

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

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

«До захисту допущено»

в.о. завідувача кафедри

В.В. Галиш

«__»_____20__р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма Промислова екологія та ресурсоефективні чисті
технології
на тему: Удосконалення технологічного потоку виробництва паперу
для гофрування**

Виконав:

Студент IV курсу, групи ЛЦ-321

Сич Василь Васильович

Керівник:

Доцент

Черьопкіна Р. І.

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2026 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП 4109. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	65	
3	A1	ДП 4109. 01.000 ТК	Технологічна схема	1	
4	A1	ДП 4109. 02.000 ТК	План цеху	1	
5	A1	ДП 4109. 03.000 ТК	Поперечний розріз	1	
6	A1	ДП 4109. 04.000 ТК	Поздовжній розріз	1	

				ДП 4109 00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Сич В.В.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Черьопкіна Р. І.				1	65
в.о. зав. каф.	Галиш В.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. Е та ТРП Гр. ЛЦ-з21	

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут/факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
(повна назва)

Кафедра екології та технології рослинних полімерів
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший бакалаврський
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
В.В. Галиш
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Сичу Василю Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Удосконалення технологічного потоку виробництва паперу для гофрування
2. Керівник проєкту (роботи) Черьопкіна Романія Іванівна, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «19» травня 2026 р. № 1816-с
3. Строк подання студентом проєкту (роботи) 15 червня 2026 р.
4. Вихідні дані до проєкту (роботи) папір для гофрування із целюлози.
5. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Описати та обґрунтувати розробку технологічного потоку, розробити технологічну частину, розрахувати матеріальний баланс, навести теоретичні відомості, розрахувати тепловий баланс, описати будівельну частину та розробити заходи щодо охорони навколишнього середовища.

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) технологічна схема, план цеху, поздовжній розріз, поперечний розріз.

7.Дата видачі завдання 19 травня 2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання	19.05.2026	
2	Розроблення технологічної схеми	21.05.2026-25.05.2026	
3	Технологічна частина	25.05.2026-30.05.2026	
4	Розрахункова частина	30.05.2026-04.06.2026	
5	Оформлення графічної частини	04.06.20126-08.06.2026	
6	Будівельна частина	08.06.2026- 11.06.2026	
7	Розробка заходів із захисту довкілля	11.06.2026-15.06.2026	

Студент

_____ В.В. Сич
(підпис) (ініціали, прізвище)

Керівник проєкту

_____ Р. І. Черьопкіна
(підпис) (ініціали, прізвище)

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: Удосконалення технологічного потоку виробництва
паперу для гофрування

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект: 65 стор., 7 табл., 6 рис., 7 першоджерел, 1 додаток.

Здійснено обґрунтування удосконалення цеху з виробництва паперу для гофрування.

Наведено основні вимоги до сировини та готової продукції.

Розроблено та описано технологічну схему виробництва паперу із целюлози сульфатної хвойної марки НС-2 вищого сорту.

Виконано розрахунки матеріального балансу води та волокна, розрахунки теплового балансу контактного сушіння.

Наведено теоретичні відомості про основні технологічні процеси.

Наведено об’ємно-планувальне рішення будівлі цеху та заходи щодо охорони навколишнього середовища на підприємстві.

СУЛЬФАТНА ЦЕЛЮЛОЗА, РОЗМЕЛЮВАННЯ, АКД, КОМБІПРЕС,
ПАПЕРОРОБНА МАШИНА, СУШІННЯ, ПАПІР ДЛЯ ГОФРУВАННЯ

					ДП 2120.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сич В.В.			"Удосконалення технологічного потоку виробництва паперу для гофрування"	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Червопкіна Р. І.					6	65
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ, гр. ЛЦ-321		
Н. Контр.								
Затверд.		Червопкіна Р. І.						

ABSTRACT

Thesis Project: 82 pages, 7 tables, 6 figures, 7 references, 1 appendix.

This thesis project provides a technical and economic justification for the development of a new production shop for fluting (corrugating medium).

The primary quality standards and requirements for both raw materials and finished products are specified. A comprehensive technological layout for paper production using top-grade unbleached softwood kraft pulp (grade NS-2) has been developed and described.

The process engineering calculations include:

- Material balances for fiber and water;
- Heat balances for the contact drying process.

The theoretical fundamentals of the key technological processes are reviewed. Furthermore, the architectural and spatial planning layout of the production facility is presented, along with environmental protection measures and ecological safety practices designed for the enterprise.

KEYWORDS: KRAFT PULP, REFINING, COMBIPRESS, PAPER MACHINE, DRYING, FLUTING, CORRUGATED MEDIUM, AKD (Alkylketene Dimer).

					ДП1121.00.00				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Сич В.В.				"Удосконалення технологічного потоку виробництва паперу для гофрування"		Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірів	Черьопкіна							7	--
Реценз.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ, гр. ЛЦ-321					
Н. Контр.									
Затв.	Черьопкіна								

ЗМІСТ

ВСТУП 11

1 ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ПРОЄКТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОТОКУ З ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ ДЛЯ ГОФРУВАННЯ 11

2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ ДЛЯ ГОФРУВАННЯ 12

2. 1 Характеристика сировини і готової продукції 12

2. 2 Технологічна схема та її опис 15

2. 3 Теоретичні відомості про основні процеси виробництва 20

3 ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРЕБИ В СИРОВИННИХ РЕСУРСАХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ 34

3. 1 Блок-схема балансу води і волокна 34

3. 2 Розрахунок матеріального балансу води і волокна 37

4 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ 51

5 ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНЕ РІШЕННЯ 57

6 ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 76

ВИСНОВКИ 58

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 64

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, ДОПОМІЖНИХ ХІМІКАТІВ ТА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

- 1.1 Обґрунтування вибору та вимоги до волокнистої сировини (сульфатна хвойна невібілена целюлоза марки НС-2)
- 1.2 Характеристика допоміжних хімічних речовин та коагулянтів (глинозем, гідрофобний клей АКД «Fennosize KD 574 MP»)
- 1.3 Нормативні вимоги та показники якості готової продукції (папір для гофрування марки Б-0)

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОПИС СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА

- 2.1 Опис технологічної схеми процесу масопідготовки та очищення
- 2.2 Робота папероробної машини (ПРМ): формування, пресування, контактне сушіння та обробка полотна
- 2.3 Система утилізації та повторного використання сухого і мокрого технологічного браку
- 2.4 Організація оборотного водокористування та прояснення регістрових вод

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

- 3.1 Теоретичні основи та закономірності процесу розпуску волокнистих матеріалів
- 3.2 Фізико-механічні аспекти та енергоємність процесу розмелювання целюлози
- 3.3 Теорія гідродинамічного формування та зневоднення паперової маси на сітці
- 3.4 Механізм інтенсифікації зневоднення у пресовій частині (комбіпрес та прес великого тиску Jumbo)
- 3.5 Термодинамічні закономірності контактного сушіння та теплового режиму

4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА (МАТЕРІАЛЬНИЙ ТА ТЕПЛОВИЙ

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БАЛАНСИ)

- 4.1 Вихідні дані для розрахунків
- 4.2 Розрахунок матеріального балансу води і волокна по стадіях технологічного потоку
- 4.3 Розрахунок теплового балансу процесу контактного сушіння паперового полотна

5 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

- 5.1 Розрахунок годинної, добової та річної продуктивності папероробної машини
- 5.2 Розрахунок та підбір обладнання масопідготовчого відділу (гідророзбивачі целюлози і браку, дискові млини, масні басейни)
- 5.3 Вибір та обґрунтування системи очищення та сортування (вихрові очисники, селективфайер, вібраційна сортувалка)

6 БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ

- 6.1 Характеристика будівельного майданчика та архітектурно-планувальні параметри будівлі цеху
- 6.2 Компонування технологічного устаткування (план цеху, поздовжній та поперечний розрізи)

7 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

- 7.1 Аналіз джерел антропогенного навантаження виробництва на довкілля
- 7.2 Заходи щодо мінімізації споживання свіжої води та очищення стічних вод
- 7.3 Поводження з твердими відходами целюлозно-паперового виробництва

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДОДАТКИ

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

На сьогоднішній день пакувальна індустрія є одним із секторів економіки, що розвиваються найшвидше. Стрімке зростання електронної комерції, логістичних послуг та підвищення вимог до екологічності пакування зумовлюють високий попит на гофрокартон та його компоненти. Папір для гофрування (флютинг) є основним шаром гофрованого картону, який забезпечує його жорсткість, амортизаційні властивості та стійкість до деформації.

Сучасний ринок вимагає від виробників паперу для гофрування не лише зниження собівартості продукції, а й підвищення її фізико-механічних показників (зокрема, опору площинному та торцевому стисненню). Більшість вітчизняних підприємств працюють в умовах дефіциту якісного волокна, зростання цін на енергоносії та жорстких екологічних обмежень щодо використання свіжої води. У зв'язку з цим, удосконалення технологічного потоку виробництва паперу для гофрування – шляхом модернізації обладнання, оптимізації процесів масопідготовки, використання сучасних допоміжних хімічних речовин та зменшення енергоємності – є надзвичайно актуальним науково-технічним завданням.

У цьому дипломному проєкті розглянуто технологічний потік виробництва паперу для гофрування марки Б0-80г/м² – це основа для створення легкого, гнучкого та якісного гофрованого прошарку в пакувальних матеріалах, що дозволяє суттєво здешевити виробництво тари без втрати її захисних властивостей. Особливу увагу приділено вибору сировини та основним етапам виробничого процесу, оскільки від них залежать якісні показники готової продукції.

Метою дипломного проєкту є розробка технічних та технологічних рішень щодо удосконалення технологічного потоку виробництва паперу для

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гофрування з метою підвищення якості готової продукції, зниження її собівартості та зменшення антропогенного навантаження на довкілля.

2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ ДЛЯ ГОФРУВАННЯ

2.1 Характеристика сировини, хімікатів та готової продукції

Для виробництва паперу для гофрування марки Б0-80г/м² використовується сульфатна хвойна невібілена целюлози марки НС-2 вищого сорту згідно нормативних документів, показники якості якої наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Показники якості целюлози сульфатної хвойної марки вищого сорту

Найменування показника	Значення для марки
	НС-2 Вищий сорт
1. Ступінь делігніфікації, од. Каппа	26,0-36,0
2. Розривна довжина, м, не менше	8700
3. Абсолютний опір продавлюванню, кПа, не менше	470
4. Абсолютний опір роздиранню, мН, не менше	810
5. Засміченість, шт., не більше смітинок площею від 0,1 до 1,0 мм ² включно, не більше більше 1,0 до 2,0 мм ² включно, не більше більше 2,0 мм ² більше 5,0 мм ²	- - 0
6. Вологість при відвантаженні, %, не більше	23

У виробництві паперу застосовується глинозем згідно нормативних документів.

Таблиця 1.2 – Фізико-хімічні показники глинозему марки ГН

Марка	Масова частка домішок, %, не більше			Втрата маси при прожарюванні (300-1100 °C), %, не більше	Масова частка альфа-оксиду алюмінію, %	Масова частка монозерен, що покривають агрегати, %, не менше	
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Сума Na ₂ O + K ₂ O в перерахунку на Na ₂ O			до 5 мкм	до 10 мкм:
ГН	0,1	0,03	0,1	0,2	Не менше 94	90	-

Для надання гідрофобних властивостей паперу використовують проклеювання у нейтральному та слабо лужному середовищі речовинами, із застосуванням дисперсії алкілкетенів димерів. Для цього використаємо клей торгової марки “Fennosize KD 574 MP” компанії Kemira.

Характеристика клею торгової марки “Fennosize KD 574 MP” компанії Kemira дано у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики “Fennosize KD 574 MP”

Показник	Значення
Вміст сухої речовини, %	22,2 ± 0,5
В'язкість, мПа·с, за 25 °C	< 100
pH	3,7 ± 0,5
Діюча речовина, вміст	АКД-віск, 20 %
Іонний характер	Катіонний
Щільність, кг/м ³ , за 25 °C	Приблизно 1000 кг/м ³
Поставляється як	Дисперсія воску

Показники якості паперу мають відповідати нормам, наведених у табл.1

Таблиця 1.4

Назва показника	Норма для марки	Метод випробовування
	Б-0	
Маса паперу площею 1 м^2 , г	80 ± 4	Згідно ДСТУ 2297 (ГОСТ 13199)
Опір площинному стисненню гофрованого зразка паперу (СМТ_{30}), Н, не менше ніж: - за шириною смужки 15 мм - за шириною смужки 12,7 мм	140 110	Згідно ДСТУ EN ISO 7263
Абсолютний опір продавлювання, кПа, не менше ніж	195	Згідно ДСТУ ISO 2759
Міцність під час розтягування в машинному напрямку, кН/м, не менше ніж	5,0	Згідно ДСТУ 2334 (ГОСТ ИСО 1924/1), ДСТУ 3370 (ГОСТ 30436) (ISO 192/2) та 8.14
Опір торцевому стисненню гофрованого зразка паперу (ССТ_0), (кН/м), не менше ніж	0,80	Згідно з ГОСТ 28686
Опір стисненню зразка на короткій відстані в поперечному напрямку (SCT), кН/м, не менше ніж	1,2	Згідно з 8.15
Поверхнева вбирність води під час однобічного змочування (Кобб_{30}) проклеєного	30 – 70	Згідно з ДСТУ 3549 (ГОСТ 12605) (ISO 535)

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

паперу площею 1м ² для кожного боку, г		
Вологість, %	7^{+2}_{-1}	Згідно з ГОСТ 13525.19

Опис технологічної схеми

Під час удосконалення технологічного потоку виробництва паперу для гофрування визначено використання 100 % хвойної сульфатної невибіленої целюлози у складі волоконної композиції.

Паки целюлози, які надходять на підприємство піддаються розпакуванню і далі подаються на транспортер, який доставляє її у гідророзбивач (1). Для розволокнення целюлози у гідророзбивачі подається реєстрова вода із басейна підсіткових вод для досягнення концентрації суспензії 3,5%. У потоці пропонується встановити гідророзбивач безперервної дії. Що забезпечує однорідність розпуску маси на окремі волокна. Розволокнута маса направляється в приймальний басейн (2) за допомогою відцентрового насоса для усереднення концентрації розволокненої маси, а також набухання волокна, що в подальшому покращить його фібрилювання.

Потім волокниста маса направляється на два дискові млини (3) де відбувається процес розмелювання до ступеня 30 – 32°ШР. Під час розмелювання маса нагрівається і тому її перекачують в акумулюючий басейн (4) для зниження температури маси та додаткового набухання волокна, вирівнювання концентрації. Далі відцентровим насосом маса подається для дорозмелювання на ще один дисковий млин (5) де ступінь млива маси досягає 40 °ШР. Початковий ступінь млива целюлози складає 10 – 12 °ШР. Під час проходження через кожен млин, ступінь млива зростає на 8 – 10 °ШР.

Після розмелювання маса подається в басейн розмеленої маси (6), після якого маса перекачується в композиційний басейн (7), куди вводять зворотній брак у кількості, що не порушує концентрацію маси 3,5 %. Після цього вона перекачується відцентровим насосом в машинний басейн (8). На вхід насосу подається глинозем. Підготовлена композиція паперу через бак постійного рівня

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(9) подається у змішувальний насос №2, де відбувається розбавлення до концентрації 0,73 %.

Процедура очищення маси є обов'язковою стадією у технологічному процесі, що дозволяє вилучити забруднення, які виникли під час підготовки маси. Ці забруднення включають мінеральні компоненти, у яких питома маса перевищує питому масу волокна, такі як залишки піску, глини, дроту та інших дрібних неволокнистих частинок. Маса подається на перший ступінь очищення під тиском. За допомогою відцентрової сили мінеральні включення відкидаються до стінок центриклинера і, опускаючись вниз, виводяться через жолоб для важких включень.

Відходи від першого ступеня збираються в закритому резервуарі, а після розбавлення обіговою водою вони направляються на наступний ступінь очищення. Очищена маса з другого етапу повертається на перший для подальшого очищення. Відходи з другого ступеня збираються у жолобі №2 і подаються на третій ступінь очищення. Залишки від третього ступеня очищення направляються у відвал, тоді як очищена маса повертається для повторного очищення на другий ступінь. Далі очищена маса поступає у змішувальний насос №1, звідки надходить на вузлоуловлювач закритого типу (селектифайєр) (13), в якому маса сортується від включень волокнистого характеру (вузли, пучки волокон, згустки, шматочки бруду). Принцип роботи селективфайєра заключається в тому, що маса надходить у верхню частину вузлоуловлювача через тангенціально розміщений штуцер під тиском. Під дією відцентрової сили важкі включення відкидаються до зовнішньої сітки корпусу, опускаються вниз в жолоб важких відходів. Маса, очищена від важких включень, під дією напору і лопатей ротора проходить через отвори сит і виходить з апарата через загальний штуцер. Відходи, що не пройшли через сито, опускаються вниз і видаляються через спеціальний штуцер із засувкою на плоску вібраційну сортувалку (14). Волокно відокремлене на сортувалці разом з водою, направляються у збірник реєстрових вод. Після очищення та сортування маса направляється на ПРМ.

Після цього паперова маса концентрацією 0,4 % готова до формування на

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сітці. Її подають у напірний ящик закритого типу (15), а потім подають на сітковий стіл, який складається із грудного вала, гідропланок, мокрих і сухих відсмоктувальних ящиків і гауч-вала.

Сире паперове полотно, отримане в сітковій частині машини після гауч-вала, має сухість 21 %. Для наступного зневоднення воно за допомогою вакуумпересмоктувального вала подається в пресову частину, де відбувається пресування і зневоднення паперового полотна до сухості 48 %.

Пресова частина складається з двох видів пресів. Це комбіпрес і прес з розширеною зоною пресування типу JUMBO. Комбіпрес складається з пересмоктувального вала, відсмоктувального вала, центрального гладкого пресового вала і притискного жолобчастого вала з гумовим шаром та має дві зони пресування. Прес з розширеною зоною пресування зроблений як двовальний прес з гідравлічним притискним зусиллям верхнього пресового вала. На кожному пресі встановлено по два сукна, голкопробивних, 100 % синтетика, маса 1м² 1600 - 1700 г, розмір кожного 14200x2900 мм, забезпечені системами ручної натяжки, пневматичної поперечної правки. У пресовій частині досягається сухість полотна 48 %.

Привід пресових валів (кожного) здійснюється асинхронними двигунами з частотним регулюванням швидкості обертання.

Із пресової частини машини паперове полотно подається в сушильну частину (19), де відбувається заключне видалення вологи із полотна до потрібної вологості від 6 – 9 %. Сушіння паперу – контактне, здійснюється за допомогою пари, яка подається всередину сушильних циліндрів. Сушіння відбувається під час контакту вологого полотна з нагрітою поверхнею сушильних циліндрів і при вільному пробігу полотна між циліндрами.

Для запобігання пересушуванню паперового полотна після сушіння та для надання м'якості і еластичності а також для попередження електризації сухого паперу два останніх циліндри сушильної частини встановлюють холодильні (20), конструкція їх аналогічна до сушильних циліндрів, за виключенням того що замість пари подається холодна вода.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі висушене паперове полотно надходить на накат(21) де відбувається його намотування на тамбурний вал до діаметру 80 – 85 см. Після чого папір надходить на поздовжньо-різальний станок (22) який призначений для поздовжнього розрізання паперового полотна і перемотування паперу з тамбурів в рулони необхідних форматів і габаритів. У результаті виробляються рулони товарної продукції, яка подається на транспортну лінію для зважування і упаковки. У процесі зважування визначається маса рулону «брутто» і «нетто», зовнішній кінець паперу заклеюється, на рулон наноситься маркування і клеїться товарний ярлик. Готова продукція надходить на склад.

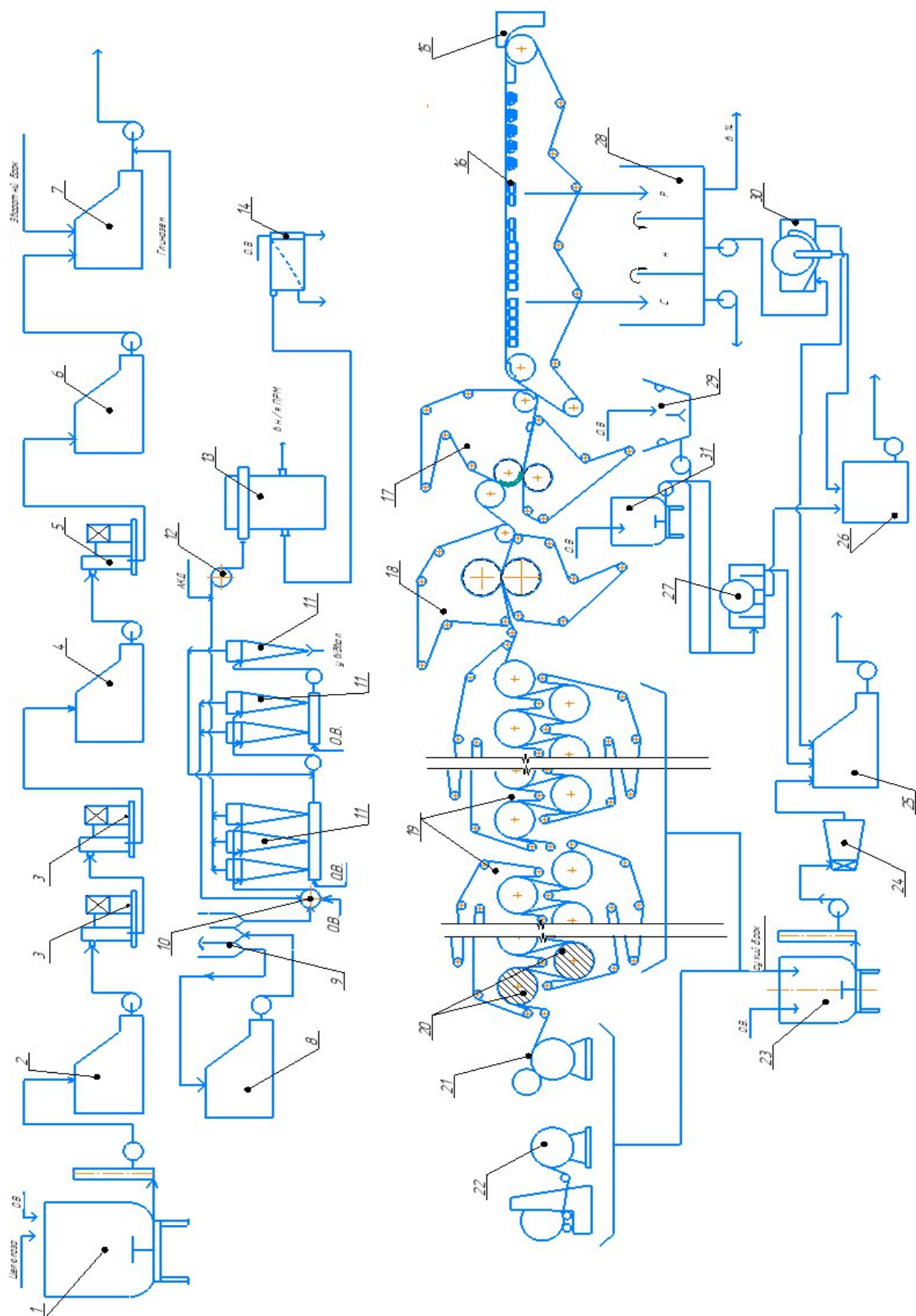
Технологічною схемою передбачено використання мокрого і сухого браку. Мокрий брак із гауч-мішалки (29) безперервно подається на згущувач (27). Зневоднена маса поступає в басейн зворотного браку (25), звідки насосом подається в композиційний басейн (7), а вода подається у збірник прояснених вод (26). При обривах в пресовій частині, брак, що утворюється також поступає в гауч-мішалку (29). Із басейну зворотного браку (25), подається в композиційний басейн (7)

Сухий брак, що утворюється в папероробній машині, після сушіння, накату та повздовжно-різального верстату поступає в гідророзбивач (23), що розташований під накатом. Брак із гідророзбивача у рідкому вигляді перекачується на пульсаційний млин (24), звідки поступає в басейн оборотного браку (25). Із басейну брак через регулятор концентрації подається в композиційний басейн (7).

Схема передбачає наступне використання обігової води: реєстрові води із збірника (28) перш за все використовується для розбавлення маси в змішувальному насосі (10). Також реєстрові води використовуються для розбавлення маси в гідророзбивачах (1) та (23) і в гауч-мішалці (29). Вода із збірника надлишкової води поступає на прояснення в дисковий фільтр (30). Утворений скоп подається в басейн оборотного браку (25), а прояснена вода – в бак збірник проясненої води (26).

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічна схема виробництва паперу для гофрування.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Теоретичні відомості про основні процеси виробництва

Теорія розпуску

Розпуск – фізико-механічний процес дії на волокнисті матеріали за наявності води без суттєвого вкорочення волокна.

Гідророзбивач – апарат, основним призначенням якого є розпуск у водному середовищі сухих волокнистих напівфабрикатів і сухого оборотного браку, що повертається в технологічний потік, та перетворення їх у водну суспензію.

По розташуванню вала ротора гідророзбивачі підрозділяються на апарати вертикального, похилого та горизонтального типів. Найрозповсюдженішим типом є гідророзбивач з вертикальним ротором (рис. 2, 3). Він складається з циліндричної зі сферичним днищем ванни 1 з переливним ящиком 5, ротора 2, що обертається на вертикальній осі, електродвигуна 6. Ротор вмонтований в центральну частину днища ванни. Для організації оптимальної структури потоку маси на днищі та стінках ванни встановлюють нерухомі напрямні лопаті 3.

Дія гідророзбивача базується на інтенсивному терті волокон між собою, об лопаті ротора та нерухомі ножі під час циркуляції маси в ванні гідророзбивача. Волокно при цьому не вкорочується.

Після розпуску маса проходить через перфоровані отвори днища ванни гідророзбивача і через переливний ящик поступає в насос, а далі, наприклад, – в басейн розпущеної маси. Якщо ж переливний ящик відсутній, насос підключають безпосередньо до випускного патрубку.

Циркуляція маси у ванні не допускає засмічення випускних отворів. Важкі механічні включення відкидаються до периферії ванни і потрапляють з неї у грязьовик, звідки періодично видаляються.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

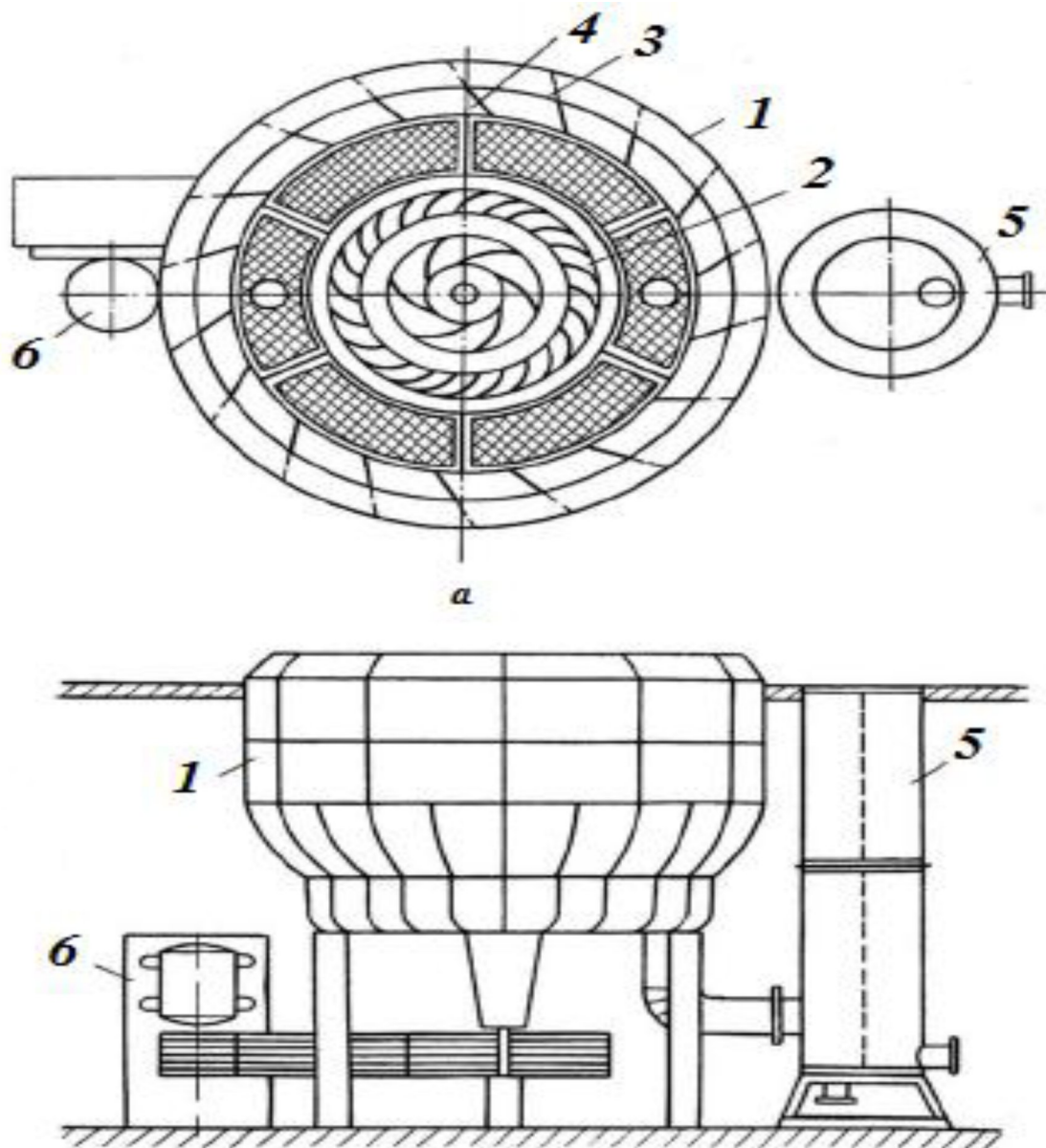


Рис. 2. Гідророзбивач вертикальний (ГРВ):

а – вид зверху; б – вид збоку; 1 – ванна; 2 – ротор; 3 – нерухомі ножі; 4 – сито; 5 – переливний ящик; 6 – електродвигун

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Арк.

21

Теорія процесу розмелювання

Перед тим як волокнисті напівфабрикати будуть використані для виготовлення паперу чи картону, вони проходять механічну підготовку у водному середовищі – так масне зване розмелювання. Це одна з ключових технологічних операцій, що визначає характеристики кінцевого матеріалу. Процес є надзвичайно енергоємним: у деяких випадках на нього припадає до 60–70% від загального енергоспоживання виробництва. Якщо волокна не піддаються достатній обробці, вони погано розділяються, утворюють згустки та не формують достатніх зв'язків між собою в структурі готового паперу [3].

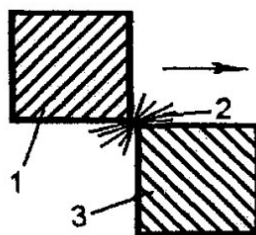


Рисунок 3 – Схема розмелювання:

1 – ніж ротора; 2 – волокна; 3 – ніж статора

У ході розмелювання відбувається не лише механічне подрібнення, але й фізико-хімічна трансформація волокон. Вода, що взаємодіє з целюлозою, активізує внутрішні процеси, які сприяють утворенню міжволоконних з'єднань. З технічної точки зору розмелювання проходить кілька умовних фаз.

На першій – слабшають внутрішні міжмолекулярні зв'язки у клітинній стінці, утворюються мікротріщини, куди проникає вода. Це, своєю чергою, полегшує подальшу модифікацію структури волокна.

У наступній фазі руйнуються зовнішні шари клітини – S1 і частково S2 – разом із первинною стінкою, що демонструє на рисунку 1.2.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

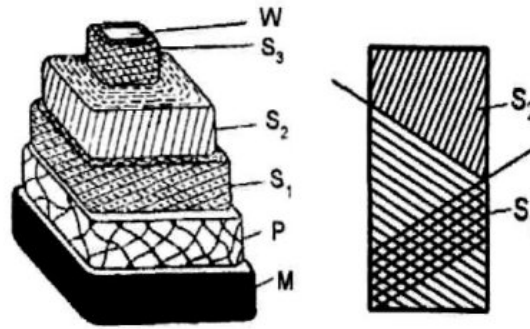


Рисунок 4 – Схема анатомічної будови клітинної стінки волокна хвойної деревини: М – серединна пластинка; Р – первинна стінка; S – вторинна стінка; W – порожнина

Після зняття поверхневих шарів починається процес набухання стінки S2 у зонах порушеної структури. Вода, проникаючи у волокно, спричиняє його внутрішнє фібрилювання – тобто перебудову мікрофібрил всередині стінки без втрати її міцності. Завершальний етап включає зовнішнє фібрилювання: на поверхні волокна утворюються фібрили, що збільшують активну площу контакту та кількість вільних гідроксильних груп. Проте інтенсивне зовнішнє фібрилювання може негативно вплинути на цілісність самого волокна.

Зовнішнє й внутрішнє фібрилювання нерозривно пов'язані й найчастіше відбуваються паралельно. Поряд з цим волокна зазнають укорочення, яке можна порівняти з їх багаторазовим "механічним надрізанням". Вважається, що жорсткі волокна переважно фібрилюються, а м'які – скорочуються, хоча насправді характер змін значною мірою залежить від режиму обробки.

У процесі також утворюється дріб'язок – дрібні фрагменти волокна, що не мають усталеної класифікації. Довгі волокна формують структурну основу майбутнього листа, а дріб'язок – заповнює його порожнини. Проте надлишок таких частинок може знизити ефективність процесу зневоднення паперової маси.

Примітно, що ледь частина енергії, витраченої на розмелювання, йде на нагрів волокнистої суспензії, а не на власне розрив молекулярних зв'язків. За оцінками, на дійсне руйнування фібрилярних з'єднань припадає менше одного відсотка всієї витраченої енергії.

У сучасному виробництві найчастіше застосовують розмелювальні

машини з ножовим принципом дії, такі як дискові або модифіковані конічні млини. Безножові варіанти теж існують, проте значно поступаються в ефективності [4].

Теорія формування на сітці

Процес зневоднювання маси на сітці за своєю фізичною сутністю є процесом фільтрації, при якому видаляється до 97 % води, що міститься в суспензії. Однак у даному випадку важливе значення надається не тільки видаленню води, але і структурі утворюваного волокнистого фільтрувального шару, що залежить від швидкості та умов зневоднювання на порівняно короткій ділянці сіткового столу. Чим швидше видалиться вода, тим важче одержати якісне полотно паперу і картону. Формування полотна може здійснюватися на одній сітці або між двома сітками.

На початку сіткового столу знаходиться грудний вал діаметром 400 – 1000 мм, облицьований твердою гумою. Зазвичай грудний вал приводиться в обертання за рахунок тертя з сіткою, однак на швидкохідних машинах він має самостійний привод.

Для зменшення швидкості зневоднювання на початку сіткового столу, регулювання процесу лиття полотна, а також для усунення прогину сітки, після грудного вала встановлюється формувальна дошка або формувальний ящик, що має отвір для видалення води. Довгий час основними зневоднювальними елементами сіткового столу були реєстрові валики, видалення води на яких відбувалося під дією вакууму, що виникає в клиновому зазорі між валиком і сіткою зі збігаючого боку. При роботі валиків частина видаленої з маси води потрапляє в зазор між валиком і набігаючим боком сітки і знову надходить через сітку в масу, створюючи при цьому короточасний імпульс тиску. Отже, при використанні реєстрових валиків зневоднювання маси протікає під впливом тиску і розрідження. З підвищенням швидкості машини різко збільшуються вакуум і тиск, створювані реєстровими валиками, що призводить до погіршення умов формування полотна паперу та картону. Тому, у цьому випадку, особливо на початку сіткового столу, використовують реєстрові валики з кільцевими

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

канавками, що дозволяють до деякої міри зменшити зазначений недолік.

На сьогодні на більшості сучасних машин за основні зневоднювальні елементи замість реєстрових валиків використовують гідропланки, що являють собою різновид шабера, встановлюваного під кутом $1 - 4^\circ$ до сітки. Передньою крайкою шабера (гідропланки), що має кут близько 30° , знімається плівка води, що утримується під сіткою силами поверхневого натягу, а також видаляється значна частина води з волокнистого шару внаслідок невеликого розрідження, що виникає в клині між сіткою і похилою поверхнею гідропланки.

Величина вакууму, створюваного гідропланками, у 2 – 5 разів менша, у порівнянні з реєстровими валиками, а зусилля від тиску в 20 – 25 разів менше. Внаслідок цього гідропланки створюють кращі умови для формування якісного полотна і, крім того, при їхній роботі з водою, що видаляється, на 30 – 60 % менше іде дрібного волокна, наповнювачів і інших добавок, що має важливе значення для якості готової продукції та економіки її виробництва.

Розрідження, створюване гідропланками, можна регулювати, змінюючи кут їхнього нахилу до сітки; воно зростає по ходу полотна. Зневоднювальна дія однієї гідропланки значно менша, ніж реєстрового валика, однак унаслідок того, що замість реєстрових валиків на тій же ділянці сіткового столу можна розмістити більшу кількість гідропланок, здатність сіткового столу в цілому зростає. Зазвичай загальна ширина гідропланки становить 50 – 120 мм, співвідношення між горизонтальною і похилою частиною знаходиться в межах $1 : 3 - 1 : 2$. Однак довжина похилої частини, виходячи з інших умов, становить не менше 30 мм, а відстань між гідропланками – 150 – 400 мм. Зазвичай на початку сіткового столу гідропланки встановлюють з меншим кроком. Гідропланки часто компонують в окремі ящики з вмістом 3 – 6 і більше окремих гідропланок, завдяки чому утворюється більш жорстка конструкція, у якій можна створювати додатковий вакуум.

Для підвищення зносостійкості і зменшення тертя з сіткою гідропланки виготовляють з високомолекулярного поліетилену зі зносостійкими вставками завширшки 10 – 12 мм із нержавіючої сталі з покриттям з карбіду вольфраму.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосовуються також гідропланки, виготовлені з оксидної кераміки, з покриттями з оксиду алюмінію тощо.

Якщо сітковий стіл машини оснастити другим напірним ящиком, установивши його в місці розташування перших відсмоктувальних ящиків, то на вже сформований основний шар паперу або картону можна нанести другий (покривний) шар цілком іншої композиції і таким чином одержати двошарове полотно паперу або картону з високою міжшаровою міцністю та іншими гарними показниками якості. У цьому випадку для основного шару зазвичай використовуються менш дефіцитні напівфабрикати, ніж: для покривного, що дає можливість поліпшити споживчі властивості вироблюваної продукції і знизити її вартість.

Наприкінці зони формування перед "водяною лінією" за гідропланками в якості зневоднювальних елементів зараз широко використовують мокрі відсмоктувальні ящики, у яких створюється невеликий і легко регульований вакуум (2 – 7 кПа) за рахунок сифона води, що видаляється, а також підключення їх до вакуумної системи звичайних відсмоктувальних ящиків. Між мокрими відсмоктувальними ящиками рекомендується встановлювати декілька реєстрових валиків, що, завдяки створюваному ними імпульсу тиску, злегка розпушують ущільнений волокнистий шар і підвищують ефективність роботи відсмоктувальних ящиків.

Наприкінці сіткового столу, після досягнення сухості полотна 2,5 – 3,0 %, подальше зневоднювання його до сухості 10 – 14 % здійснюється на відсмоктувальних ящиках під впливом вакууму, створюваного вакуумними насосами або турбоповітродувками; величина вакууму поступово підвищується від першого до наступних ящиків і становить 2 – 30 кПа. З підвищенням вакууму інтенсивність зневоднювання зростає, однак при цьому збільшується маркування полотна сіткою, а також підвищується вимий дрібного волокна і наповнювача, внаслідок чого якість паперу і картону погіршується.

Після відсмоктувальних ящиків подальше зневоднювання паперового і картонного полотна до сухості 17 – 25 % здійснюється на відсмоктувальному

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гауч-валі під дією вакууму, що досягає 50 – 80 кПа.

Застосовуються гауч-вали камерного і коміркового типів.

Відсмоктувальний гауч-вал камерного типу складається з обертового перфорованого циліндра, усередині якого знаходиться нерухомо одна, дві або три відсмоктувальні камери. Для збільшення площі відсмоктування, отвори вала, що мають діаметр 6 – 8 мм, роззенковують із зовнішнього боку на глибину до 5 мм. Живий перетин отворів без врахування зенківки становить 20 – 25 %, а із зенківкою – 50 – 60 % від площі поверхні циліндра. Для зменшення шуму отвори рекомендується розташовувати по спіралі.

Ширина камер і їхня кількість залежать від виду вироблюваної продукції і швидкості машини. На тихохідних машинах застосовують однокамерні вали з камерою завширшки до 180 мм. При швидкості машини більше 300 м/хв установлюють дві камери, що дозволяє проводити зневоднювання з наростаючим вакуумом, а це позитивно позначається на якості одержуваного полотна паперу і картону, а також сприяє зниженню витрат енергії на створення вакууму. У цьому випадку в першій, більш широкій камері застосовують менший вакуум (40 – 55 кПа), а в другій, вузькій - більш високий (70 – 80 кПа). Двокамерні вали мають загальну ширину камер до 400 мм, перша камера в 1,5 – 2 рази ширша другої. При установці трьох камер остання не зв'язана з полотном паперу і картону, а служить для видалення води з отворів сорочки вала. Оптимальне розташування камер визначається в процесі роботи машини, їх поворот можна здійснювати за допомогою спеціального механізму.

Іноді на гауч-валі над відсмоктувальною камерою встановлюють притискний валик, що ущільнює полотно, а також сприяє збільшенню його сухості на 1 – 1,5 % і підвищенню міцності у вологому стані. Останнім часом усе частіше встановлюють притискний вал із сукном, що дозволяє збільшити тиск до 10 – 13 кН/м і одержати сухість полотна до 26 ... 29 %.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теорія процесу пресування

На процес зневоднювання вологого полотна паперу і картону в пресовій частині машини і на властивості готової продукції впливають багато конструктивних і технологічних чинників, серед яких найважливішими є: якість сукон і тип застосовуваних пресів, питомий тиск при пресуванні, композиція паперової маси і ступінь її млива, температура полотна, швидкість машини тощо.

Відносний вплив деяких із перерахованих чинників на зміну сухості полотна при пресуванні АС може бути виражений рівнянням Бойд-Кемпбелла,

$$\Delta C = \frac{P_{cp} \tau}{g^2 S^2 \mu},$$

де P_{cp} - середній питомий тиск між валами в зоні пресування, Па;

τ - час пресування, с;

g - маса 1 м² полотна, кг;

S - питома поверхня волокон (відношення їхньої загальної поверхні до об'єму), м²/м³;

μ - в'язкість води при температурі пресування, Па.с.

З наведеного рівняння випливає, що підвищення сухості полотна при його пресуванні прямо пропорційне питомому тиску і часу пресування та зворотно пропорційне квадрату маси 1 м² полотна, квадрату питомої поверхні паперової маси і в'язкості води в процесі пресування. З підвищенням питомого тиску збільшується не тільки сухість полотна, але й підвищується його щільність, зростають показники механічної міцності внаслідок кращого контакту між волокнами і підвищення міжволоконних зв'язків, знижується пористість.

Питомий тиск при пресуванні залежить від лінійного тиску між валами і ширини зони їхнього контакту. Величина питомого тиску при пресуванні обмежується сухістю пресованого полотна і його міцністю у вологому стані, фільтрувальною здатністю сукон і типом пресів. У міру підвищення сухості полотна, тобто від першого до наступних пресів, лінійний тиск при виробництві різного виду паперу і картону поступово підвищується та у залежності від типу

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пресів може досягати 350 – 1100 кН/м

З підвищенням швидкості машини зневоднювання полотна на пресах погіршується, тому що зменшується час пресування і помітніший вплив на цей процес здійснює сила інерції руху віджатої води, особливо в пресах із подовжньою її фільтрацією. Конструкції сучасних пресів із подовженою зоною пресування дозволяють збільшити час пресування в порівнянні з іншими пресами в 5 – 6 разів і завдяки цьому досягти сухості на сучасних машинах до 50 – 55 %.

Швидкість зневоднювання паперового і картонного полотна на пресах, так, як і в інших випадках технологічного процесу виробництва паперу і картону, залежить від композиції і ступеня млива маси. Целюлозні добре розмелені волокна, що мають на своїй поверхні велику кількість вільних гідроксильних груп, міцніше утримують воду» ніж волокна деревної маси аналогічного ступеня млива, тому що в останніх багато гідроксильних груп покриті лігніном і недоступні до адсорбції на них води.

Оскільки з підвищенням температури пресованого полотна помітно знижуються в'язкість і поверхневий натяг води, то природно, що у цьому випадку вона легше видалиться на пресах. На практиці часто температуру паперового полотна в мокрій частині машини підвищують за рахунок більш повного використання оборотної води і рекуперації тепла від сушильної частини машини, а в деяких випадках завдяки додатковому підігріву полотна перед пресами. Однак з підвищенням температури полотна при пресуванні збільшується його маркування тканиною сукна, тому для усунення зазначеного недоліку бажано в даному випадку використовувати

голкопробивні сукна, що мають гладку поверхню, а наприкінці пресової частини встановлювати прес без сукна, тобто офсетний прес.

З наведеного вище рівняння випливає, що чим вища маса 1 м² паперу і картону, тим важче вони зневоднюються на пресах, тому пресування товстого картону вимагає ретельного дотримання режиму пресування. У цьому випадку дуже ефективними є преси з двома сукнами в зоні захоплення і преси з

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подовженою зоною пресування, з підігрівом полотна перед ними до температури 60 – 80 °С. Гаряче пресування частіше за все застосовується на картоноробних машинах і преспатах.

Відносний вплив маси 1 м² полотна паперу і картону на процес зневоднювання в пресах, представлений наведеним вище рівнянням, справедливий лише для товстих їхніх видів. Зі зниженням маси 1 м² полотна менше ніж на 200 г спостерігається зниження його сухості, що пояснюється в основному зворотним ходом вологи із сукна в полотно за рахунок капілярних сил усмоктування при виході з зони пресування. Причому, це збільшення може бути особливо помітним при виробництві тонкого щільного паперу з маси жирного млива, що має дуже дрібні капіляри.

З метою зменшення зворотного переходу вологи із сукна в полотно останнє слід відразу ж після виходу з зони пресування відокремлювати від сукна, пропускаючи його через спеціальний папероведучий валик.

Натяг паперового і картонного полотна між пресами дуже впливає на роботу машини і на властивості готової продукції. При надмірному натягу полотна збільшується анізотропія його механічних властивостей, тому що волокна нерідко є переважно орієнтовані в машинному напрямку; тому по ходу машини знижується розтяжність полотна, і можливі його обриви. При відсутності натягу полотно провисає, що також нерідко є причиною його обривів через утворення складок. Натяг полотна між пресами повинен бути таким, щоб полотно не витягалось і не утворювало складок.

Великий вплив на процес зневоднювання полотна в пресах і на якість готової продукції має також рівномірність розподілу тиску між пресами по ширині машини. Цей показник залежить від стану еластичного облицювання валів і його бомбування, характеристики сукон, їхньої чистоти, вологості, ступеня зносу і дотримання правил експлуатації.

У процесі проходження вологого паперового і картонного полотна через прес можна виділити чотири фази його зневоднювання.

У фазі I полотно проходить на сукну шлях від місця контакту сукна з

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нижнім валом до входу в зону пресування. На цій ділянці сухість полотна знижується внаслідок часткового переходу в нього вологи із сукна за рахунок капілярних сил усмоктування. Після входу в зону пресування з початку контакту валів до середини цієї зони (фаза II) полотно і сукно стискаються і товщина їх зменшується за рахунок витиснення з їхніх пор спочатку повітря, а потім води. У зоні пресування сукно сухіше, ніж полотно, і під дією виникаючого тут гідравлічного тиску вода йде від полотна в сукно, а далі різними шляхами в залежності від конструкції преса. При цьому слід зазначити, що чим менша вологість сукна, що входить у зону пресування, і чим більше воно може ввібрати в себе води в стиснутому стані, тим ефективнішим буде процес зневоднювання полотна і робота преса в цілому.

На вихідній стороні зони контакту пресових валів (фаза III) тиск поступово знижується і сукно разом з полотном починає розширюватися, у результаті чого виникає короткочасний вакуум у порах сукна, за рахунок якого можливо часткове подальше підвищення сухості полотна. Однак у III і IV фазах відбувається підвищення вологості полотна за рахунок часткового переходу туди вологи із сукна під дією капілярних сил, тому що розмір пор у сукні значно більший, ніж у вологому полотні картону, а розмір цих сил зворотно пропорційний діаметру пор.

Теорія процесу сушіння

Сушіння паперового полотна — це не лише завершальний етап видалення залишкової вологи, а й ключова стадія, в якій формуються кінцеві властивості паперу. У процесі випаровування води під впливом температури між волокнами відбувається зближення, зумовлене дією сил поверхневого натягу, що сприяє утворенню водневих міжволоконних зв'язків. Саме ці зв'язки визначають щільність, міцність та стабільність паперової структури. Паралельно в полотні завершуються процеси проклеювання, зокрема гідрофобізація відповідних компонентів, а також полімеризація речовин, що забезпечують бар'єрні властивості до вологи та жирів.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найпоширенішим методом сушіння є контактний спосіб, при якому тепло передається безпосередньо через поверхню сушильних циліндрів, нагрітих насиченою парою. Полотно чергомірно проходить між ними, контактує з гарячими поверхнями з обох боків і водночас піддається впливу повітряного потоку в проміжках між контактами, що забезпечує поєднання контактної та конвективної теплопередачі. Тривалість одного такого циклу вимірюється частками секунди та залежить від конструктивних параметрів сушильної секції й швидкості машини.

Волога, що утримується в паперовому полотні, поділяється на вільну та зв'язану. Перша локалізується у міжволоконних проміжках і капілярах, тоді як друга – зв'язана з гідроксильними групами волокон за допомогою водневих зв'язків. Особливо сильно утримується волога у першому молекулярному шарі, де її густина може сягати $2,5 \text{ г/см}^3$, а температура повного видалення – перевищувати 150°C . Обсяг зв'язаної води залежить від хімічного складу волокон і ступеня млива: при високому вмісті геміцелюлоз і глибокому мливі її частка може становити понад 30% маси абсолютно сухого волокна.

Процес сушіння охоплює кілька характерних фаз: початковий прогрів, період стабільного випаровування та етап зі зниженням швидкості випаровування (рис. 1.3).



Рисунок 5 – Криві зміни вологості полотна і його температури по стадіях сушіння: 1 – вологість полотна; 2 – температура полотна; I – період нагрівання; II – сушіння з постійною швидкістю; III – сушіння зі зменшуваною швидкістю

На початковій стадії (відрізок АВ) у зоні дотику полотна до гарячого

циліндра пара частково проникає в його товщу, конденсується й передає тепло внутрішнім шарам матеріалу. Цей етап триває недовго – до 10% загального часу сушіння – і завершується, коли температура поверхні досягає точки насичення.

У періоді II (відрізок BC) волога випаровується з постійною швидкістю: це фаза видалення вільної води, коли температура полотна наближається до температури вологого термометра і не перевищує 100 °С. На цей період припадає до 65% часу сушіння.

Починаючи з точки C, процес переходить у фазу III – сушіння зі зменшуваною швидкістю. У цій фазі температура полотна зростає, а видалення вологи ускладнюється через її зв'язаний стан у капілярно-пористій структурі волокон. Подальше сушіння зумовлене дифузією вологи з глибших шарів до поверхні. Цей процес визначається рядом факторів: товщиною та щільністю полотна, його структурою, типом волокна, а також наявністю наповнювачів, клеїв та інших функціональних добавок.

По досягненню рівноважної вологості (6 – 7 %) швидкість випаровування практично припиняється, а температура полотна наближається до температури сушильних циліндрів. Надлишкове сушіння на цій стадії може спричинити деградацію целюлозних волокон, втрату їх еластичності, а отже – погіршення механічних і бар'єрних властивостей готового паперу.

Температурний режим має ключове значення також і для проклеювання: оптимальна температура сприяє повноцінній гідрофобізації поверхні, тоді як надмірне висушування нижче критичного рівня вологості призводить до дегідратації й зниження міцності. Впливаючи на натяг полотна та температуру сушіння, можна цілеспрямовано регулювати такі параметри, як пористість, щільність, гладкість і міцність паперу. Зокрема, інтенсивне нагрівання спричиняє розширення структури, тоді як поступове — сприяє її ущільненню. Саме тому кожен вид паперу потребує строго контрольованого, адаптованого до рецептури й умов виробництва теплового режиму .

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

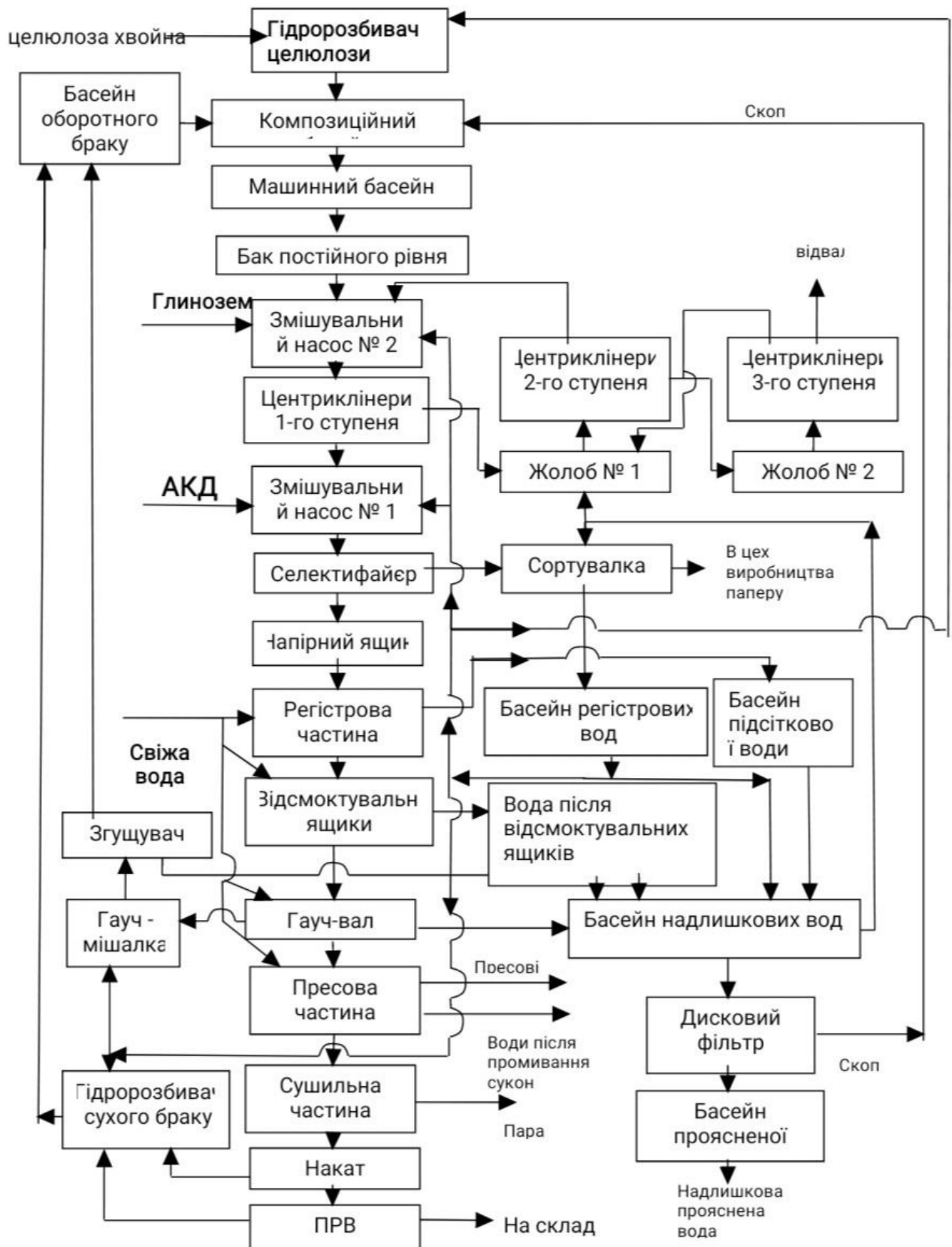


Рисунок 6 – Блок-схема виробництва картону

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Арк.

34

3. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРЕБИ В СИРОВИННИХ РЕСУРСАХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КАРТОНУ

3.1 Матеріальний баланс води і волокна

3.1.2 Вихідні дані для розрахунку матеріального балансу

Вихідні дані до розрахунку матеріального балансу наведено в табл. 3.1.

Таблиця 1.5 – Вихідні дані матеріального балансу

Найменування статей	Вихідні дані
1. Концентрація маси на різних стадіях виробництва, %	
На накаті	93,0
Після пресів	48,0
Після гауч-вала	21,0
Після відсмоктувальних ящиків	12,0
Після реєстрової частини	3,5
У напірному ящику	0,4
У баці постійного рівня	3,5
У композиційному басейні	3,5
У машинному басейні	3,5
У басейні оборотного браку	3,5
Скоп після дискового фільтра	3,5
Згущувач мокрого браку	3,5
Гідророзбивач сухого браку	3,5
Гідророзбивач целюлози	3,5
Гауч-мішалка	0,8
Басейн оборотного браку	3,5
Після селективфайера	0,4
Після змішувального насоса №1	0,4
Після змішувального насоса №2	0,73
Після центриклинерів I ступеня	0,7
Після центриклинерів II ступеня	0,4

2. Концентрація відхідних вод, %

Регістрова вода	0,12
Підсіткові води	0,003
Відсмоктувальних ящиків	0,1

Продовження таблиці 1.5

Найменування статей	Вихідні дані
Пресові води	0,10
Від промивання сітки	0,004
Від промивання сукон	0,001
Прояснених вод після дискового фільтра	0,001
У басейні надлишкових вод	0,20
Від плоскої сортувалки	0,8
Згущувача мокрого браку	0,04

3. Витрата свіжої та надлишкової води, л/т паперу

Свіжа вода на промивання сіток	12000,0
Свіжа вода на спорски і відсічки відсмоктувальних ящиків	7960,0
Свіжа вода на промивання сукон	6500,0
Свіжа вода на відсічки на гауч-валі	2230,0
Надлишкова вода на сортувалку	850,0

4. Витрата хімікатів, л/т паперу

5. Кількість браку, % від маси паперу

У процесі оброблення паперу	1,0
На накаті	1,12
У процесі сушіння паперу	1,33
Мокрий брак	1,82
Після гауч-вала	1,2

6. Композиція паперу, %

Целюлоза хвойна не вибілена	100

7. Концентрація відходів сортування, %

Відходи селективфайера	1,1
------------------------	-----

Центриклинерів I ступеня	1,0
Центриклинерів II ступеня	0,7
Центриклинерів III ступеня	0,67

3.1.3 Розрахунок матеріального балансу

Розрахунок матеріального балансу волокна і води проводимо, прив'язуючись до блоків і водопотоків блок-схеми (рис. 2.1), за методикою наведеною в [5].

Склад готової продукції

На склад поступає 1000 кг картону із заданою сухістю 93%.

Отже, в ньому міститься:

- абсолютно—сухого волокна $1000 \cdot 0,93 = 930$ кг,
- води $1000 - 930 = 70$ кг.

Повздовжньо-поперечно різальний верстат

З урахуванням 1% браку, що утворюється під час оброблення картону ($1000 \cdot 0,01 = 10$ кг) та надходить до гідророзбивача сухого браку, на ПРВ повинно поступити $1000 + 10 = 1010$ кг. У картоні, що проходить через ПРВ міститься:

- абсолютно—сухого волокна $1010 \cdot 0,93 = 939,3$ кг,
- води $1010 - 939,3 = 70,70$ кг.

Накат

З урахуванням 1,12 % браку, що утворюється під час намотування картону ($1000 \cdot 0,0112 = 11,2$ кг) та надходить до гідророзбивача сухого браку, на накат повинно надійти $1010 + 11,2 = 1021,2$ кг п/с картону. З урахуванням вологи, в картоні, що проходить через накат, міститься:

- абсолютно—сухого волокна $1021,2 \cdot 0,93 = 949,72$ кг,
- води $1021,2 - 949,72 = 71,48$ кг

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сушильна частина



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Після пресів	2004,34	48,00	962,09	1042,26
Надійшло(всього)	2004,34		962,09	1042,26
На накат	1021,20	93,00	949,72	71,48
Втрати пару	969,84	0,00	0,00	969,84
У г/розб.сух.браку	13,30	93,00	12,37	0,93
Пішло (всього)	2004,34		962,09	1042,26

Пресова частина



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Після гауч-вала	4635,71	21,00	973,5	3662,21
Св.вода на пр.сукон	6500,00	0,00	0,00	6500,00
Надійшло(всього)	11135,71		973,5	10162,21
На сушіння	2004,34	48,00	962,09	1042,26
Пресові води	2613,17	0,1000	2,61	2610,55
Води в/пром.сукон	6500,00	0,0010	0,07	6499,94
В г/зміш.мокр.браку	18,2	48,00	8,74	9,46
Пішло (всього)	11135,71		973,50	10162,21

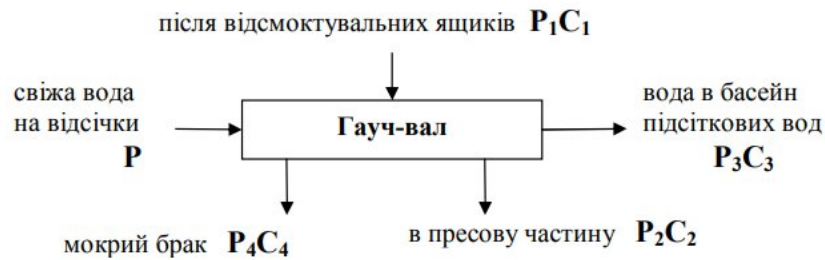
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Арк.

38

Гауч-вал



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Після відсм.ящиків	8134,92	12,00	976,19	7158,73
Св.вода на відсічки	2230,00	0,00	0,00	2230,00
Надійшло(всього)	10364,92		976,19	9388,73
На пресову.частину	4635,71	21,00	973,50	3662,21
Води від гауч-вала	5717,21	0,0030	0,17	5717,04
У г/зміш.мокр.браку	12,00	21,00	2,52	9,48
Пішло (всього)	10364,92		976,19	9388,73

Відсмоктувальні ящики



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Після реєстр.частини	28706,35	3,50	1004,72	27701,62
Св.вода на відсічки	7960,00	0,00	0,00	7960,00
Надійшло(всього)	36666,35		1004,72	35661,62
На гауч-вал	8134,92	12,00	976,19	7158,73
Води в бас.відсм.води	28531,42	0,1000	28,53	28502,89
Пішло (всього)	36666,35		1004,72	35661,62

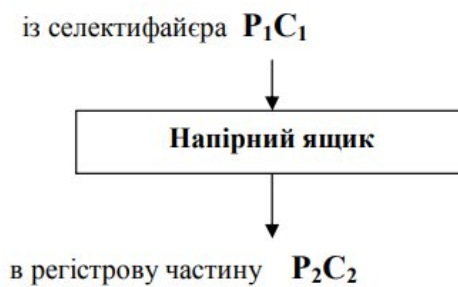
Регістрова частина

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Після н.ящика	346698,03	0,40	1386,79	345311,24
Свіжа вода на пром.сітки	12000,00	0,000	0,00	12000,00
Надійшло(всього)	358698,03	3,5	1386,79	357311,24
На відсм.ящики	28706,35	3,50	1004,72	27701,62
Регістрові води	317991,69	0,1200	381,59	317610,10
Підсіткові води	12000,00	0,0040	0,48	11999,52
Пішло (всього)	358698,03		1386,79	357311,24

Напірний ящик

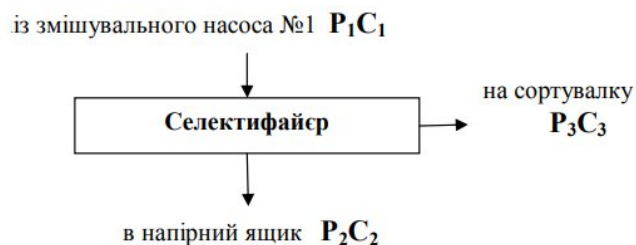


$$P_2 = 346698,03 \text{ кг}; C_2 = 0,4 \text{ \%}.$$

Зважаючи на те, що в напірному ящику не відбувається зміни потоків маси та їх концентрації, можна записати, що:

$$P_1 = 346698,03 \text{ кг}; C_1 = 0,4 \text{ \%}.$$

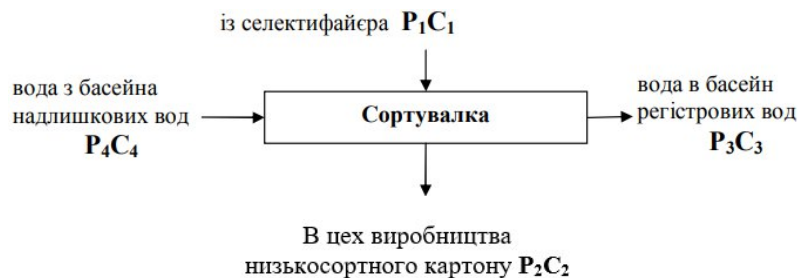
Селективфайєр



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
--------------	----------	-----------------	-------------	----------

Після зміш.нас.№1	350165,01	0,4069	1424,93	348740,08
Надійшло(всього)	350165,01		1424,93	348740,08
На н/ящик	346698,03	0,4000	1386,79	345311,24
На плоску сортувал.	3466,98	1,1000	38,14	3428,84
Пішло (всього)	350165,01		1424,93	348740,08

Сортувалка



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
З бас.надлишк.вод	850,00	0,0697	0,59	849,41
Після селективфайєра	3466,98	1,1000	38,14	3428,84
Надійшло(всього)	4316,98		38,73	4278,25
У бас.регістр.вод	4054,87	0,8000	32,44	4022,43
У цех виробн.картону	262,11	2,4000	6,29	255,82
Пішло (всього)	4316,98		38,73	4278,25

Змішувальний насос №1



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Регістова вода	179586,57	0,1286	230,88	179355,69
Після центрикл. Іст.	170578,45	0,7000	1194,05	169384,40
Надійшло(всього)	350165,01		1424,93	348740,08
На селективфайєр	350165,01	0,4069	1424,93	348740,08
Пішло (всього)	350165,01		1424,93	348740,08

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Арк.

41

Центриклинери I ступеня

із змішувального насоса №2 P_1C_1



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Після зміш.насоса №2	189531,61	0,7300	1383,58	188148,03
Надійшло(всього)	189531,61		1383,58	188148,03
На змішув.насос №1	170578,45	0,7000	1194,05	169384,40
На центрикл. II і III ст.	18953,16	1,0000	189,53	18763,63
Пішло (всього)	189531,61		1383,58	188148,03

Центриклинери II і III ступеня



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Після центрикл. I ст.	18953,16	1,0000	189,53	18763,63
Надлиш.вода в жолоб I і II	34311,31	0,0697	23,93	34287,38
Надійшло(всього)	53264,47		213,46	53051,01
В змішув.насос №2	53114,47	0,4000	212,46	52902,01
Відходи у відвал	150,00	0,6700	1,01	149,00
Пішло (всього)	53264,47		213,46	53051,01

Змішувальний насос № 2



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Регістова вода	106882,49	0,1286	137,41	106745,08
Від центриклин. II ст.	53114,47	0,4000	212,46	52902,01
З БПР	29534,65	3,5000	1033,71	28500,94

Надійшло(всього)	189531,61		1383,58	188148,03
На центрик. І ст.	189531,61	0,7300	1383,58	188148,03
Пішло (всього)	189531,61		1383,58	188148,03

Бак постійного рівня



$$P_2 = 29534,65 \text{ кг}; C_2 = 3,5 \text{ \%}.$$

Зважаючи на те, що в баку постійного рівня не відбувається зміни потоків маси та їх концентрації, можна записати, що:

$$P_1 = 29534,65 \text{ кг}; C_1 = 3,5 \text{ \%}.$$

Машинний басейн



$$P_2 = 29534,65 \text{ кг}; C_2 = 3,5 \text{ \%}.$$

Зважаючи на те, що в машинному басейні не відбувається зміни потоків маси та їх концентрації, можна записати, що:

$$P_1 = 29534,65 \text{ кг}; C_1 = 3,5 \text{ \%}.$$

Композиційний басейн



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Арк.

43

Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Із г/розбив.цел-зи	28217.34	3,5000	987,61	27229.73
Із басейна обіг.браку	1317,31	3,5000	46,11	1271,21
Скоп з диск.фільтра	359.11	3,5000	12,75	346.54
Надійшло(всього)	29534.65		1033,71	28500,94
У машинний басейн	29534,65	3,5000	1033,71	28500,94
Пішло (всього)	29534,65		1033,71	28500,94

Гідророзбивач целюлози



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Хв.цел-за зі складу	1082,64	88,00	952,72	129,92
Вода з бас.рег.вод	27134,70	0,1286	34,88	27099,81
Надійшло(всього)	28217,34		987,61	27229,73
У композиційний бас.	28217,34	3,50	987,61	27229,73
Пішло (всього)	28217,34		987,61	27229,73

Гідророзбивач сухого браку



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
З ПРС	10,00	93,00	9,30	0,70
З накату	11,20	93,00	10,42	0,78
З сушіння	13,30	93,00	12,37	0,93
З бас-на рег.вод	915,86	0,1286	1,18	914,68
Надійшло(всього)	950,36		33,26	917,09
У басейн обор.браку	950,36	3,5000	33,26	917,09
Пішло (всього)	950,36		33,26	917,09

Гауч-мішалка мокрого браку

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



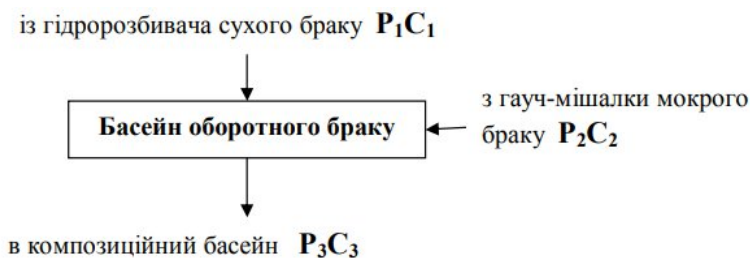
Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
З пресової частини	18,20	48,00	8,74	9,46
З гауч-вала	12,00	21,00	2,52	9,48
З бас-на рег.вод	1640,42	0,1286	2,11	1638,31
Надійшло(всього)	1670,62		13,36	1657,25
На згуш.мокрого браку	1670,62	0,8000	13,36	1657,25
Пiшло (всього)	1670,62		13,36	1657,25

Згушувач мокрого браку



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
Пiсля змiш.мокр.браку	1670,62	0,8000	13,36	1657,25
Надійшло(всього)	1670,62		13,36	1657,25
У басейн обор.браку	366,96	3,5000	12,84	354,11
У басейн надл.вод	1303,66	0,0400	0,52	1303,14
Пiшло (всього)	1670,62		13,36	1657,25

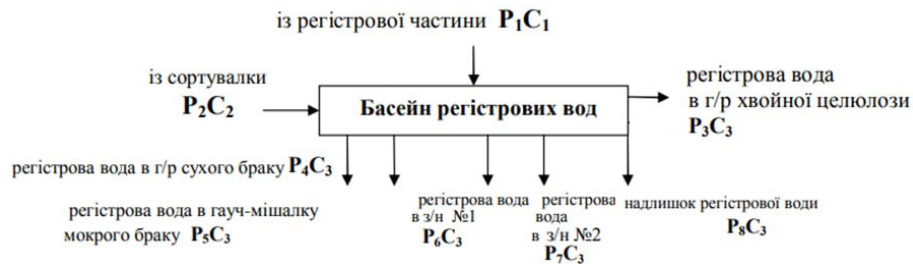
Басейн оборотного браку



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
--------------	----------	-----------------	-------------	----------

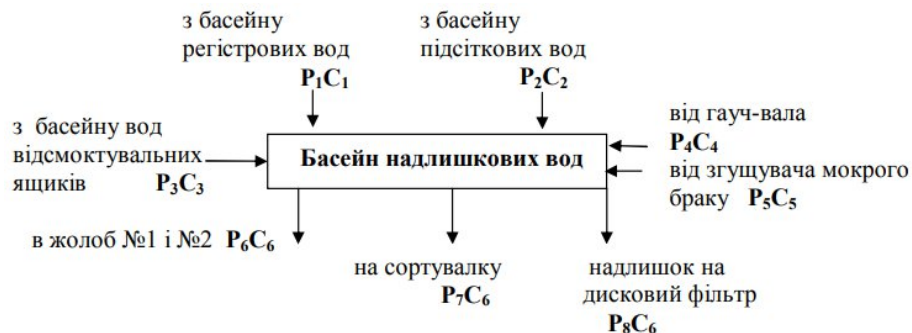
З г/розбив.сух.браку	950,36	3,50	33,26	917,09
Зі зміш.мокрого браку	366,96	3,50	12,84	354,11
Надійшло(всього)	1317,31		46,11	1271,21
У композиц.басейн	1317,31	3,50	46,11	1271,21
Пішло (всього)	1317,31		46,11	1271,21

Басейн реєстрових вод



Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
З реєстрової частини	317991,69	0,1200	381,59	317610,10
Від плоск.сортув.	4054,87	0,8000	32,44	4022,43
Надійшло(всього)	322046,55		414,03	321632,53
На зм.насос №1	179586,57	0,1286	230,88	179355,69
На зм.насос №2	106882,49	0,1286	137,41	106745,08
На г/розб. цел.	27134,70	0,1286	34,88	27099,81
На г/розб.сухого браку	915,86	0,1286	1,18	914,68
На зміш.мокр.браку	1640,42	0,1286	2,11	1638,31
У басейн надл.вод	5886,53	0,1286	7,57	5878,96
Пішло (всього)	322046,55		414,03	321632,53

Басейн надлишкових вод

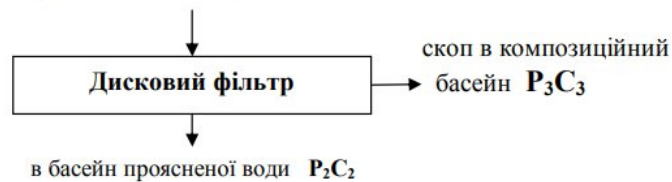


Найменування	Маса, кг	Концентрація, %	Волокно, кг	Вода, кг
З басейна рег.вод	5886,53	0,1286	7,57	5878,96
З басейна підсітк.вод	12000,00	0,0040	0,48	11999,52

З басейна вод відсм.ящ.	28531,42	0,1000	28,53	28502,89
Від гауч-вала	5717,21	0,0030	0,17	5717,04
Від стущ.мокр.браку	1303,66	0,0400	0,52	1303,14
Надійшло(всього)	53438,83		37,27	53401,55
У жолоб №1 і №2	34311,31	0,0697	23,93	34287,38
На сортувалку	850,00	0,0697	0,59	849,41
На дисковий фільтр	18277,52	0,0697	12,75	18264,77
Пішло (всього)	53438,83		37,27	53401,55

Дисковий фільтр

з басейну надлишкових вод P_1C_1



З басейну надл.вод	18277,52	0,0697	12,75	18264,77
Надійшло(всього)	18277,52		12,75	18264,77
У композиц.басейн	359,11	3,50	12,57	346,54
У басейн освітл.вод	17918,40	0,0010	0,18	17918,22
Пішло (всього)	18277,52		12,75	18264,77

Безповоротні втрати волокна

У табл. 3.2 наведено результати зведеного балансу води і волокна.

Для розрахунку безповоротних втрат волокна потрібно врахувати всі його втрати для даного виробництва. В даному випадку вони становлять:

$$952,72 - 930,0 = 22,72 \text{ кг.}$$

У такому випадку вимої волокна (ВВ) становлять:

$$ВВ = \frac{22,72 \cdot 100}{952,72} = 2,38\%.$$

3.1.4 Результати розрахунків

Таблиця 1.6 – Результати зведеного балансу води і волокна

Волокно (абс.сух.), кг	Надходження	Витрати
Хвойна целюлоза (невибілена)	952,72	
	Всього: 952,72	
Готова продукція		930,00
Відходи центриклинерів III ступеня		1,01
З пресовими водами		2,61
З водою після промивання сукон		0,07
З надлишковими водами		0,18
Відходи сортувалки		6,29
		Всього: 952,72
Вода, кг	Надходження	Витрати
З хвойною целюлозою	129,92	
З листяною целюлозою		и
Свіжа вода на промивання сіток	12000,00	
Свіжа вода на відсічки відсмоктувальних ящиків	7 960,00	
Свіжа вода на промивання сукна	6 500,00	
Свіжа вода на відсічки в гаучі	2 230,00	
	Всього: 28 819,92	
З готовою продукцією		70,00
З парою в процесі сушіння		969,84
З відходами центриклинерів III ступеня		149,00
З пресовими водами		2610,55
Вода після промивання сукон		6499,94
Надлишкові води		17918,22

З відходами сортувалки

255,82

Всього: 28 819,92

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.7 Тепловий баланс контактної сушіння

Розрахунок контактної сушіння паперу		
Вихідні дані		
Продуктивність, кг/год.	$G=$	5600
Початкова вологість матеріалу, %	$W_1=$	48
Кінцева вологість матеріалу, %	$W_2=$	7
Початкова температура матеріалу, °C	$t_1=$	20
Початкова температура повітря, °C	$\theta_1=$	15
Початкова вологість повітря, %	$F_1=$	0,5
Кінцева температура повітря, °C	$\theta_4=$	80
Кінцева вологість повітря, %	$F_2=$	0,9
Температура повітря після теплообмінників, °C	$\theta_2=$	30
Температура пари, що гріє, °C	$\theta_{\text{пар}}=$	150
Тепловий баланс сушіння		
Стаття приходу/витрати тепла		кДж/год
Прихід тепла		
1. З парою, що поступає в сушильні циліндри		13196629,31
2. З парою, що поступає в калорифер		1574057,364
3. Тепло використане в теплообміннику		530973,9513
Усього		15301660,62
Витрати тепла		
1. На підігрів матеріалу		1187027,692
2. На сушіння в 2-му, 3-му періодах		11733581,55
3. На втрати в навколишнє середовище		80164,25597
4. На втрати з невикористаним повітрям		53097,39513
5. На підігрів повітря в теплообмінниках		530973,9513
6. На втрати з повітрям йдуть		1893807,093
Усього		15478651,94

Продовження таблиці 1.7

Поверхня теплопередачі для сушіння, м ² Результати розрахунку	$F_{2,3}=$	190,0827742
Витрати пари в сушильній частині, кг/год.	$D_1=$	6011,063778
Загальна поверхня теплопередачі, м ²	$F=$	205,1561417
Витрати пари в калориферах, кг/год.	$D_2=$	716,9830254
Температура повітря на вході в суш. частини, °C	$\theta_3=$	74,46707866
Загальні витрати пари, кг/год.	$D=$	6728,046804
Температура матеріалу під час сушіння з пост,	$D_{уд}=$	1,201436929
Витрати пари на 1 кг матеріалу, кг/год.	$t_2=$	60
скор., °C	$L=$	35134,37115
Кількість повітря, що подається на сушіння, кг/год.	$t_4=$	78,9
Сер. Температура матеріалу під період У 2,3, °C	$L_9=$	38647,80826
Кількість свіжого повітря, кг/год.	$t_5=$	40
Сер. Температура матеріалу, °C	$F_1=$	15,07336752
Поверхня теплопередачі для підігріву в сушку, м ²	$t_3=$	113,55
Температура матеріалу після сушіння, °C		

4 ВИБІР ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1 Розрахунок продуктивності потоку

Для розрахунку продуктивності потоку, обираємо машину марки «М»

- обрізна ширина – 3000 мм;
- робоча швидкість – 540 м/хв;
- маса 1 м² полотна – 80 г.

Розрахунок продуктивності папероробної машини проведемо за наступною формулою:

$$Q = 0,06 \cdot B_0 \cdot v \cdot g \cdot \tau \cdot K_1 \cdot K_2,$$

0,06 – коефіцієнт для переведу хвилинної швидкості в годинну і маси листа, вираженого в г/м², в кг;

B_0 – обрізна ширина полотна, м;

v – швидкість машини, м/хв;

g – маса 1 м² полотна, г;

τ – час роботи машини, год;

K_1, K_2 – коефіцієнти, що враховують відповідно вільний хід машини ($K_1 = 0,95 - 0,98$) і використання максимальної робочої швидкості ($K_2 = 0,9$). Добуток $K_1 K_2$ характеризує коефіцієнт ефективності використання машини [4].

Годинна продуктивність. Під час виробництва ПАПЕРУ масою 1м² 80 г:

$$Q_{\Gamma} = 0,06 \cdot 3,0 \cdot 540 \cdot 80 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 0,9 = 6718 \text{ кг/год} \approx 6,7 \text{ т/год}.$$

Добова продуктивність, за умови, що корисний час роботи машини становить 22,5 год на добу:

$$Q_{\text{д}} = Q_{\Gamma} \cdot 22,5 = 6,7 \cdot 22,5 = 151 \text{ т/добу}.$$

Річна продуктивність, за умови, що машина працюватиме 345 днів на рік:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{д}} \cdot 71 = 151 \cdot 345 = 52095 \text{ т/рік}.$$

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Вибір обладнання відповідно до продуктивності

Гідророзбивач

Для розпускання целюлози обираємо гідророзбивач типу ГРВ-40 з наступною технічною характеристикою:

- продуктивність – 180 т/добу;
- об'єм ванни – 40 м³;
- потужність електродвигуна – 400 кВт.

$$\frac{Q_{\text{пот.}}}{Q_{\text{ГРВ}}} = \frac{151}{180} = 0,84$$

Використовуючи гідророзбивач ГРВ-40, маємо допустимий запас продуктивності 30 % [3].

Кількість сухого браку, що утворюється у сушильній частині та в процесі оброблення паперу дорівнює разом – 3,45 %. Отже, за добу утвориться $0,0345 \cdot 126 = 4,3$ т сухого браку. В якості гідророзбивача сухого браку обираємо ГРВ-06, що має таку технічну характеристику:

- продуктивність – 60 т/добу;
- об'єм ванни – 6 м³;
- потужність електродвигуна – 75 кВт [3].

Отже, для розпускання целюлози необхідно встановити один ГРВ-40, а для сухого браку – один ГРВ-6.

Дискові млини

За добовою продуктивністю для розмелювання целюлози обираємо здвоєні дискові млини МД-31, що має таку технічну характеристику:

- діаметр дисків – 1000 мм;
- частота обертання ротора – 600 хв⁻¹;
- робоча потужність – 500 кВт;
- потужність холостого ходу – 175 кВт;
- окружна швидкість ротора – 31,4 м/с;
- продуктивність – 50-200 т/добу;

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{Q_{\text{пот.}}}{Q_{\text{ГРВ}}} = \frac{151}{200} = 0,76$$

Використовуючи здвоєні дискові млини МД-31, маємо допустимий запас продуктивності 37%. [3]

Початковий ступінь млива целюлози сульфатної невібіленої хвойної становить 12 °ШР, кінцевий – 40 °ШР. Приріст ступеня млива на кожному млині дорівнює близько 10 °ШР. Таким чином кількість млинів становить:

$$\frac{\Delta \text{СП}_{\text{заг.}}}{\Delta \text{СП}_{\text{мл.}}} = \frac{40 - 12}{8} \approx 3$$

Отже, треба встановити послідовно 3 млина МД-31.

Масні басейни

Масні басейни бувають різні за призначенням та формою та додатковим обладнанням. Вибір басейна залежить від необхідного об'єму в потоці масопідготовки, який розраховується за формулою :

$$V = Q_{\text{год.}} \cdot P \cdot t \cdot K,$$

де $Q_{\text{год.}}$ – годинна продуктивність картоноробної машини, т/год;

P – кількість волокнистої суспензії в басейні м³/т картону;

t – час зберігання маси, год;

K – коефіцієнт, що враховує неповноту заповнення басейна (зазвичай $K = 1,2$) [7].

Згідно з [6], приймальні басейни повинні бути розраховані на 2 – 8 годинне зберігання маси. Найчастіше тривалість зберігання маси до та після розмелювання – 2 год, а маси в композиційному і машинному басейнах – 20 – 30 хв.

Приймальний басейн:

$$V = 6,7 \cdot 28,2 \cdot 2 \cdot 1,2 = 453 \text{ м}^3;$$

Композиційний та машинний басейни:

$$V = 6,7 \cdot 29,5 \cdot \frac{20}{60} \cdot 1,2 = 79 \text{ м}^3.$$

У відповідності з розрахованим об'ємом, обираємо басейни для

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймання маси після розпуску і розмелювання, з такими характеристиками:

- місткість – 176–550 м³;
- зовнішній діаметр 1500 мм;
- потужність електродвигуна – 55 кВт

А також басейни для складання композиції паперової маси та її акумулювання перед подачею на машину:

- місткість – 20 - 120 м³;
- діаметр пропелера – 750мм;
- потужність електродвигуна – 7,5 кВт [7].

Установка вихрових конічних очисників

Для очистки маси від важких включень, таких як пісок, металева стружка, обираємо установку УВК-180-02, що має таку технічну характеристику:

- продуктивність – 180 т/добу;
- пропускна здатність очисника – 400 л/хв;
- діаметр очисника – 160 мм;
- кількість очисників за стадіями: I – 76; II – 22; III – 4;
- кількість секцій I ступеня – 2;
- габаритні розміри, м: 6,14 x 5,82 x 3,15;
- маса з насосом та двигуном – 26,6 т [3].

$$\frac{Q_{\text{пот.}}}{Q_{\text{ГРВ}}} = \frac{151}{180} = 0,84$$

Використовуючи установку УВК-180-02, маємо допустимий запас продуктивності 30%.

Вузловловлювач

Для очищення маси від включень волокнистого характеру, таких як пучки, згустки, вузлики обираємо вузловловлювач УЗ-13, що має таку технічну характеристику:

- продуктивність – 60-200 т/добу;
- концентрація маси, що надходить – 1,3 %;
- максимальний тиск на виході – 0,5 мПа;
- потужність електродвигуна – 30 кВт;

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- частота обертів вала – 310 с^{-1} ;
- маса (без електродвигуна) – $3,0 \text{ кг}$ [7].

$$\frac{Q_{\text{пот.}}}{Q_{\text{ГРВ}}} = \frac{151}{200} = 0,76$$

Використовуючи вузловловлювач УЗ-13, маємо допустимий запас продуктивності 37% .

Сортувалка

Відходи, що поступають від вузловловлювача складають 1% від загальної маси потоку, що становить:

$$151 \cdot 0,01 = 1,51 \text{ т.}$$

Для її сортування обираємо плоску вібраційну сортувалку СВ-01, що має таку технічну характеристику:

- продуктивність – $20\text{-}30 \text{ т/добу}$;
- концентрація маси – $1\text{-}3 \%$;
- діаметр отворів сита – $1,6\text{--}2,3 \text{ мм}$;
- частота коливань сита – 1430 хв^{-1} ;
- потужність електродвигуна – 3 кВт
- площа поверхні сита – $1,25 \text{ м}^2$ [7].

Папероробна машина Виробництво продукції здійснюється на одній плоскості КОВІЙ папероробній машині марки «М» з одношаровим формуванням паперового полотна.

Ширина покривного полотна паперу – 2800 мм

Обрізна ширина полотна – 3000 мм .

Максимальна швидкість ПРМ – 600 м/хв .

Продуктивність – 52095 т/рік .

Формуюча частина

Напуск маси відбувається напірним ящиком закритого типу фірми РМР Intelі. Він призначений для плоскіткових паперо- і картробних машин,

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

придатний для будь-яких швидкостей та будь-якої ширини машини, маси 1 м² листа та виду продукції, легко встановлюється на діючій машині [7].

Згущувач

У процесі виробництва картону утворюється мокрий брак в кількості 3 %, від загального потоку, що становить:

$$350,5 \cdot 0,03 = 10,5 \text{ т.}$$

Для згущення маси обираємо згущувач СШ-06-01, що має таку технічну характеристику:

- продуктивність – 8-12 т/добу;
- концентрація волокна, що надходить – 0,4-1%;
- концентрація згущеного волокна – 5-7%;
- параметри сіткового циліндра: діаметр – 1,25 м; довжина – 1,50 м;
- площа бічної поверхні – 6 м²;
- частота обертання барабана – 12,8; 14,4; 16 об/хв;
- споживана потужність – 2,2 кВт [3].

Пульсаційний млин

У процесі виробництва картону утворюється сухий брак в кількості 3,45 %, від загального потоку, що становить:

$$350,5 \cdot 0,0345 = 12,1 \text{ т.}$$

Для дорозпуску маси обираємо пульсаційний млин МП-00, що має таку технічну характеристику:

- продуктивність – 5-25 т/добу;
- діаметр ротора – 190 мм;
- кількість робочих зон – 3;
- частота обертання ротора – 3000 об/хв [3].

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНЕ РІШЕННЯ БУДІВЛІ

Будівля картоноробного цеху – двоповерхова, із залізобетонним збірним каркасом, довжиною 144 м, шириною 33 м, висотою 24 м. Сітка колон на першому поверсі 6×6 м, на другому – 24×6 м та 9×6 м.

Колони залізобетонні прямокутного перерізу 700×400 мм; для кріплення панелей при торцевих стінах встановлено колони фахверку на другому поверсі, розміром 400×400 мм, кроком 6х6 м. Колони при торцевих стінах і поперечному деформаційному шві зміщені від поперечних розбивочних осей на 500 мм. Поперечний деформаційний шов передбачено через кожні 60 м.

Несучими конструкціями, окрім колон, на першому поверсі є залізобетонні ригелі 6 м та плити перекриття 3×6 м, на другому поверсі – залізобетонні ферми (для прогону 24 м) та балки (для прогону 9 м). Покриття зі збірних залізобетонних плит 3×6 м. Стіни складаються з навесних з панелей довжиною 6 м та 9 м, товщиною 300 мм.

У цеху встановлено два монтажних отвора розмірами 3х6 м. Для надання додаткового природнього освітлення та аерації приміщення по периметру будівлі передбачені вікна довжиною 3 м, висотою 2400 мм, на першому поверсі на висотній відмітці 1,2 м, на другому – 7,2 м.

У будівлі встановлено підйомний кран вантажопідйомністю 30 т, відмітка кранового рельсу складає 17 м. Кран розташований на підкранових балках, залізобетонних, двотаврового перерізу довжиною 6 м.

На першому поверсі розташовані басейни, насоси, гідророзбивачі, на другому ж – система конічних очисників, вузловловач, сортувалка, картоноробна машина, поздовжньо-різальний та пакувальний верстат. У цеху передбачено адміністративні, технологічні та побутові приміщення.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОХОРОНА ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ

Під час проєктування виробничих об'єктів важливе значення має створення безпечних і комфортних умов праці, а також впровадження ефективних заходів щодо мінімізації професійних ризиків. У дипломному проєкті, присвяченому удосконаленню технологічного потоку виробництва паперу для гофрування з первинного волокна на базі Житомирський картонний комбінат, значна увага приділена питанням охорони праці, техногенної безпеки та надійної експлуатації технологічного обладнання.

Основне виробниче приміщення цеху має площу 5580 м². Довжина будівлі 186 метра, висота –23,5 метра та ширина 30 метра. Аналіз умов праці дозволив визначити низку небезпечних і шкідливих чинників, характерних для даного виробництва. До них належать підвищений рівень шуму й вібрації від роботи машин та приводів, висока температура в зоні сушильних агрегатів, запиленість повітря целюлозними та волокнистими частинками, ризик ураження електричним струмом через використання високовольтного обладнання, а також пожежна небезпека, пов'язана з накопиченням паперового пилу.

Виробничі фактори виробництва

Умови роботи на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування і інших засобів виробництва, стан засобів колективного і індивідуального захисту, які використовуються працівниками, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Виробниче освітлення

У цеху з виробництва паперу застосовується природне і штучне освітлення. Природне освітлення односторонє, здійснюється в денний час доби через вікна цеху. Оскільки виробництво безперервне передбачене штучне освітлення в нічний та вечірній час доби. Для цього використовуються наступні види світильників:

1. Світильник світлодіодний LED -SVU-IU-L-04(70Вт)
2. Світильник світлодіодний з датчиком руху Ferron AL3009 12W
3. Світильник LED-SVU -IR-L-01(30Вт) FORTES

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У паперовому цеху виробничі операції поділяються переважно на V, IV, III, II **розряди зорової роботи**. Класифікація базується на розмірі об'єктів розрізнення (від 0,5 до >5 мм), контрасті з фоном та умовах перегляду:

V розряд (Мала точність):

Характеристика робіт: Завантаження сировини (макулатури, деревини), підготовка хімікатів та розчинів, транспортування рулонів, обслуговування насосно-вакуумного обладнання та допоміжних механізмів.

IV розряд (Середня точність):

Характеристика робіт: Обслуговування основних вузлів папероробної машини (сіткової, пресової частин), робота на намотувальних та бобінорізальних верстатах.

III розряд (Висока точність):

Характеристика робіт: Візуальний контроль якості паперового полотна, нагляд за рівномірністю нанесення покриття, регулювання роботи формувальних елементів машини.

II розряд (Дуже висока точність):

Характеристика робіт: Контроль дефектів (мікророзривів, вкраплень, товщини), лабораторні тести та аналізи готової паперової продукції.

Для рівномірного світлорозсіювання стіни забарвлені в світлі кольори згідно ДБН В.2.5-28:2018. Для контролю освітленості використовується люксометр – EVM-208 і портативний цифровий люксометр ТЭС 0693.

Контроль освітлення проводиться 2 рази на рік.

Виробничий шум і вібрації

На виробництві паперу для гофрування можлива дія:

- підвищеного рівня шуму на робочих місцях і в цеху;
- підвищеного рівня вібрації на робочих місцях;

Передбачений комплекс заходів для захисту від шуму і вібрації:

- зменшення шуму і вібрацій в джерелах їх виникнення;

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ізоляція джерел шуму і вібрацій, звуко- і вібропоглинання;
- регулювання резонансних режимів раціональним вибором приведеної маси або жорсткості системи, яка коливається;
- динамічне гасіння – введенням в систему додаткових мас або збільшення жорсткості системи.

Експлуатація устаткування і управління машинами з рівнем шуму, що перевищує гранично-допустимі норми, робиться із звукоізовованого приміщення оператора.

Зони з рівнем звуку вище 85 дБ мають бути позначені знаками безпеки по ДСН 3.3.6.037-99, п.3.5. Робітники при виході із звукоізовованих приміщень повинні використати засоби індивідуального захисту – беруші.

Підібрано такі моделі беруш : 3М 1100 або 3М 1110.

У результаті проведення цих заходів рівень шуму знижується і в РПЦ і ПДЦ фактично складає 76 дБА, що не перевищує гранично-допустимий рівень 80 дБА згідно ДСН 3.3.6.037-99.

Рівень загальної вібрації категорії 3а на постійних робітниках місцях у виробничих приміщеннях підприємства не перевищує 92 дБ.

Небезпека ураження електричним струмом

По ступеню ураження електричним струмом приміщення відноситься до 2 класу з підвищеною небезпекою.

Мережа 380/220 В, $f = 50$ Гц, мережа з ізовованою нейтраллю.

Також приміщення виробництва паперу характеризується:

- наявністю високої вологості (вологість 60 – 75% і більше 75%);
- наявністю струмопровідних частин устаткування;
- наявністю пилу;
- наявністю високої температури (більше 30 °С);
- можливості одночасного торкання людини до металоконструкцій будівлі, що мають з'єднання із землею з одного боку і до металевого корпусу електроустаткування з іншою;

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– ушкодження ізоляції устаткування.

Для електробезпеки проводяться такі організаційно-технічні заходи і засоби: Ці вимоги відповідають положенням ДСТУ 7237:2011

Організаційні заходи: інструктаж і навчання безпечним методам праці, перевірка знань правил техніки безпеки і інструкцій, призначення груп кваліфікацій по техніці безпеки обслуговуючому електроустановки персоналу, правильна організація праці, над виконанням робіт здійснюватися контроль з боку відповідальної особи.

Технічні засоби:

– захист від дотику до частин електроустаткування, що знаходяться під напругою, із застосуванням електроізоляції ($R_{iy} \geq 0,5$ мОм — опір ізоляції);

– розташування струмопровідних частин на недосяжній висоті або в недоступному місці забезпечує безпеку без застосування обгороджувальних і блокувальних;

– блокування: за допомогою автоматичних пристроїв напруга відключається при відкритті дверей обгороджувальних, дверей корпусів і кожухів або при знятті кришок;

– застосування захисного заземлення і занулення;

– застосування малої напруги; при огляді і ремонті устаткування.

– дозволяється користуватися лампами з напругою в мережі не вище 36 В, (у сушильній частині машини), а в місцях з підвищеною небезпекою (на металоконструкціях усередині сушильних циліндрів, місткостей, басейнів, а також на сітковій і пресовій частині) з напругою не вище 12 В;

– установка знаків безпеки і обгороджувальних струмопровідних частин від робочих місць і так далі.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

На основі виконаного дипломного проєкту з теми «Удосконалення технологічного потоку виробництва паперу для гофрування» можна зробити такі загальні висновки:

1. Обґрунтування та актуальність модернізації: У роботі здійснено техніко-економічне обґрунтування модернізації цеху з виробництва паперу для гофрування (флютингу) марки Б0-80 г/м². Запропоновані рішення є дуже актуальними у зв'язку зі стрімким розвитком логістики й пакувальної індустрії та жорсткими сучасними вимогами до екологічності й механічної міцності пакування.
2. Оптимізація волоконної композиції та хімікатів: Як основну сировину визначено використання 100% сульфатної невібіленої хвойної целюлози марки НС-2 вищого сорту, що дозволяє досягти високих фізико-механічних показників готового паперу (опору площинному й торцевому стисненню тощо). Для надання паперу належних гідрофобних властивостей у нейтральному та слаболужному середовищі успішно обґрунтовано впровадження сучасної проклеювальної АКД-дисперсії воску торгової марки «Fennosize KD 574 MP» компанії Kemira.
3. Удосконалення технологічної схеми масопідготовки: * Запропоновано встановлення гідророзбивача безперервної дії типу ГРВ-40 для забезпечення однорідності розпуску маси.
 - Розмелювання волокна реалізовано в три стадії на сучасних здвоєних дискових млинах МД-31, що дозволяє поетапно й контролювано підвищити ступінь млива з початкових 10–12 °ШР до кінцевих 40 °ШР. Це забезпечує якісне фібрилювання волокон та покращує міжволоконні зв'язки в структурі листа без його критичного вкорочення.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Модернізація папероробної машини (ПРМ): Технологічна схема передбачає використання ПРМ із робочою швидкістю 540 м/хв та обрізною шириною 3000 мм. Важливим елементом модернізації є пресова частина, що складається з комбіпресу та пресу з розширеною зоною пресування типу JUMBO, завдяки чому досягається висока сухість паперового полотна перед сушильною частиною (до 44%), що суттєво знижує витрати пари на подальше контактне сушіння.

5. Розрахунково-балансова частина: * Розраховано погодинну (6,7 т/год), добову (151 т/добу) та річну (52 095 т/рік) продуктивність потоку ПРМ.

- На основі розрахованих матеріальних балансів води та волокна оптимізовано використання обігових (регістрових) вод для розбавлення маси та розпуску браку.
- Виконано розрахунок теплового балансу контактного сушіння, визначено необхідні витрати грючої пари в сушильній частині та калориферах.

6. Ресурсоефективність та захист довкілля: Організація технологічного потоку передбачає повне замкнуте використання мокрого і сухого технологічного браку в системі. Впровадження дискового фільтра для прояснення надлишкових вод дозволяє значно скоротити скиди, утилізувати волокнистий скоп назад у виробництво, зменшити споживання свіжої технічної води й мінімізувати екологічне навантаження підприємства на навколишнє середовище.

Впровадження запропонованих інженерних та технологічних рішень забезпечує випуск конкурентоспроможного флютингу відповідно до чинних стандартів (ДСТУ/ГОСТ), знижує собівартість продукції завдяки енергозбереженню та забезпечує екологічну безпеку виробництва.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Галиш В.В., Черьопкіна Р.І., Дейкун І.М. Технологія паперу та картону на машині: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальностей 161 - Хімічна технологія та інженерія, 131 "Прикладна механіка" та 133 Галузеве машинобудування / Галиш В.В., Черьопкіна Р.І., Дейкун І.М. ; Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" - Київ : Видавничий дім "Кондор", 2026. - 116 сторінок : рисунки, таблиці. – 2 пр. –
Доступ:https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000649239&local_base=KPI0
2. Черьопкіна Р.І., Галиш В.В., Дейкун І.М. ; Підготовка макулатурної маси для виробництва паперу : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальностей 161 - Хімічна технологія та інженерія, 131 "Прикладна механіка" та 133 Галузеве машинобудування /- Київ : Видавничий дім "Кондор", 2026. - 114 с.: рисунки,
Доступ:https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000649240&local_base=KPI0
3. Технологія целюлозно-паперового виробництва. Практикум. Навчальний посібник. [Електронне мережне навчальне видання]: навч. пос. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Технічні та програмні засоби автоматизації» спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології; укладачі: Р.І. Черьопкіна, І.М. Дейкун, І.В. Трембус – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 70 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/53771>
4. Черьопкіна Р.І., Трембус І.В., Дейкун І.М. Технологія виробництва сульфатної целюлози: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньо-професійної програми «Промислова

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

екологія та ресурсоефективні чисті технології» /;– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 274 с. Технологія целюлозно-паперового виробництва. В 3 т. Т. II. виробництво паперу и картону. Ч. 2. основні види и властивості паперу, картону, фібри і деревних плит. – СПб. : Політехніка, 2006. – 499 с.

5. Примаков С. П., Барбаш В. А. Технологія паперу і картону: Навчальний посібник для вузів. – К.: ЕКМО, 2008 – 425 с.
6. Технологія целюлозно-паперового виробництва. В 3 т. Т. II. Виробництво паперу та картону. Ч. 1. Технологія виробництва и обробки паперу і картону. – СПб.: Політехніка, 2005.— 423 с.
7. Плосконос В. Г., Примаков С. П., Черьопкіна Р. І., Антоненко Л. П., Мовчанюк О. М. Технологія паперу та картону: метод. вказівки до виконання розрахунків матеріального балансу води і волокна для студентів напряму підготовки 0513 – хімічна технологія програми професійного спрямування "Хімічна технологія переробки деревини та рослинної сировини" – К.: НТУУ "КПІ", 2011 – 66 с.
8. Технологічне проектування целюлозно-паперових підприємств. Жудро С.Г. Вид.. 2-е, перероб., «Лісова промисловість», 1970. – 224 с
9. Мовчанюк О. М. Технологія башмачного пресування у виробництві паперу та картону // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2023. – Т. 34, № 4. – С. 197–202.
10. Основи охорони праці / За ред. Гандзюка М. П., Купчика М. П. – К.: Основа, 2000. – 416 с.
14. Серіков Я. О. Основи охорони праці: Навч. посіб. – Харків, ХНАМГ, 2007. - 227с.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		