та різання: Джерела утворення паперового пилу, який є вибухонебезпечним та шкідливим для органів дихання.

#### **2.4.2. Джерела утворення стічних вод**

Картонно-паперове виробництво характеризується утворенням значних обсягів виробничих стічних вод. Основні потоки формуються на наступних ділянках:

- Ділянка підготовки маси: Води від промивання та очищення макулатурної маси. Вони є найбільш забрудненими, містять високі концентрації завислих речовин, розчиненої органіки (крохмаль, лігнін, клей), що зумовлює високі показники ХСК (хімічного споживання кисню) та БСК (біологічного споживання кисню).
- Картоноробна машина (КРМ): Надлишкові обігові води («білі води»), що містять дрібне волокно та наповнювачі.
- Цех водопідготовки: Промивні води фільтрів, що містять залишки коагулянтів.

Потенційно небезпечним процесом є також можливий аварійний витік хімічних реагентів (кислот, лугів, паливо-мастильних

матеріалів) зі складських приміщень, що може призвести до забруднення ґрунтів та підземних вод.

### **2.4.3. Утворення відходів**

Специфікою підприємства, що працює на вторинній сировині, є утворення значної кількості відходів переробки макулатури, які становлять основну проблему поводження з відходами:

- Скоп (Rejects): Відходи, що утворюються на стадіях грубого та тонкого сортування макулатури. Склад скопу є гетерогенним: поліетиленова плівка, пластик, скоби, скло, пісок, мокре волокно. Цей вид відходів важко піддається переробці через забрудненість та вологість.
- Шлам очисних споруд: Суміш волокна (первинний відстійник) та надлишкового активного мулу (вторинний відстійник). Шлам має високу вологість і схильність до загнивання з виділенням метану та неприємних запахів.
- Інші відходи: Відпрацьовані мастила, тара з-під хімікатів, металобрухт, відходи упаковки.

### **2.4.4. Фізичні фактори впливу**

- Шум: Робота розмелювального обладнання, компресорів, турбін та вакуумних насосів створює високий рівень шуму, що поширюється за межі виробничих приміщень.
- Теплове забруднення: Скидання недостатньо охолоджених стічних вод та викиди гарячого повітря можуть локально змінювати мікроклімат.

Таким чином, найбільш екологічно небезпечними процесами є енергогенерація (викиди в атмосферу) та переробка макулатури (утворення

стічних вод та твердих відходів), що визначає пріоритетні напрямки природоохоронних заходів.

## 2.5. Методи екологічних досліджень і розрахунків

Методологічна основа дослідження базується на комплексному підході, що включає аналіз статистичної звітності підприємства, теоретичні методи розрахунку розсіювання забруднюючих речовин, оцінку ефективності природоохоронного обладнання та методи оцінки ризику для здоров'я населення.

Методи аналізу викидів в атмосферне повітря

Для інвентаризації джерел викидів та оцінки їхніх кількісних характеристик використано розрахунково-аналітичні методи. Визначення масових викидів забруднюючих речовин (М, г/с та Мрік, т/рік) базується на використанні питомих показників емісії, що відповідають технологічним регламентам виробництва та рекомендаціям ЕМЕР/ЕЕА Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023.

Розрахунок приземних концентрацій забруднюючих речовин проводиться згідно з Наказом Міндовкілля від 14.03.2024 № 193 (який впроваджує сучасні підходи до розрахунків розсіювання) та, для порівняння з ретроспективними даними, за алгоритмами методики ОНД-86, реалізованими у програмному комплексі «ЕОЛ-2000». Максимальна приземна концентрація ( $C_m$ , мг/м<sup>3</sup>) при викиді нагрітої газоповітряної суміші розраховується за формулою:

$$C_m = \frac{A \times M \times F \times t \times n}{H^2 \times \sqrt[3]{V_1} \times \Delta T}$$

де: А — коефіцієнт температурної стратифікації атмосфери (для України А=160–200); М — маса викиду, г/с; Н — висота джерела викиду, м;  $V_1$  — витрата газоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta T$  — різниця температур викиду та навколишнього середовища, °С.

Отримані значення порівнюються з гігієнічними нормативами — гранично допустимими концентраціями (ГДК) для населених місць.

Методи оцінки ефективності очищення стічних вод

Оцінка ефективності роботи очисних споруд (механічної та біологічної стадій) здійснюється шляхом порівняння концентрацій забруднюючих речовин на вході ( $C_{\text{вх}}$ ) та виході ( $C_{\text{вих}}$ ) зі споруд. Ефективність очищення ( $E$ , %) розраховується за формулою:

$$E = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}}{C_{\text{вх}}} \times 100\%$$

Оцінка впливу скидів на водний об'єкт (р. Дніпро) проводиться методом порівняння фактичних концентрацій у контрольному створі (500 м нижче скиду) з нормативами ГДК для водойм рибогосподарського призначення. Також розраховується кратність розбавлення стічних вод у річці ( $n$ ) з урахуванням гідрологічних параметрів русла.

Методологія оцінки ризику для здоров'я населення

Для визначення ймовірності розвитку негативних ефектів у населення, що проживає в зоні впливу підприємства, використовується методологія, затверджена Наказом МОЗ України № 184 «Про затвердження методичних рекомендацій "Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря"».

Розрахунок неканцерогенного ризику здійснюється через коефіцієнт небезпеки ( $HQ$  — Hazard Quotient):

$$HQ = \frac{C_{\text{сер}}}{RfC}$$

де:  $C_{\text{сер}}$  — середньорічна концентрація речовини в атмосферному повітрі,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $RfC$  — референтна (безпечна) концентрація для хронічного інгаляційного впливу,  $\text{мг}/\text{м}^3$ . Якщо  $HQ > 1$ , існує потенційний ризик для здоров'я.

Сумарний індекс небезпеки (НІ) для суміші речовин, що впливають на одні й ті самі органи-мішені (наприклад, органи дихання: пил, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>), розраховується як сума коефіцієнтів небезпеки:

$$HI = \sum HQ_i$$

Матеріальний баланс відходів

Аналіз системи поводження з відходами базується на методі матеріального балансу, який дозволяє оцінити рівень безвідходності виробництва. Коефіцієнт використання сировини (К<sub>вик</sub>) визначається як:

$$K_{\text{вик}} = \frac{M_{\text{прод}}}{M_{\text{сир}}}$$

де M<sub>прод</sub> — маса готової продукції, M<sub>сир</sub> — маса витраченої сировини. Втрати сировини (у вигляді скопу та шламів) аналізуються за класами небезпеки згідно з класифікатором ДК 005-96 (та новим Національним переліком відходів).

## 2.6. Інформаційна та нормативна база досліджень

Інформаційне забезпечення магістерської роботи базується на систематизації первинних даних підприємства, нормативно-правових актів України, міжнародних стандартів та науково-технічної літератури.

Нормативно-правова база дослідження включає законодавчі акти, що регулюють відносини у сфері екологічної безпеки та природокористування:

1. Конституційні та кодифіковані акти: Конституція України, Водний кодекс, Земельний кодекс, Кодекс цивільного захисту.

2. Закони України: «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про охорону атмосферного повітря», «Про оцінку впливу на довкілля». Особлива увага приділена новому Закону України «Про управління відходами» (2023), який імплементує європейську ієрархію поводження з відходами.

3. Підзаконні акти та методики: Накази Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, санітарні норми і правила (ДСП 201-97), державні будівельні норми (ДБН).

4. Міжнародні регламенти: Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди (IED) та Довідкові документи з найкращих доступних технологій (BREF) для целюлозно-паперової промисловості, що є орієнтиром для модернізації виробництва в умовах євроінтеграції.

Інформаційна база дослідження сформована на основі:

- Статистичної звітності підприємства: форми № 2-ТП (повітря) «Звіт про викиди забруднюючих речовин», № 2-ТП (водгосп) «Звіт про використання води», № 1-відходи (річна).
- Проектно-дозвільної документації: Дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, Дозвіл на спеціальне водокористування, Технологічні регламенти виробництва картону та паперу.
- Матеріалів ОВД: Звіт з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності ПрАТ «Київський КПК», розміщений у Єдиному реєстрі з ОВД.
- Наукових джерел: Монографії, періодичні видання, матеріали конференцій, присвячені проблемам екології ЦПП та технологіям очищення.

Комплексне використання зазначених джерел дозволяє забезпечити достовірність та обґрунтованість результатів дослідження.

## **Висновки до розділу 2**

У другому розділі проведено комплексний аналіз об'єкта досліджень — ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат», та обґрунтовано

методологію виконання роботи. Основні результати зводяться до наступного:

1. **Характеристика об'єкта:** Встановлено, що ПрАТ «ККПК» є потужним виробничим комплексом, який спеціалізується на переробці вторинної сировини (макулатури). Така спеціалізація визначає специфічний профіль впливу на довкілля, що відрізняється від класичних целюлозних заводів відсутністю варіння деревини, але наявністю проблем, пов'язаних із забрудненнями макулатурної маси.

2. **Технологічні аспекти:** Виробничий цикл є водоемним та енергоємним. Основними стадіями, що генерують забруднення, є підготовка маси (утворення стічних вод із високим ХСК/БСК, відходів розпуску), сушіння полотна (викиди пари, аерозолів, тепла) та власна енергогенерація (викиди NO<sub>x</sub>, CO).

3. **Сировинна база:** Використання широкого спектру хімічних допоміжних речовин (біоцидів, крохмалю, коагулянтів, барвників) ускладнює склад стічних вод та вимагає застосування багатоступеневих систем очищення.

4. **Екологічні аспекти:** Ідентифіковано основні екологічно небезпечні процеси: спалювання палива, скидання стічних вод після очисних споруд у р. Дніпро та поводження з великотоннажними відходами (скопом та шламом).

5. **Методологія:** Для подальшого аналізу (у Розділі 4) обрано методи розрахунку розсіювання викидів, оцінки ефективності очищення стічних вод та визначення ризику для здоров'я населення, що базуються на чинних нормативних методиках та рекомендаціях ЄС.

## РОЗДІЛ 3

### КЛІМАТИЧНІ ТА ГЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Фізико-географічна характеристика регіону

Територія розташування об'єкта досліджень — ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат» — адміністративно належить до Обухівського району Київської області. Підприємство знаходиться у промисловій зоні міста Обухів (мікрорайон №1), на відстані близько 45 км на південь від м. Києва та у безпосередній близькості до Трипільського промислового вузла.

Геоморфологічна будова та рельєф у фізико-географічному відношенні район досліджень розташований у межах Придніпровської височини, яка є частиною правобережного лісостепу України. Рельєф місцевості характеризується як ерозійно-денудаційний, сильно розчленований яружно-балковою мережею. Характерною рисою ландшафту є значні перепади висот (абсолютні відмітки коливаються в межах 130–190 м над рівнем моря). Платоподібні ділянки (вододіли) чергуються з глибокими долинами річок та ярами. Така складність рельєфу має суттєве значення для екологічної оцінки, оскільки пересічена місцевість впливає на аеродинамічні умови розсіювання викидів: у низинах та ярах можливе утворення зон застою повітряних мас ("мішків"), де концентрація забруднюючих речовин може перевищувати нормативні значення, особливо за несприятливих метеоумов.

Гідрографічна мережа Регіон належить до басейну річки Дніпро. Поблизу підприємства протікають малі річки Кобринка та Стугна, які впадають у Дніпро (Канівське водосховище). Близькість до Канівського водосховища (відстань близько 3–5 км) визначає гідрологічний режим території та зумовлює високі вимоги до якості очищення стічних вод, що скидаються у водний об'єкт.

Рослинність та ґрунти Зона розташування підприємства відноситься до лісостепової природної зони. Природна рослинність представлена залишками широколистяних лісів (дуб, граб) та луговими степами, проте значна частина території антропогенно змінена (забудована або розорана). Ґрунтовий покрив переважно представлений сірими лісовими ґрунтами та чорноземами опідзоленими, які характеризуються високою родючістю, але є вразливими до техногенного забруднення важкими металами та випадіння кислих опадів.

Таким чином, фізико-географічні умови розташування ПрАТ «ККПК» (складний рельєф, густа річкова мережа, близькість до населених пунктів та рекреаційних зон Дніпра) створюють передумови для інтенсивної міграції забруднюючих речовин у компонентах довкілля, що вимагає впровадження ефективних технологій захисту.

### **3.2. Кліматичні умови та їх вплив на поширення забруднюючих речовин**

Район розташування ПрАТ «ККПК» (м. Обухів) входить до складу Північного агрокліматичного району Київської області. Клімат території характеризується як помірно-континентальний, з м'якою зимою та теплим літом. Кліматичні фактори відіграють визначальну роль у формуванні рівня забруднення атмосферного повітря (асиміляційний потенціал атмосфери) та впливають на процеси біологічного очищення стічних вод.

Температурний режим Середньорічна температура повітря становить +7,6...+8,0 °С. Найхолоднішим місяцем є січень (середня температура -3,5 °С), найтеплішим — липень (+20,5 °С).

- *Вплив:* У холодний період року (опалювальний сезон) зростає навантаження на енергетичний комплекс підприємства, що призводить до збільшення валових викидів продуктів згоряння (NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>). Влітку високі температури сприяють інтенсивному випаровуванню летких речовин

з поверхні аеротенків та відстійників, що може посилювати проблему неприємних запахів.

Вітровий режим та умови розсіювання Ветровий режим визначає інтенсивність перенесення та розсіювання домішок. Для регіону характерне переважання вітрів західного та північно-західного напрямків. Середньорічна швидкість вітру становить 2,5–3,0 м/с.

- *Несприятливі метеорологічні умови (НМУ):* Особливу небезпеку становлять періоди штилю (швидкість вітру 0–1 м/с), коли процеси турбулентного обміну в атмосфері послаблюються. Це призводить до накопичення забруднюючих речовин у приземному шарі безпосередньо в зоні впливу джерел викидів (промисловий майданчик та прилегла житлова забудова м. Обухів). Повторюваність штилів у регіоні становить близько 10–15% на рік.

Атмосферні явища та інверсії Важливим фактором є температурні інверсії (підвищення температури з висотою), які перешкоджають вертикальному перемішуванню повітряних мас. Приземні інверсії, що часто виникають у нічний час та вранці (особливо в умовах пересіченого рельєфу Обухова), створюють "запірний шар", під яким накопичується смог. Часті тумани (повторюваність 40–50 днів на рік) сприяють утворенню вторинних забруднювачів (кислотних аерозолів) при взаємодії вологи з оксидами сірки та азоту.

Опади Середньорічна кількість опадів становить 600–650 мм. Опади виконують функцію вимивання (scavenging) забруднюючих речовин з атмосфери, очищуючи повітря, але водночас призводять до вторинного забруднення ґрунтів та формування забрудненого поверхневого стоку з території проммайданчика.

Коефіцієнт стратифікації атмосфери (А) Для проведення розрахунків розсіювання викидів (Розділ 4) для території Київської області (географічна широта  $\sim 50^\circ$  пн. ш.) приймається коефіцієнт температурної стратифікації

атмосфери  $A=160$ . Це значення характеризує умови вертикального та горизонтального перемішування повітря в даному кліматичному регіоні.

У цілому, кліматичні умови регіону є помірно сприятливими для розсіювання викидів, проте наявність періодів штилю та інверсій вимагає від підприємства впровадження ефективних систем газоочистки та регулювання потужності викидів у періоди НМУ.

### 3.3. Геологічна будова та гідрогеологічні умови

У геоструктурному відношенні територія розташування ПрАТ «ККПК» (м. Обухів) знаходиться в межах північно-східного схилу Українського кристалічного щита, що занурюється в бік Дніпровсько-Донецької западини. Геологічний розріз місцевості характеризується двоповерховою будовою: нижній поверх представлений кристалічним фундаментом архей-протерозойського віку, верхній — потужною товщею осадових порід мезозою та кайнозою.

Літологічна характеристика Безпосередньою основою для споруд комбінату та ґрунтовим середовищем у зоні впливу відходів є четвертинні відклади (Q). На платоподібних ділянках (вододілах) вони представлені лесоподібними суглинками палево-жовтого кольору, які мають властивість просідати при замочуванні. Потужність лесових товщ становить 10–20 м. У долинах річок Кобринка та Дніпро поширені алювіальні відклади — різнозернисті піски, супіски та заторфовані ґрунти.

Під четвертинними відкладами залягають породи палеогену:

- Київська світа (P2kv): Представлена щільними мергелями та "строкатими" глинами ("спондилова глина"). Цей шар відіграє ключову екологічну роль, слугуючи регіональним водоупором, що захищає глибокі водоносні горизонти від забруднення з поверхні.

- Бучацька світа (P2bc): Представлена пісками з прошарками глин та пісковиків.

Гідрогеологічні умови Гідрогеологічна обстановка регіону характеризується наявністю кількох водоносних горизонтів, що мають різне господарське та екологічне значення:

1. Перший від поверхні водоносний горизонт (Грунтові води): Приурочений до четвертинних відкладів. Глибина залягання дзеркала ґрунтових вод варіює від 0,5–3,0 м у заплавах річок (зона можливого підтоплення) до 15–20 м на вододілах. Живлення горизонту відбувається переважно за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. *Екологічна оцінка:* Горизонт є незахищеним від поверхневого забруднення. У разі аварійних витоків стічних вод або порушення гідроізоляції шламонакопичувачів ПрАТ «ККПК», забруднюючі речовини можуть безперешкодно потрапляти у ґрунтові води та мігрувати у річкову мережу (р. Кобринка → р. Стугна → р. Дніпро).

2. Бучацький водоносний горизонт: Залягає на глибинах 50–115 м. Води напірні, проте часто характеризуються підвищеним вмістом заліза, що обмежує їх використання для питних потреб без попереднього очищення.

3. Сенюманський водоносний горизонт (K2cm): Залягає на глибині 100–160 м. Відноситься до захищених горизонтів завдяки потужній покрівлі з крейдових відкладів та київських мергелів. Води високої якості, використовуються для централізованого водопостачання м. Обухів та артезіанських свердловин підприємства (господарсько-питні потреби).

4. Юрський водоносний горизонт (J): Залягає на глибинах понад 200 м, надійно ізольований глинами юри. Є стратегічним резервом питної води.

Висновки щодо захищеності Територія розташування шламонакопичувачів та очисних споруд характеризується як умовно захищена для глибоких горизонтів (завдяки наявності київських глин) і незахищена для першого водоносного горизонту. Це вимагає застосування надійних протифільтраційних екранів (геомембран, глиняних замків) при експлуатації місць видалення відходів.

### 3.4. Характеристика ґрунтів та підземних вод

Стан ґрунтового покриву та підземних вод є ключовим індикатором екологічної безпеки території, оскільки саме ці компоненти довкілля депонують (накопичують) довготривале забруднення від промислових викидів та відходів.

#### Ґрунтовий покрив

Згідно з ґрунтово-географічним районуванням, територія Обухівського району розташована в межах Лісостепової зони. Структура ґрунтового покриву промислового вузла та прилеглих територій є неоднорідною і представлена наступними генетичними типами:

1. Сірі лісові ґрунти: Є домінуючим типом на платоподібних ділянках вододілів. Вони характеризуються чітко вираженою диференціацією профілю та вмістом гумусу в межах 1,5–2,5%.

- *Екологічні властивості:* Ці ґрунти мають кислу або слабокислу реакцію середовища (рНКС1 5,0–5,8). Це робить їх вразливими до випадіння «кислих дощів», спричинених викидами оксидів сірки (SO<sub>2</sub>) та азоту (NO<sub>x</sub>) від енергетичних установок комбінату. Закислення ґрунтів підвищує рухливість важких металів, що збільшує ризик їх міграції у рослини та ґрунтові води.

2. Чорноземи опідзолені та типові: Поширені на вирівняних терасах. Мають потужний гумусовий горизонт (до 80 см) та високий вміст гумусу (3,0–4,5%).

- *Екологічні властивості:* Чорноземи володіють високою ємністю катіонного обміну та буферністю. Це означає, що вони здатні зв'язувати значну кількість забруднюючих речовин, перешкоджаючи їх міграції.

3. Лучні та дернові ґрунти: Сформувалися в заплавах річок Кобринка, Стугна та Дніпро. Характеризуються високим рівнем залягання ґрунтових вод.

- *Ризики:* Через високу водопроникність (піщаний та супіщаний гранулометричний склад) ці ґрунти є шляхом транзиту забруднень від поверхневого стоку та фільтрату з полів фільтрації/шламонакопичувачів у річкову мережу.

Якісний стан підземних вод

Гідрохімічна характеристика підземних вод регіону варіюється залежно від глибини залягання водоносного горизонту.

1. Ґрунтові води (перший від поверхні горизонт): За хімічним складом води переважно гідрокарбонатні кальцієві або магнієво-кальцієві з мінералізацією 0,4–0,8 г/дм<sup>3</sup>.

- *Антропогенний вплив:* У зоні впливу промислового вузла Обухова у ґрунтових водах спостерігається підвищений вміст сполук азоту (нітратів, амонію) та сульфатів. Це є індикатором забруднення фільтратом з місць видалення відходів та можливих витоків із каналізаційних мереж. Високий рівень органічного забруднення (за показником перманганатної окиснюваності) свідчить про вплив стічних вод целюлозно-паперового виробництва.

2. Напірні води (Сеноманський та Юрський горизонти): Використовуються для питного водопостачання. Води характеризуються стабільним хімічним складом, відповідають вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10, проте мають природну підвищену жорсткість та вміст заліза (Feзаг до 1,0–3,0 мг/дм<sup>3</sup>), що потребує станцій знезалізнення. Ці горизонти надійно захищені від прямого впливу діяльності ПрАТ «ККПК» шаром водотривких глин.

Висновок до підрозділу: Незважаючи на високу природну буферність чорноземних ґрунтів, наявність проникних піщаних ґрунтів у заплавах річок

та кисла реакція сірих лісових ґрунтів створюють ризики міграції забруднюючих речовин. Перший водоносний горизонт є найбільш вразливим і потребує постійного моніторингу в системі спостережних свердловин навколо об'єкта.

### 3.5. Оцінка екологічної вразливості території

Інтегральна оцінка екологічної вразливості території базується на аналізі здатності компонентів довкілля протистояти техногенному навантаженню (резистентність) та відновлюватися після нього. Враховуючи фізико-географічні, кліматичні та геологічні особливості розташування ПрАТ «ККПК» (м. Обухів), можна виділити наступні рівні вразливості для окремих складових навколишнього середовища.

#### Вразливість атмосферного повітря (Середня/Висока)

Асиміляційна ємність атмосфери в регіоні є обмеженою. Хоча рівнинно-хвилястий рельєф загалом сприяє переміщенню повітряних мас, наявність глибоких ярів та долин річок (Стугна, Кобринка) створює умови для формування зон застою повітря («мішків»).

- Фактори ризику: Часті приземні інверсії та тумани (до 50 днів на рік) у поєднанні з низькою швидкістю вітру (штилі) перешкоджають розсіюванню викидів. Це призводить до накопичення специфічних забруднюючих речовин (меркаптанів, сірководню) у приземному шарі, що особливо відчутно для мешканців житлових масивів Обухова, розташованих у зоні впливу факела викидів.

#### Вразливість водних ресурсів (Висока)

Гідросфера регіону характеризується найвищим рівнем вразливості.

- Підземні води: Перший від поверхні водоносний горизонт є незахищеним через високу проникність порід зони аерації (піски, супіски) та високий рівень залягання ґрунтових вод (0,5–3,0 м у заплавах). Існує

високий ризик забруднення фільтратом зі шламонакопичувачів та аварійних витоків стічних вод.

- Поверхневі води: Близькість до Канівського водосховища (р. Дніпро) означає, що будь-яке забруднення, яке потрапляє у малі річки регіону, швидко трансформується у транскордонну проблему. Екосистема р. Дніпро в цьому районі вже знаходиться під значним антропогенним тиском (Трипільський промвузол), тому додавання біогенних елементів зі стоків паперового комбінату прискорює процеси евтрофікації («цвітіння» води).

#### Вразливість ґрунтів (Середня)

Ґрунтовий покрив має диференційовану стійкість. Чорноземи мають високу буферну здатність і можуть нейтралізувати кислі опади. Однак сірі лісові ґрунти, поширені на вододілах, мають кислу реакцію середовища і є вразливими до подальшого закислення оксидами сірки та азоту (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>). Це може призвести до деградації біоценозів та зниження родючості земель сільськогосподарського призначення, що оточують промзону.

Соціально-екологічний аспект: Вразливість території посилюється близькістю сельбищної зони (м. Обухів, с. Трипілля). Житлова забудова знаходиться на відстані, що не завжди забезпечує достатнє розведення концентрацій забруднюючих речовин до безпечного рівня, особливо щодо запахового навантаження.

Узагальнення: Територія розташування об'єкта досліджень характеризується як екологічно вразлива, переважно через незахищеність ґрунтових вод та несприятливі умови розсіювання атмосферних домішок у складках рельєфу. Це вимагає застосування на підприємстві технологій очищення вищих за середньогалузеві стандарти.

#### Висновки до розділу 3

1. Фізико-географічні умови: ПрАТ «ККПК» розташоване у складних геоморфологічних умовах Придніпровської височини. Розчленований рельєф та близькість до поверхневих водойм (р. Дніпро, р.

Стугна, р. Кобринка) визначають інтенсивні шляхи міграції забруднюючих речовин.

2. Кліматичний фактор: Метеорологічні умови регіону (помірний клімат, переважання західних вітрів) у цілому сприятливі, проте часті інверсії та тумани знижують розсіювальну здатність атмосфери, сприяючи формуванню локальних зон забруднення та смогу.

3. Геологічне середовище: Геологічна будова характеризується наявністю потужних шарів водонепроникних глин (київська світа), що надійно захищають глибокі артезіанські горизонти. Водночас ґрунтові води залягають неглибоко і не мають природного захисту від поверхневого забруднення.

4. Оцінка вразливості: Комплексний аналіз показав, що найбільш вразливим компонентом довкілля є перший водоносний горизонт та відкриті водойми. Це означає, що при розробці природоохоронних заходів (у Розділі 5) пріоритет повинен надаватися модернізації очисних споруд, гідроізоляції місць видалення відходів та контролю за цілісністю каналізаційних мереж.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗВИТКУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПІДПРИЄМСТВА

Ефективне управління екологічними аспектами діяльності картонно-паперового підприємства в умовах євроінтеграції вимагає переходу від традиційних методів «кінця труби» (очищення викидів та стоків) до комплексної стратегії запобігання забрудненню. Враховуючи значні обсяги утворення відходів переробки макулатури (скопу) та осадів стічних вод, стратегічним пріоритетом стає впровадження технологій рециклінгу та енергетичної утилізації.

Враховуючи міжнародний досвід та вимоги Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди, ПрАТ «ККПК» має можливість інтегрувати передові технологічні рішення, зокрема:

- впровадження Найкращих доступних технологій (НДТМ/ВАТ) для мінімізації відходів;
- створення лінії термічної утилізації скопу для отримання енергії;
- розвиток цифрових інструментів моніторингу викидів та скидів;
- формування замкнених циклів водокористування.

#### **4.1. Впровадження сучасних технологій переробки та утилізації відходів виробництва**

Впровадження ефективної системи поводження з відходами картонно-паперового виробництва вимагає застосування Найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ), які регламентовані відповідними BREF-документами ЄС. Це дозволяє мінімізувати негативний вплив на довкілля та забезпечити високий рівень ресурсозбереження.

У контексті діяльності ПрАТ «ККПК», НДТМ охоплює технологічні та організаційні практики, спрямовані на реалізацію вищих шаблів ієрархії

відходів.

Превентивні практики (Запобігання):

- Оптимізація розпуску макулатури: Використання сучасних гідророзбивачів з м'яким режимом розпуску дозволяє максимально зберегти цілісність волокна та зменшити перехід дрібного волокна у шлам. Це знижує навантаження на очисні споруди та зменшує обсяг утворення осадів.
- Селективний збір: Розділення потоків відходів безпосередньо у цехах (окремий збір поліетиленової плівки, металевого дроту, макулатурного скопу) є критичним для підвищення якості вторинної сировини та ефективності подальшої переробки.

Технологічні аспекти НДТМ: А. Переробка волокнистих відходів. Волокновмісні шлами та відходи сортування (rejects) містять значну частку целюлози. НДТМ передбачає повернення цього волокна у виробничий цикл через системи фракціонування або використання його у виробництві нижчих сортів картону. Б. Енергетична валоризація (Energy Recovery). Для відходів, які неможливо переробити матеріально (забруднений пластик, скоп), НДТМ передбачає термічну утилізацію у котлах з киплячим шаром. Це дозволяє перетворити проблему утилізації відходів на джерело теплової енергії для сушильних циліндрів папероробних машин, заміщуючи природний газ.

Впровадження НДТМ вимагає суворого контролю параметрів процесу згідно зі стандартами ISO 14001, що забезпечує стабільність екологічних показників підприємства.

#### **4.2. Технології сортування та первинної обробки відходів розпуску макулатури**

Технології сортування та первинної обробки відходів (зокрема скопу) становлять ключовий етап у системі їх раціонального управління на підприємстві. Оскільки скоп є складною сумішшю (пластик, текстиль,

метал, волокно, пісок), його пряма утилізація є неефективною.

Первинна обробка та сепарація На цьому етапі здійснюється розділення матеріалів за фізичними властивостями. Для умов ПрАТ «ККПК» доцільним є впровадження автоматизованої лінії підготовки скопу, яка включає:

- Механічне зневоднення: Скоп після гідророзбивачів має вологість до 50–60%. Використання шнекових пресів дозволяє знизити вологість до 30–40%, що критично важливо для подальшого енергетичного використання.

- Магнітна сепарація: Використовується для вилучення металевих включень (скріпки, скоби, дрiт), які потрапляють із макулатурою. Відібраний метал є цінною вторинною сировиною.

- Балістична сепарація та грохочення: Забезпечує розділення потоку на легку фракцію (плівка, папір, текстиль) та важку фракцію (каміння, пісок, скло). Важка фракція направляється на захоронення або використання як інертний наповнювач, тоді як легка фракція є основою для виробництва альтернативного палива (RDF).

Підготовка до енергетичного використання Легка фракція скопу характеризується високою теплотворною здатністю (20–25 МДж/кг), що порівнянно з бурим вугіллям. Технологія первинної обробки завершується подрібненням матеріалу до однорідної фракції (шрединг), що робить його придатним для спалювання у вихрових топках або цементних печах.

Впровадження технологій глибокого сортування та підготовки скопу дозволяє перетворити до 70% обсягу цих відходів на енергетичний ресурс, суттєво зменшити витрати на вивезення відходів на полігони та знизити екологічні ризики, пов'язані з їх накопиченням.

#### **4.3. Технології енергетичної утилізації та рециклінгу шламів**

Технології рециклінгу та енергетичної утилізації шламів (осадів стічних вод) є ключовим елементом переходу підприємства до моделі циркулярної економіки. На ПрАТ «ККПК» утворюються значні обсяги шламів (суміш волокна, каоліну та надлишкового активного мулу), які наразі переважно зневоднюються та вивозяться на захоронення. Такий підхід є економічно витратним та екологічно небезпечним через ризик вторинного забруднення ґрунтових вод.

Світова практика (НДТМ) пропонує два основні стратегічні напрямки поводження зі шламами: матеріальна утилізація (використання як сировини) та енергетична утилізація (отримання тепла та біогазу).

А. Матеріальна утилізація (Material Recovery) Хімічний склад шламів паперового виробництва (високий вміст органіки та мінеральних наповнювачів — каоліну, крейди) дозволяє розглядати їх як цінний ресурс для суміжних галузей промисловості.

- Виробництво будівельних матеріалів: Зневоднений шлам може використовуватися як пороутворююча добавка при виробництві керамічної цегли (вигорання органіки створює пори, покращуючи теплоізоляційні властивості) або як компонент сировинної суміші для цементного клінкеру. Мінеральна частина шламу (зола) заміщує природну глину та вапняк.

- Виробництво технічного картону: Волокновмісний шлам (первинний осад) може бути повернутий у виробництво для виготовлення низькосортних видів продукції (гільзовий картон, кутники), де вимоги до білизни та міцності є нижчими.

Б. Енергетична утилізація (Energy Recovery) Враховуючи високу вологість шламів (70–75% навіть після механічного зневоднення), найбільш ефективним методом є їх термічна обробка з отриманням енергії.

- Спалювання у котлах з киплячим шаром (CFB): Це технологія, рекомендована BREF-документами ЄС. Технологія передбачає спалювання шламу у завислому стані (киплячому шарі інертного матеріалу) при температурах 850–950 °С. Це забезпечує повне вигорання органіки та

мінімізацію шкідливих викидів (діоксинів). Отримане тепло використовується для генерації технологічної пари, що дозволяє замістити до 15–20% природного газу в енергобалансі підприємства.

- Анаеробне зброджування (Biogas Production): Впровадження метантенків для обробки надлишкового активного мулу дозволяє отримувати біогаз (метан), який може використовуватися як паливо для когенераційних установок. Цей метод дозволяє не лише отримати енергію, але й стабілізувати осад, зменшивши його обсяг та знищивши патогенну мікрофлору, що робить кінцевий продукт безпечним для використання як добрива (за умови відсутності важких металів).

В. Агротехнічне використання За умови контролю вмісту важких металів та токсичних сполук, стабілізований шлам може використовуватися для рекультивації порушених земель або як органо-мінеральне добриво (компост) у лісовому господарстві, повертаючи в ґрунт азот та фосфор.

Впровадження комплексу технологій рециклінгу дозволить підприємству реалізувати концепцію «Zero Waste» (нуль відходів на полігон), перетворивши витратну статтю утилізації відходів на джерело додаткових матеріальних та енергетичних ресурсів.

#### **4.4. Повторне використання водних ресурсів та замикання технологічних циклів**

Повторне використання водних ресурсів та створення замкнених технологічних циклів (Closed Loop System) є фундаментальним принципом впровадження «зелених» технологій у картонно-паперовій промисловості. На відміну від традиційної лінійної моделі водокористування («забір – використання – скид»), циркулярний підхід розглядає стічні води не як відхід, а як цінний ресурс, що після відповідної обробки повертається у виробничий процес.

Стратегія каскадного використання води Для ПрАТ «ККПК», як

підприємства з високою водоємністю, пріоритетним є впровадження каскадних схем водопостачання. Принцип каскадності полягає у використанні менш забрудненої води з одних технологічних операцій для потреб інших, де вимоги до якості води є нижчими.

- Рециклінг «білих вод»: Води, що відводяться від сіткової частини картоноробних машин (КРМ), містять значну кількість волокна та тепла. Технологічно доцільним є їх пряме повернення (після локального очищення на дискових фільтрах або флотаторах) на ділянку розпуску макулатури. Це дозволяє замінити свіжу річкову воду оборотною, скоротивши питоме водоспоживання на 30–40%.

- Використання умовно чистих вод: Води від охолодження підшипників, вакуум-насосів та турбін є термічно забрудненими, але хімічно чистими. Їх доцільно використовувати в теплообмінниках для нагріву технологічної води (рекуперація тепла) або для промивання сит та сукон.

Технології глибокого доочищення для технічних потреб Для замикання водяних контурів і повторного використання очищених стічних вод у відповідальних вузлах (наприклад, у сприсках високого тиску) необхідно забезпечити видалення дрібнодисперсних завислих речовин та розчинених солей. Рекомендованим рішенням є впровадження мембранних технологій:

- Ультрафільтрація (UF): Дозволяє ефективно видалити колоїдні частки, бактерії та високомолекулярну органіку, отримуючи технічну воду високої якості.

- Зворотний осмос (RO): Застосування RO на фінішній стадії очищення дозволяє видалити розчинені солі, запобігаючи корозії та солевідкладенням (скейлінгу) у трубопроводах при багаторазовій циркуляції води.

Перехід до концепції «Нульового скиду» (ZLD) Кінцевою метою модернізації водного господарства є наближення до системи з нульовим

скидом рідини (Zero Liquid Discharge – ZLD). Хоча повна реалізація ZLD є енергоємною, часткове замикання циклів дозволяє:

1. Мінімізувати забір свіжої води з р. Дніпро, знижуючи плату за спецводокористування.
2. Зменшити обсяг скиду у водний об'єкт, що знижує гідравлічне навантаження на екосистему та ризики перевищення лімітів ГДС.
3. Зберегти теплову енергію (оборотна вода має температуру 30–40 °С), що зменшує витрати пари на підігрів маси в зимовий період.

Таким чином, технології повторного використання води є критично важливими для забезпечення екологічної стійкості підприємства та підвищення його економічної ефективності за рахунок ресурсозбереження.

#### **4.5. Модернізація інфраструктури поводження з відходами на підприємстві**

Ефективна реалізація стратегії циркулярної економіки неможлива без відповідної матеріально-технічної бази. Існуюча інфраструктура поводження з відходами на багатьох підприємствах галузі є фрагментарною (розкидані місця накопичення) і часто обмежується лише тимчасовим складуванням перед вивезенням на полігон.

Для ПрАТ «ККПК» пропонується створення інтегрованого Центру управління відходами (ЦУВ) безпосередньо на промисловому майданчику. Цей інфраструктурний об'єкт має стати єдиним хабом, куди стікаються всі потоки промислових відходів для сортування, обробки та підготовки до утилізації.

Зонування та технічне оснащення ЦУВ Інфраструктура Центру повинна включати декілька функціональних зон, оснащених сучасним обладнанням відповідно до вимог НДТМ:

1. Зона сортування та пресування вторинних ресурсів: Призначена для обробки відходів упаковки (плівка, картон, пет-стрічка) та металобрухту.

- *Обладнання:* Автоматичні горизонтальні преси для кіпування полімерів та паперу, що дозволяє зменшити об'єм відходів у 5–7 разів, оптимізуючи логістику.
2. Дільниця переробки відходів розпуску (Скопу): Ключова зона для підготовки альтернативного палива.
    - *Обладнання:* Промислові шредери (подрібнювачі) для змішаних відходів, магнітні сепаратори для вилучення металевих дрітків, та аеродинамічні сепаратори для відділення важкої фракції (каміння, пісок).
  3. Зона зневоднення та сушіння шламів:
    - *Обладнання:* Шнекові дегідратори (декантери) або камерні мембранні прес-фільтри для зниження вологості осаду до 30–40%. Перспективним є встановлення сушильних тунелів, що використовують надлишкове низькопотенційне тепло від папероробних машин.
  4. Складські приміщення (Storage Areas): Криті ангари або майданчики з твердим водонепроникним покриттям та системою зливової каналізації (для збору потенційного фільтрату). Це виключає контакт відходів з атмосферними опадами та запобігає забрудненню ґрунту і підземних вод, що є критичним для екологічної безпеки регіону (як зазначено у Розділі 3).

Логістична оптимізація Модернізація інфраструктури також передбачає впровадження системи внутрішньої логістики «Just-in-Time», щоб уникнути переповнення місць накопичення у цехах. Використання контейнерів різного типу (прес-компактори для змішаних відходів, сітчасті контейнери для пластику) та спеціалізованої навантажувальної техніки забезпечує швидке переміщення відходів до ЦУВ.

Екологічний та економічний ефект Створення централізованої інфраструктури дозволить:

- Підвищити частку вилучення корисних компонентів на 15–20%.

- Зменшити транспортні витрати за рахунок ущільнення відходів.
- Забезпечити повну відповідність санітарним нормам зберігання відходів, мінімізуючи ризики штрафних санкцій.

#### **4.6. Впровадження цифрових інструментів управління екологічними аспектами**

Цифрова трансформація (Digitalization) екологічного менеджменту є безальтернативним шляхом розвитку для сучасних промислових підприємств, що прагнуть відповідати принципам сталого розвитку та вимогам європейського законодавства. Для ПрАТ «ККПК» впровадження цифрових інструментів дозволить перейти від реактивного реагування на екологічні інциденти до проактивного управління ризиками на основі даних реального часу.

Автоматизовані системи моніторингу викидів (CEMS) Згідно з вимогами Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди та Постанови КМУ № 835, великі спалювальні установки (до яких належить енергокомплекс комбінату) повинні бути обладнані автоматизованими системами безперервного контролю (Continuous Emission Monitoring Systems — CEMS). Впровадження CEMS на основних джерелах викидів (димові труби котлів, сушильна частина КРМ) дозволить:

- Отримувати безперервний потік даних про концентрації , , та пилу в режимі 24/7.
- Автоматично передавати дані до державної цифрової платформи «ЕкоСистема», забезпечуючи прозорість діяльності перед контролюючими органами та громадськістю.
- Оперативно коригувати режими горіння при наближенні показників до граничних значень, запобігаючи перевищенню нормативів ГДВ.

Цифровий облік відходів та матеріальних потоків За аналогією з

цифровими паспортами матеріалів у будівництві, для управління відходами паперового виробництва (скопом, шламами) пропонується впровадження спеціалізованого модуля в ERP-системі підприємства.

- Електронна паспортизація: Кожна партія відходів, що утворюється на дільницях, отримує цифровий ідентифікатор (QR-код), який містить дані про її склад, клас небезпеки та кількість.

- Трекінг переміщення: Використання IoT-датчиків та GPS-моніторингу на транспортних засобах дозволяє відстежувати рух відходів від місця утворення до ЦУВ (Центру управління відходами) або до кінцевого утилізатора, виключаючи ризики несанкціонованого видалення.

Інтелектуальні системи управління ресурсами (Smart Water & Energy) Для оптимізації водоспоживання та енергоефективності рекомендується використання систем SCADA з елементами штучного інтелекту (AI). Створення «цифрового двійника» (Digital Twin) водної системи підприємства дозволить:

- Моделювати баланс водоспоживання в реальному часі.
- Виявляти приховані витрати та неефективне використання води.
- Автоматично дозувати реагенти (коагулянти, флокулянти) на очисних спорудах залежно від вхідного навантаження, що зменшує витрати хімікатів на 10–15%.

Впровадження зазначених цифрових інструментів забезпечує прозорість екологічних даних, спрощує підготовку нефінансової звітності (ESG-звітності) для міжнародних інвесторів та підвищує загальну ефективність управління підприємством.

#### **4.7. Впровадження принципів циркулярної економіки у стратегію розвитку комбінату**

Формування стратегії розвитку ПрАТ «ККПК» на засадах циркулярної економіки (Circular Economy) є необхідною умовою для збереження

конкурентоспроможності підприємства на європейському ринку та забезпечення екологічної стійкості регіону. Перехід від лінійної моделі «видобуток ресурсів – виробництво – відходи» до замкненої циклічної моделі дозволяє перетворити екологічні виклики на економічні можливості.

Стратегія циркулярної трансформації комбінату має базуватися на трьох ключових стовпах:

1. Індустріальний симбіоз (Industrial Symbiosis) Цей принцип передбачає інтеграцію підприємства з іншими галузями промисловості, де відходи одного виробництва стають сировиною для іншого. Для ПрАТ «ККПК» перспективними напрямками симбіозу є:

- Сектор будівельних матеріалів: Зола від спалювання біомаси та зневоднений шлам (скоп) можуть передаватися на цементні заводи або підприємства з виробництва керамічних блоків як вторинна мінеральна сировина. Це дозволяє реалізувати принцип «zero waste to landfill».

- Сектор енергетики: Постачання підготовленого альтернативного палива (RDF) з відходів розпуску макулатури для потреб цементних печей або міських ТЕЦ.

2. Каскадне використання ресурсів та енергії Максимізація корисної віддачі від кожної одиниці ресурсу.

- Енергетична каскадність: Використання вторинного тепла (випарів від папероробних машин) для опалення виробничих приміщень, підігріву технологічної води або сушіння шламів перед спалюванням.

- Водна каскадність: Багаторазове використання води у замкнених контурах (див. п. 4.4) до повного вичерпання її очисного потенціалу.

3. Еко-дизайн продукції (Design for Recycling) Як найбільший виробник упаковки, комбінат несе відповідальність за життєвий цикл своєї продукції. Впровадження принципів еко-дизайну передбачає:

- Виробництво гофрокартону, що на 100% придатний до повторної переробки.

- Відмову від використання складних композитних матеріалів (ламінування пластиком), які ускладнюють рециклінг, на користь водорозчинних бар'єрних покриттів та біорозкладних клеїв.

Реалізація цієї стратегії дозволить ПрАТ «ККПК» не лише мінімізувати вплив на довкілля, але й інтегруватися у глобальні ланцюги доданої вартості «Зеленого курсу» (Green Deal), залучаючи "зелені" інвестиції для модернізації виробництва.

#### Висновки до розділу 4

У четвертому розділі розроблено комплекс рекомендацій щодо екологічної модернізації ПрАТ «ККПК», спрямованих на зменшення техногенного навантаження на довкілля та впровадження ресурсоефективних технологій. Основні результати зводяться до наступного:

1. Впровадження НДТМ: Обґрунтовано необхідність переходу до Найкращих доступних технологій (BAT), що включає модернізацію вузлів розпуску макулатури для збереження волокна та встановлення високоефективних систем газоочищення на енергетичних котлах, що дозволить зменшити валові викиди в атмосферу.
2. Управління відходами (Скоп): Запропоновано створення на підприємстві сучасного Центру управління відходами з лінією сортування та підготовки скопу до енергетичної утилізації. Це дозволить перетворити до 70% обсягу твердих відходів на альтернативне паливо, заміщуючи природний газ.
3. Утилізація шламів: Рекомендовано відмовитися від практики захоронення шламів на користь їх термічної утилізації (спалювання у киплячому шарі) або матеріального рециклінгу у виробництві будівельних матеріалів, що вирішує проблему відчуження земель під шламонакопичувачі.
4. Водні ресурси: Розроблено стратегію переходу до замкнених циклів водопостачання шляхом впровадження мембранних технологій

(ультрафільтрації) для доочищення стічних вод, що дозволить скоротити забір свіжої води з р. Дніпро.

5. Цифровізація: Обґрунтовано доцільність впровадження автоматизованих систем моніторингу викидів (CEMS) та цифрових паспортів відходів, що забезпечить прозорість екологічного управління та відповідність європейським стандартам звітності.
6. Циркулярна економіка: Визначено стратегічні напрямки розвитку підприємства на засадах індустріального симбіозу та еко-дизайну, що є ключем до сталого розвитку в умовах післявоєнної відбудови України.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Охорона праці на підприємстві базується на аналізі потенційних ризиків, що виникають під час виробничого процесу. Експлуатація та обслуговування систем очищення викидів (рукавних фільтрів, циклонів) та споруд очистки стічних вод на картонно-паперовому комбінаті супроводжується впливом на персонал комплексу негативних факторів.

Відповідно до Гігієнічної класифікації праці (ДСН 3.3.6.042-99) та ГОСТ 12.0.003-74, шкідливі та небезпечні виробничі фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

На досліджуваному об'єкті основними є наступні групи факторів:

#### 1. Фізичні фактори

Це найчисельніша група факторів ризику на підприємстві. До них належать:

- Підвищена запиленість повітря робочої зони: При процесах розпуску макулатури, різанні картону та вивантаженні вловленого пилу з бункерів рукавних фільтрів у повітря потрапляють аерозолі переважно фіброгенної дії (паперовий та целюлозний пил). Тривалий вплив пилу може призвести до професійних захворювань органів дихання (пневмоконіозів, бронхітів). Крім того, паперовий пил є вибухо- та пожежонебезпечним.

- Підвищений рівень шуму та вібрації: Робота тягодуттьових машин (димососів, вентиляторів аспіраційних систем), компресорів, насосів та приводів папероробних машин створює акустичне навантаження. Рівень шуму на робочих місцях може досягати 90–95 дБА, що перевищує допустимий рівень (80 дБА). Загальна вібрація від роботи потужних двигунів негативно впливає на нервову та опорно-рухову системи працівників.

- Рухомі частини виробничого обладнання: Небезпеку становлять незахищені обертові елементи (вали, шестерні, пасові передачі), шнекові механізми вивантаження пилю з фільтрів, а також транспортні стрічки конвеєрів.
- Мікроклімат: У сушильних цехах та приміщеннях водопідготовки спостерігається підвищена температура повітря та відносна вологість (через випаровування води з паперового полотна та відкритих поверхонь резервуарів).
- Небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі: Більшість природоохоронного обладнання (електродвигуни вентиляторів, насоси, щити управління) працює від мережі змінного струму напругою 380/220 В. Замикання на корпус створює загрозу ураження електричним струмом.

## 2. Хімічні фактори

Вплив хімічних речовин можливий при обслуговуванні систем очищення стічних вод та газоочисних установок мокрого типу:

- Контакт із реагентами (коагулянтами, флокулянтами, наприклад, сульфатом алюмінію), що використовуються для осадження завислих речовин.
- Можливий вплив парів кислот або лугів при корекції рН води або промивці обладнання.
- Токсичні речовини, що можуть міститися у викидах (оксиди азоту, сірки, вуглецю), при порушенні герметичності газоходів.

## 3. Психофізіологічні фактори

- Фізичні перевантаження: Виникають при проведенні ремонтних робіт, заміні фільтрувальних рукавів, транспортуванні ємностей з реагентами або видаленні відходів вручну.
- Нервово-емоційне напруження: Пов'язане з необхідністю постійного контролю параметрів технологічного процесу та роботи екологічного обладнання операторами пультів управління (монотонність праці, висока відповідальність).

Висновок до підрозділу: Аналіз умов праці свідчить про необхідність впровадження комплексних заходів захисту, оскільки виявлені фактори (особливо пил, шум та рухомі механізми) можуть створювати загрозу здоров'ю персоналу.

## **5.2. Організаційні та правові заходи**

Забезпечення безпеки праці на підприємстві досягається не лише технічними засобами, а й впровадженням системи організаційних заходів. Ця система регламентує поведінку персоналу, порядок допуску до робіт та контроль за станом здоров'я працівників, що обслуговують природоохоронне обладнання (оператори очисних споруд, апаратники газоочистки).

Відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», усі працівники підприємства під час прийняття на роботу і в процесі трудової діяльності проходять навчання та інструктажі.

Для персоналу, задіяного в обслуговуванні систем аспірації та водоочистки, передбачено наступні види інструктажів:

1. Вступний інструктаж: Проводиться службою охорони праці з усіма новоприйнятими працівниками.

2. Первинний інструктаж: Проводиться безпосередньо на робочому місці до початку виконання робіт. Працівник ознайомлюється з будовою рукавних фільтрів, безпечними методами їх чистки та розташуванням аварійних вимикачів.

3. Повторний інструктаж: Проводиться не рідше 1 разу на 3 місяці (для робіт підвищеної небезпеки) або 1 разу на 6 місяців для інших робіт.

4. Позаплановий інструктаж: Проводиться при зміні технологічного процесу (наприклад, встановлення нових фільтрів), заміні обладнання або після нещасних випадків.

5. Цільовий інструктаж: Проводиться при виконанні разових робіт, не передбачених трудовим договором (наприклад, ліквідація наслідків аварії на очисних спорудах).

#### Медичні огляди

Згідно з Наказом МОЗ України № 246 «Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій», роботодавець зобов'язаний організувати проведення попереднього (під час прийняття на роботу) та періодичних медичних оглядів.

Враховуючи специфіку картонно-паперового виробництва, особлива увага при медоглядах приділяється:

- Працівникам, які піддаються впливу виробничого пилу (ризик пневмоконіозів) — огляд отоларингологом та рентгенографія грудної клітки (періодичність встановлюється комісією, зазвичай 1 раз на рік або два роки).
- Працівникам, які працюють в умовах шуму — огляд отоларингологом та невропатологом.

#### Режим праці та відпочинку

Раціональний режим праці та відпочинку встановлюється відповідно до КЗпП України для запобігання перевтомі та зниження ризику травматизму.

- Тривалість робочого часу: Нормальна тривалість робочого часу не перевищує 40 годин на тиждень.
- Перерви: Надається перерва для відпочинку і харчування тривалістю не більше 2 годин (зазвичай 45–60 хв).
- Регламентовані перерви: Для працівників, що виконують роботи з високим фізичним навантаженням або в умовах монотонності (оператори пульту керування), передбачені короткострокові регламентовані перерви (5–10 хвилин кожен годину) для зняття напруги.

Чітке дотримання цих організаційних заходів є фундаментом для ефективної роботи технічних засобів захисту.

### 5.3. Санітарно-гігієнічні та інженерно-технічні заходи

Для усунення або зменшення впливу шкідливих виробничих факторів до допустимих рівнів на підприємстві впроваджується комплекс інженерно-технічних рішень. Ці заходи спрямовані на нормалізацію повітряного середовища, освітлення та захист від фізичних факторів.

#### Нормалізація параметрів мікроклімату та вентиляція

Основним засобом боротьби із запиленістю та надлишковим теплом у виробничих приміщеннях (цех водопідготовки, дільниця переробки макулатури) є ефективна система вентиляції.

1. Загальнообмінна вентиляція: Передбачається припливно-витяжна система з механічним спонуканням. Подача свіжого повітря здійснюється у робочу зону, а витяжка — з верхньої зони приміщення, де накопичується тепле та забруднене повітря.

2. Місцева витяжна вентиляція (аспірація): Для локалізації пилу безпосередньо у місцях його утворення встановлюються місцеві відсмоктувачі:

- Укриття зонтичного типу над вузлами пересипання сировини.
- Бортові відсмоктувачі біля ванн приготування хімічних розчинів.
- Вбудовані патрубки в кожухах дробильного обладнання. Забруднене повітря перед викидом в атмосферу проходить очистку в пиловловлювачах (рукавних фільтрах), описаних у технічному розділі роботи.

#### Виробниче освітлення

Раціональне освітлення забезпечує візуальний комфорт, знижує втомлюваність зору та запобігає травматизму.

- Природне освітлення: Здійснюється через світлові отвори (вікна, зенітні ліхтарі) і є основним у світлий час доби. Необхідно регулярно (не рідше 2 разів на рік) проводити очищення скла вікон від пилу та бруду для збереження світлопроникності.

- Штучне освітлення: Використовується система загального (рівномірного) та комбінованого освітлення. В якості джерел світла рекомендується використання сучасних LED-світильників у пиловологозахищеному виконанні (IP65). Вони забезпечують високу світловіддачу, відсутність стробоскопічного ефекту (мерехтіння) та точну передачу кольорів, що важливо для контролю якості паперу.

#### Захист від шуму та вібрації

Оскільки робота природоохоронного обладнання (потужні вентилятори, компресори, насоси) супроводжується значним шумом, передбачаються такі заходи:

- Звукоізоляція: Встановлення шумопоглинаючих кожухів на електродвигуни та корпуси вентиляторів.
- Віброізоляція: Монтаж вентиляторів та насосних агрегатів на спеціальні віброізолюючі підставки (пружинні або гумові амортизатори), а також встановлення гнучких вставок на з'єднаннях вентиляторів з повітроводами.
- Архітектурно-планувальні рішення: Розміщення найбільш шумного обладнання в окремих ізольованих приміщеннях або за звукозахисними екранами.

#### Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

У випадках, коли інженерні методи не можуть повністю виключити вплив шкідливих факторів, застосовуються ЗІЗ. Відповідно до «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими ЗІЗ», персонал забезпечується:

- Органи дихання: Респіратори протиаерозольні (класу захисту FFP2 або FFP3) при роботах у запилених зонах (очищення бункерів, заміна фільтрів).
- Органи слуху: Протишумові навушники або вкладиші («беруші») при роботі в зонах з рівнем шуму понад 80 дБА.
- Спецодяг та спецвзуття: Бавовняні костюми для захисту від

загальних виробничих забруднень, рукавиці комбіновані, черевики з захисним підноском для захисту від механічних травм.

#### 5.4. Електробезпека

Експлуатація природоохоронного обладнання (насосних станцій, систем вентиляції, електродвигунів приводів) передбачає використання електричної мережі трифазного змінного струму напругою 380/220 В частотою 50 Гц.

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом, виробничі цехи картонно-паперового підприємства відносяться до категорій:

- З підвищеною небезпекою: приміщення з високою температурою та струмопровідним пилом (дільниці різки та сортування).
- Особливо небезпечні: приміщення з підвищеною вологістю (близько 100%) або хімічно активним середовищем (цех водопідготовки, очисні споруди).

Для забезпечення безпеки персоналу передбачено наступний комплекс заходів:

##### Захисне заземлення та занулення

Основним технічним заходом захисту від дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, є захисне заземлення.

- Всі металеві корпуси електродвигунів, каркаси рукавних фільтрів, пульти управління та металеві конструкції естакад підлягають надійному приєднанню до заземлювального контуру.
- Опір заземлювального пристрою у будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом (для електроустановок напругою до 1000 В).
- Для перевірки цілісності контуру заземлення та вимірювання його опору проводяться регулярні електротехнічні випробування (не рідше

1 разу на рік).

#### Захист від статичної електрики

На підприємствах целюлозно-паперової промисловості статична електрика становить особливу небезпеку. Вона виникає внаслідок тертя паперового полотна об вали машин, руху транспортерних стрічок та транспортування подрібненої макулатури (пилу) по пневмотранспорту.

Накопичення статичного заряду у запиленому середовищі може призвести до іскрового розряду, здатного викликати вибух паперового пилу або пожежу.

Для попередження виникнення розрядів статичної електрики передбачається:

1. Заземлення рухомих частин: Усі технологічні трубопроводи, повітроводи аспіраційних систем, бункери та корпуси фільтрів повинні бути заземлені в єдиний контур для відводу зарядів у землю.

2. Вирівнювання потенціалів: Металеві частини обладнання, розташовані на відстані до 10 см одна від одної, з'єднуються металевими перемичками.

3. Зволоження повітря: Підтримання відносної вологості повітря у виробничих приміщеннях на рівні не нижче 65-70%. Волога плівка на поверхні матеріалів підвищує їх електропровідність, що сприяє природному стіканню зарядів.

4. Антистатичні матеріали: Використання струмопровідних матеріалів для покриття підлоги в зонах підвищеної вибухонебезпеки.

#### Блискавкозахист

Високі споруди (димові труби котельні, корпуси великих рукавних фільтрів, резервуари очисних споруд) обладнуються системами блискавкозахисту (блискавкоприймачі, струмовідводи та заземлювачі) для відведення атмосферних розрядів, що запобігає пожежам та руйнуванню обладнання.

## 5.5. Пожежна безпека

Виробничий процес підприємства картонно-паперової промисловості характеризується високим рівнем пожежної небезпеки. Це зумовлено наявністю значної кількості твердих горючих матеріалів (макулатура, готовий папір, картон), паливно-мастильних матеріалів та утворенням органічного пилу.

Згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 та НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні», виробничі приміщення цеху з переробки макулатури та склади готової продукції відносяться до категорії В (пожежонебезпечні), а ділянки, де можливе утворення завислого у повітрі паперового пилу в концентраціях, здатних вибухати — до категорії Б (вибухопожежонебезпечні).

Для забезпечення пожежної безпеки на підприємстві розроблено та впроваджено комплекс заходів:

### Попереджувальні заходи

Головним завданням є усунення причин виникнення пожежі:

1. Боротьба з пилом: Регулярне прибирання будівельних конструкцій, електрообладнання та повітроводів від осілого паперового пилу. Забороняється використання стисненого повітря для здування пилу, щоб уникнути утворення вибухонебезпечних аерозолів; застосовуються промислові пилососи у вибухозахищеному виконанні.

2. Контроль вогневих робіт: Проведення зварювальних та інших вогневих робіт допускається лише за нарядом-допуском після ретельного очищення місця проведення робіт від горючих матеріалів та забезпечення засобами пожежогасіння.

3. Безпека технологічного обладнання: Встановлення іскрогасників та магнітних сепараторів на лініях подачі макулатури для вилучення металевих предметів, які можуть викликати іскріння при потраплянні в дробильне обладнання.

## Системи виявлення та гасіння пожеж

Підприємство обладнується автоматичними системами протипожежного захисту:

- Автоматична пожежна сигналізація (АПС): У приміщеннях встановлюються димові сповіщувачі, які реагують на появу диму на ранніх стадіях тління паперу. У зонах з високою запиленістю доцільно використовувати теплові сповіщувачі або сповіщувачі полум'я.

- Система автоматичного пожежогасіння: У складських приміщеннях та цехах передбачається спринклерна (водяна) система пожежогасіння. При підвищенні температури легкоплавкий замок спринклера руйнується, і вода розпилюється безпосередньо над осередком займання.

- Внутрішній протипожежний водопровід: Наявність пожежних кранів, укомплектованих рукавами та стволами, розташованих у доступних місцях (біля входів, на сходових клітках).

## Первинні засоби пожежогасіння

Для ліквідації невеликих осередків пожежі на початковій стадії всі виробничі дільниці забезпечуються вогнегасниками згідно з нормами належності:

- Порошкові вогнегасники (типу ОП-5, ОП-9): Універсальний засіб для гасіння твердих речовин (клас А) та електроустановок до 1000 В.

- Вуглекислотні вогнегасники (типу ОУ-5): Обов'язкові для гасіння загорянь в електрощитових, пультових та на електродвигунах, оскільки вуглекислота не пошкоджує обладнання і не залишає слідів.

- Пожежні щити: Комплектуються шанцевим інструментом (ломи, багри, лопати), ящиками з піском та повстю (кошмою).

## Евакуація людей

Для забезпечення безпечної евакуації персоналу:

- Розроблені та вивішені на видних місцях плани евакуації.
- Евакуаційні виходи обладнані світловими покажчиками

«ВИХІД», що живляться від автономних джерел енергії.

- Проходи та виходи утримуються вільними, не захарашуються сировиною чи готовою продукцією.

#### Висновок до Розділу 5

У п'ятому розділі проаналізовано стан охорони праці на підприємстві та розроблено комплекс заходів щодо покращення умов праці персоналу. Встановлено, що основними шкідливими факторами є виробничий шум, запиленість та пожежна небезпека. Запропоновані технічні рішення (модернізація вентиляції, віброізоляція, використання ЗІЗ, заземлення) та організаційні заходи дозволять мінімізувати професійні ризики, забезпечити дотримання нормативів з охорони праці та пожежної безпеки, а також створити безпечні умови для експлуатації природоохоронного обладнання.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання щодо зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище від діяльності підприємства картонно-паперової промисловості. На основі проведених досліджень та розрахунків зроблено наступні висновки:

- 1. Аналіз галузі та об'єкта дослідження:** Встановлено, що виробництво картону та паперу є джерелом значного впливу на довкілля, зокрема через викиди пилю (целюлозного, паперового), оксидів азоту, вуглецю та споживання великих об'ємів води. Для досліджуваного підприємства, розташованого в Київській області, питання екологічної безпеки є критичним через близькість до сельбищної зони.
- 2. Оцінка існуючого стану:** Проведена інвентаризація джерел викидів показала, що існуюча система газоочистки, яка базується на морально застарілих інерційних пиловловлювачах (циклонах), працює з недостатньою ефективністю (75–85%). Розрахунки розсіювання забруднюючих речовин виявили зони, де концентрації дрібнодисперсного пилю та діоксиду азоту наближаються до гранично допустимих (ГДК) або перевищують їх.
- 3. Розробка технічних рішень:** Обґрунтовано та запропоновано комплекс заходів з модернізації системи пилогазоочищення. Ключовим рішенням є заміна циклонів на **рукавні фільтри з імпульсною регенерацією** для основних джерел пилоутворення. Це дозволить підвищити ступінь очищення викидів до **99–99,5%** та вловлювати частинки розміром менше 5 мкм.
- 4. Технологічна оптимізація:** Запропоновано заходи первинного характеру, спрямовані на зменшення утворення шкідливих речовин у джерелі: налаштування режимних карт котлоагрегатів для зниження викидів та , а також герметизація технологічного обладнання для

мінімізації неорганізованих викидів.

5. **Екологічна ефективність:** Розрахунковим методом підтверджено, що впровадження запропонованих заходів забезпечить зниження валових викидів забруднюючих речовин в атмосферу та гарантує дотримання санітарно-гігієнічних нормативів на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ). Як додатковий бар'єрний захід розроблено проект фітомеліорації СЗЗ газостійкими породами дерев.
6. **Охорона праці:** Проаналізовано умови праці персоналу та ідентифіковано основні небезпечні фактори: підвищений рівень шуму, запиленість повітря, пожежна небезпека. Розроблено комплекс інженерно-технічних заходів, що включає модернізацію систем вентиляції та аспірації, впровадження засобів віброізоляції обладнання, забезпечення працівників ефективними засобами індивідуального захисту та систему заходів протипожежного захисту.
7. **Загальний підсумок:** Реалізація розробленого проекту дозволить досягти екологічного ефекту, який полягає у зменшенні антропогенного тиску на екосистему регіону, покращенні якості атмосферного повітря та забезпеченні сталого функціонування підприємства згідно з вимогами природоохоронного законодавства України.

## Список використаної літератури

1. CEPI. **Key Statistics 2023** [Electronic resource]. – CEPI. – Access mode: <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2024/09/Key-Statistics-2023-FINAL-2.pdf> (дата звернення: 13.12.2025).
2. CEPI/EPRC. **EPRC Monitoring Report 2023** [Electronic resource]. – CEPI. – Access mode: [https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2024/11/24-4378\\_EPRC\\_2023\\_Singlepages.pdf](https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2024/11/24-4378_EPRC_2023_Singlepages.pdf) (дата звернення: 13.12.2025).
3. UNECE/FAO. **Data Brief 2023 — Pulp, paper and paperboard** [Electronic resource]. – UNECE. – Access mode: [https://unece.org/sites/default/files/2023-11/2023-data-brief-pap-final-web\\_1.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2023-11/2023-data-brief-pap-final-web_1.pdf) (дата звернення: 13.12.2025).
4. FAO. **Effluent treatment and disposal facilities in the pulp and paper industry** [Electronic resource]. – Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Access mode: <https://www.fao.org/4/76067e/76067e05.htm> (дата звернення: 13.12.2025).
5. ResearchGate / наукові джерела. **Water consumption values in the paper industry** [Electronic resource]. – ResearchGate (узагальнена таблиця/публікації). – Access mode: [https://www.researchgate.net/figure/Water-consumption-values-in-the-paper-industry\\_tbl1\\_339053304](https://www.researchgate.net/figure/Water-consumption-values-in-the-paper-industry_tbl1_339053304) (дата звернення: 13.12.2025).
6. Mostafa M. et al. **Paper industries concern water pollution** [Electronic resource]. – CIBTech Journal (2021). – Access mode: [https://www.cibtech.org/J-Innovative-Research-Review/Publications/2021/Vol\\_9/JIRR-002-MOSTAFA-PAPER%20INDUSTRIES.pdf](https://www.cibtech.org/J-Innovative-Research-Review/Publications/2021/Vol_9/JIRR-002-MOSTAFA-PAPER%20INDUSTRIES.pdf) (дата звернення: 13.12.2025).  
[cibtech.org](https://www.cibtech.org)

7. IEA. **Pulp & paper (energy and technologies overview)** [Electronic resource]. – International Energy Agency. – Access mode: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/pulp-paper> (дата звернення: 13.12.2025).
8. Hung Y.-T., Liauw E., Paul H. H., Huhnke C. R. **Wastewater treatment in the pulp and paper industry: A review** // *Global Journal of Engineering and Technology Advances*. – 2024. – Vol. 20, №3. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/384460861\\_Wastewater\\_treatment\\_in\\_the\\_pulp\\_and\\_paper\\_industry\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/384460861_Wastewater_treatment_in_the_pulp_and_paper_industry_A_review) (дата звернення: 13.12.2025). (ResearchGate)
9. Liang X., et al. **Sustainable Utilization of Pulp and Paper Wastewater** // *Water*. – 2023. – 15(23). – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/23/4135> (дата звернення: 13.12.2025). (MDPI)
10. **Environmental impact of paper** [Electronic resource]. – Wikipedia. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Environmental\\_impact\\_of\\_paper](https://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_impact_of_paper) (дата звернення: 13.12.2025). (Вікіпедія)
11. **Pollution from the U.S. Paper Industry is Vastly Under-Reported** // *Environmental Integrity Project*. – 29 May 2025. – Режим доступу: <https://environmentalintegrity.org/news/pollution-from-the-u-s-paper-industry-is-vastly-under-reported/> (дата звернення: 13.12.2025). (Environmental Integrity)
12. **Giacosa G.** Characterization of Annual Air Emissions Reported by Pulp and Paper Mills in Atlantic Canada / G. Giacosa, C. Barnett, D. G. Rainham, T. R. Walker // *Pollutants*. – 2022. – Vol. 2. – P. 135–155. – DOI: <https://doi.org/10.3390/pollutants2020011>.
13. **Hung Y.-T.** Wastewater treatment in the pulp and paper industry: A

review / Y.-T. Hung, E. Liauw, H. H. Paul, C. R. Huhnke // Global Journal of Engineering and Technology Advances. – 2024. – Vol. 20, № 3. – P. 001–005. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/384460861\\_Wastewater\\_treatment\\_in\\_the\\_pulp\\_and\\_paper\\_industry\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/384460861_Wastewater_treatment_in_the_pulp_and_paper_industry_A_review) (дата звернення: 13.12.2025).

13. **Конституція України:** прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996 р. *Відомості Верховної Ради України*. 1996. № 30. Ст. 141. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр>
14. **Про охорону навколишнього природного середовища:** Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
15. **Про охорону атмосферного повітря:** Закон України від 16.10.1992 р. № 2707-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>
16. **Про оцінку впливу на довкілля:** Закон України від 23.05.2017 р. № 2059-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>
17. **Водний кодекс України:** Закон України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр>
18. **Кодекс законів про працю України (КЗпП):** Затверджений Законом УРСР № 322-VIII від 10.12.1971 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08>
19. **Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел:** Наказ Мінприроди України від 27.06.2006 р. № 309. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06>
20. **ДСП-201-97.** Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). Затверджено Наказом

- МОЗ України від 09.07.1997 р. № 201. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0372-97>
21. **НПАОП 0.00-4.12-05.** Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Затверджено Наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>
22. **НАПБ А.01.001-2014.** Правила пожежної безпеки в Україні. Затверджено наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>
23. **ДСН 3.3.6.037-99.** Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ: МОЗ України, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0037282-99>
24. **ДСН 3.3.6.042-99.** Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ: МОЗ України, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>
25. **ДСТУ Б В.1.1-36:2016.** Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/2347295123533479672](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/2347295123533479672)  
(Портал будівельної діяльності)
26. **Примаков С. П., Барбаш В. А.** Технологія паперу і картону: навч. посібник. Київ: ЕКМО, 2002. 396 с. *Бібліотека КПІ*: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/1575> (загальний каталог)
27. **Сафранов Т. А.** Екологічні основи природокористування: навч. посіб. Львів: «Новий Світ-2000», 2010. 248 с. *Картка книги*: <http://irbis-nbuv.gov.ua/> (Національна бібліотека ім. Вернадського)
28. **Запольський А. К., Салюк А. І.** Основи екології: підручник. Київ: Вища школа, 2004. 382 с.

29. **Дорошенко О. В.** Технології захисту атмосферного повітря: навч. посібник. Харків: НУЦЗУ, 2017. 174 с. *Репозитарій НУЦЗУ*: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4688>
30. **Білецький В. С.** Процеси та апарати природоохоронних технологій: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2012. *Репозитарій НТУ ХПІ*: <http://repository.kpi.kharkov.ua/>
31. **Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю.** Очистка промышленных газов от пыли. Москва: Химия, 1981. 392 с.
32. **ОНД-86.** Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. Л.: Гідрометеовидав, 1987. *Текст документа*: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=25571](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25571)
33. **Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами.** Донецьк: УкрНТЕК, 2004. Т. 1–3.
34. **Joyo F. H.** Decarbonization pathways for the pulp and paper industry: A comprehensive review / F. H. Joyo, B. Nastasi, D. A. Garcia // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2025. – Vol. 223. – Art. 116070. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116070>.
35. **Liang X.** Sustainable Utilization of Pulp and Paper Wastewater / X. Liang et al. // Water. – 2023. – Vol. 15, № 23. – Art. 4135. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/23/4135> (дата звернення: 13.12.2025).
36. **Pollution from the U.S. Paper Industry is Vastly Under-Reported** [Electronic resource] // Environmental Integrity Project. – 2025. – 29 May. – Режим доступу: <https://environmentalintegrity.org/news/pollution-from-the-u-s-paper-industry-is-vastly-under-reported/> (дата звернення: 13.12.2025).

37. **Vilarinho I. S.** Review of recycling alternatives for paper pulp wastes / I. S. Vilarinho et al. // *Frontiers in Materials*. – 2022. – Vol. 9. – Art. 1006861. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1006861>.
38. **Гнатченко Є. В.** Огляд сучасних технологій очищення газових викидів підприємств целюлозно-паперової промисловості / Є. В. Гнатченко // *Екологічна безпека та природокористування*. – 2023. – Вип. 4 (48). – С. 112–118.
39. **Довідковий документ з найкращих доступних технологій (НДТ) для целюлозно-паперової промисловості** [Електронний ресурс] / Joint Research Centre. – Seville : EIPPCB, 2015. – Режим доступу: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/production-pulp-paper-and-board> (дата звернення: 13.12.2025).