

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Державний вищий навчальний заклад  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
Інститут деревообробних технологій та дизайну  
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та  
безпеки життєдіяльності

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи бакалавра, на тему:

**Проект сушильної ділянки для ТОВ «Українська  
лісопереробна компанія»**

**Виконала:** студентка групи ДТ-42  
напрямку підготовки 187  
деревообробні та меблеві технології

**Панько А. А.**

**Керівник Гуменюк Ж. Я.**

**Рецензент** Мелушицький Р. Б.

Львів – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Державний вищий навчальний заклад  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

Інститут  
Кафедра

деревообробних технологій і дизайну  
технологій захисту навколишнього  
середовища і деревини, безпеки  
життєдіяльності

Освітній ступінь  
Спеціальність

бакалавр  
187 «Деревообробні та меблеві технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЗНСДБЖД  
проф. Кшивецький Б.Я.

« 21 » 02 2025 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ  
Панько Анні Анатоліївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проект сушильної дільниці для ТОВ «УКРАЇНСЬКА ЛІСОПЕРЕРОБНА КОМПАНІЯ»

керівник роботи Гуменюк Жанна Ярославівна, ст. викл.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 21 » 02 2025р. №С 124



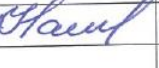
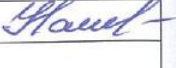
2. Строк подання студентом роботи 10.06.25р.

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план підприємства, перспективний план розвитку підприємства, специфікація пиломатеріалу, що підлягає сушінню за породами, об'ємами, вибране сушильне устаткування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Обґрунтування доцільності проекту, проектно-технологічний розрахунок, проект заходів з охорони праці, розрахунок техніко-економічних показників

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схема розміщення виробничих дільниць (генплан), план цеху, схема сушильної камери (фасади), схема сушильних камер(розрізи), ТЕП

6. Консультанти розділів роботи

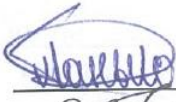

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Соколовський І.А., доцент, к.т.н.		
Економіка	Наливайко Н.Я., доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання 24.02.2025 р.

Керівник проекту  Гуменюк Ж.Я.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна частина. Обґрунтування проекту	До 30.03.25р.	
2	Проектно-технологічний розрахунок	До 20.04.25р.	
3	Охорона праці	До 05.05.25р.	
4	Економічна частина	До 20.05.25р.	
5	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	До 10.06.25р.	

Студент  Панько А.А.  
 Керівники проекту  Гуменюк Ж.Я.

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	8
1.1. Коротка характеристика підприємства.....	8
1.2. Обґрунтування необхідності проектування сушильної ділянки.....	9
2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	10
2.1. Загальні питання проектування сушильної ділянки.....	10
2.1.1. Уточнення специфікації і визначення кількості пиломатеріалів, що підлягають сушінню.....	10
2.1.2. Обґрунтування вибору майданчика для будівництва.....	10
2.1.3. Обґрунтування вибору типу сушильного пристрою.....	11
2.1.4. Загальна характеристика конструкції камери.....	13
2.2. Технологічний розрахунок сушильних пристроїв.....	14
2.2.1. Визначення тривалості сушіння пиломатеріалів у камерах періодичної дії при низькотемпературному процесі.....	14
2.2.2. Розрахунок продуктивності камери для фактичного та умовного матеріалу.....	15
2.2.3. Перерахунок об'єму фактичного матеріалу в об'єм умовного матеріалу.....	17
2.2.4. Розрахунок необхідної кількості сушильних камер.....	18
2.3. Тепловий розрахунок.....	18
2.3.1. Вибір розрахункового матеріалу.....	18
2.3.2. Визначення маси вологи, що випаровується.....	18
2.3.3. Вибір режиму сушіння.....	20
2.3.4. Визначення параметрів агента сушіння перед входом в штабель....	20
2.3.5. Визначення об'єму та маси циркулюючого агента сушіння.....	22
2.3.6. Визначення параметрів агента сушіння на виході із штабеля.....	26
2.3.7. Визначення об'єму свіжого та відпрацьованого агента сушіння....	25
2.3.8. Розрахунок витрат тепла на сушіння деревини.....	26
2.3.9. Вибір та розрахунок поверхні нагрівання калорифера.....	31

2.3.10. Визначення діаметрів трубопроводів.....	33
2.4. Аеродинамічний розрахунок.....	34
2.4.1. Складання схеми циркуляції агента сушіння циркуляції.....	34
2.4.2. Розрахунок тиску, який повинен створити вентилятор у камері.....	34
2.5. Вибір вентилятора, розрахунок потужності та вибір електродвигуна.....	36
2.5.1. Вибір вентилятора.....	36
2.5.2. Розрахунок потужності та вибір електродвигуна.....	37
2.6. Розрахунок транспортного обладнання.....	38
2.6.1. Розрахунок автотранспорту.....	38
2.7. Розрахунок кількості електроенергії.....	39
2.7.1. Розрахунок річної потреби в силовій електроенергії.....	39
2.7.2. Розрахунок потреби електроенергії на освітлення.....	41
2.8. Розрахунок опалення і вентиляції.....	43
2.8.1. Встановлення метрологічних параметрів дільниці.....	43
2.8.2. Визначення витрати тепла в приміщеннях.....	43
2.8.3. Підбір і розрахунок опалювально-вентиляційного обладнання.....	44
2.8.4. Розрахунок річної потреби у воді.....	44
2.9. Зведена відомість необхідної кількості обладнання для сушильної..... дільниці.....	45
2.10. Розробка креслень сушильної камери та плану цеху.....	46
3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	47
4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	57
ВИСНОВОК.....	64
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА.....	65
ДОДАТКИ.....	67

## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота на тему «Проект сушильної дільниці для ТОВ «Українська лісопереробна компанія», в с. Остки, Рівненської області. Робота містить основні технічні-економічні розрахунки, необхідні для будівництва сушильної дільниці, на базі сушильних конвективних камер Katres.

Обсяг бакалаврської роботи 74 сторінок, 5 аркушів графічної частини, 66 сторінок пояснювальної записки, 8 сторінок додатків. Загальна кількість таблиць становить 24 шт.

Робота складається з чотирьох розділів.

1. Загальна частина – наведено коротку характеристику підприємства та обґрунтування необхідності будівництва сушильної дільниці.

2. Проектно-технологічна частина – виконано комплекс розрахунків, що охоплюють ряд технологічних аспектів при проектуванні сушильного цеху. Визначені основні теплові та аеродинамічні показники роботи камери, а також загальне споживання електроенергії, води та інших ресурсів. Враховуючи об'єм пиломатеріалів, що підлягають сушінню розрахована необхідна кількість основного та допоміжного обладнання.

3. Охорона праці – проведено теоретичні розрахунки заходів із забезпечення безпеки праці, відповідно до чинних вимог та норм. Дотримання цих вимог, дозволяє здійснювати безпечну експлуатацію дільниці.

4. Економічна частина – описано економічну ефективність проектування сушильного цеху.

Проект дозволяє оцінити ефективність запропонованого сушильного обладнання та його вплив на виробничий процес підприємства.

## ***ВСТУП***

У наш час деревообробна промисловість має досить вагоме значення для меблевої та будівельної галузі, оскільки саме ця галузь забезпечує всіх якісними пиломатеріалами з дотриманням відповідних вимог та стандартів.

Одним з основних етапів в підготовці деревини до подальшої обробки - є процес сушіння, який дозволяє нам покращувати фізико-механічні властивості деревини. Від правильного вибору сушильного обладнання та технологічного процесу залежить якість та міцність готової продукції.

Метою даної дипломної роботи є проектування сушильного цеху для компанії «УЛПК», яка займається виготовлення пиломатеріалів, меблевих щитів, заготовок та паркету. В процесі розробки процесу сушіння враховуються наступні показники, а саме: порода деревини (в нашому випадку це сосна та дуб), розміри та вид пиломатеріалів, початкова вологість та потужність сушильного обладнання на заданий об'єм сировини.

У роботі аргументовано вибір сушильного обладнання та проведені відповідні розрахунки продуктивності та енергоспоживання. У першій частині наведена характеристика підприємства «УЛПК». У проектно-технологічній частині, проведено ряд розрахунків, для визначення аеродинамічних та теплових параметрів камерою. В частині «Охорона праці» було проведено аналіз умов праці на підприємстві. Для визначення економічної ефективності проекту було проведено основні економічні розрахунки, що доводять його ефективність.

Даний проект спрямований на покращення роботи сушильного цеху.

## **1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА**

### **1.1. Коротка характеристика підприємства**

ТОВ «Українська лісопереробна компанія» була створена у 2000 році, та з перших днів своєї діяльності і по даний час займається лісопилним та стругальним виробництвом. З кожним роком підприємство поступово нарощує свою виробничу базу. Оскільки за 25 років своєї діяльності, персонал компанії накопичив великий досвід у галузі деревообробки. Загальна кількість працюючого персоналу компанії становить близько 150 осіб.

Виробничі площі ТОВ «УЛПК» розташовані на кордоні Рівненської та Житомирської областей (с. Остки) в безпосередній близькості від джерел сировини. Площа самого виробництва становить 2,88 га., за межами населеного пункту, з яких 3500 м<sup>2</sup> займає площа виробничих приміщень та 980 м<sup>2</sup> займають складські приміщення для зберігання готової продукції, інструменту та матеріалів.

Головними постачальниками лісоматеріалів для підприємства є державні лісові господарства, а також лісові господарства Міністерства аграрної політики, що розташовані в Рівненській та Житомирській областях.

ТОВ «Українська лісопереробна компанія» спеціалізується на виробництві якісних пиломатеріалів, меблевої заготовки, меблевого щита та промислового паркету. Всі відходи виробництва ефективно переробляються на дрова для камінів, дрова для розпалу, брикети Pini-kaу та деревне вугілля.

Виробничий процес підприємства складається з кількох ключових етапів, а саме: заготівля та підготовка сировини, її подальша переробка, пакування та логістика. В середньому за місяць підприємство переробляє 1000 м<sup>3</sup> круглого лісу. Основними породами являється дуб та сосна.

Також компанія реалізовує свою продукцію не лише на внутрішньому ринку України, а й експортує її до Європи. Продукція ТОВ «УЛПК» відповідає всім європейським стандартам якості, які попередньо

узгоджуються із замовником у контракті. У майбутньому підприємство планує розширити свій асортимент продукції та ринок збуту в Європі.

## ***1.2. Обґрунтування необхідності проектування сушильного цеху***

ТОВ «Українська лісопереробна компанія» займається виробництвом та сушінням якісних пиломатеріалів, з яких виготовляються меблеві заготовки, паркет індустріальний та меблевий щит.

У зв'язку з постійним розширенням ринків збуту та зростання обсягів виробництва, підприємство стикається з нестачею більш потужного сушильного обладнання. Камери, які вже функціонують на підприємстві, не забезпечують необхідної кількості висушеної продукції, оскільки експлуатуються вже досить тривалий час. Це призводить до неповного завантаження обладнання, яке встановлене на підприємстві.

Для вирішення даної проблеми, планується розширення сушильного цеху на базі конвективних сушильних камер періодичної дії фірми «KATRES» модель KAD 1x6S. Ці камери є відносно доступними за своєю ціною та дозволяють отримувати необхідний обсяг висушених пиломатеріалів із заданими якісними характеристиками, оскільки весь процес сушіння є автоматизованим. Також, фірма «KATRES» забезпечує повний технічний супровід (монтаж, навчання, консультація в питаннях з ремонту та роботи обладнання).

## **2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

### **2.1. Загальні питання проектування сушильного цеху**

#### **2.1.1. Уточнення специфікації і визначення кількості пиломатеріалів, що підлягають сушінню**

Для процесу сушіння буде використовуватися м'який режим сушіння

Таблиця 2.1.

Специфікація пиломатеріалів, які підлягають сушінню

№	Порода	Вид п/м	Розміри пиломатеріалів, мм			Характеристика п/м			
			Т	Ш	Д	Вологість		Категорія якості	Задана кількість п/м, Ф мЗ/рік
						Wп, %	Wк, %		
1	Дуб	обр	32	150	3000	65	8	II	1000
2	Дуб	обр	32	89	500	65	8	II	900
3	Дуб	обр	32	72	400	65	8	II	800
4	Сосна	необр	22	145	1200	70	8	II	1200

#### **2.1.2. Обґрунтування вибору майданчика для будівництва сушильної ділянки**

Вибір місця для розташування сушильної ділянки є одним з основних етапів реалізації нашого проекту. Оскільки це буде впливати на подальшу ефективність роботи сушильного цеху.

Отже, будівництво самої ділянки буде в безпосередній близькості біля котельні та складів із сировою продукцією, для швидкого завантаження камер та зменшення витрат на постачання тепла. Також на місці будівництва мають бути присутні всі інженерні комунікації, а саме: електропостачання, водопостачання, водовідведення, а також, при потреби, доступ до газопроводу.

Обраний варіант розташування ділянки забезпечить продуктивну роботу сушильних камер з меншими економічними та логістичними затратами для підприємства.

### ***2.1.3. Обґрунтування вибору типу сушильного пристрою***

Для підприємства, що займається сушінням деревини дуба та сосни для виготовлення меблевих заготовок, меблевих щитів та індустріального паркету хорошим варіантом будуть конвективні сушильні камери періодичної дії з автоматичним контролем керування. Оскільки дані камери забезпечують хорошу якість сушіння пиломатеріалів різних порід та в різних обсягах.

Для забезпечення ефективного процесу сушіння було проаналізовано ряд сучасних сушильних пристроїв для деревини, що доступні на ринку. За порівняльними результатами, було прийнято рішення на користь обладнання фірми «KATRES», яка зарекомендувала себе як надійний виробник енергоефективних та технологічних сушильних установок.

Тому, в нашому проекті, ми обираємо сушильні камери чеської фірми «KATRES», модель KAD 1x6S. Завантаження даної камери відбувається за допомогою автонавантажувача, згідно відповідної документації. Об'єм деревини, що завантажується, становить - 58 м<sup>3</sup>.

Сушильна камера виготовляється з досить якісних конструктивних елементів (алюміній або нержавіюча сталь), що дає можливість витримувати снігове навантаження, а також має автоматичну систему управління МК-520 з можливістю створення власних режимів сушіння, залежно від характеристики матеріалу, що підлягає сушінню, також можливе налаштування програми вручну.

Основна перевага даної камери – оптимальне співвідношення ціни та якості. Оскільки «KATRES» забезпечує повний пакет з надання послуг, а саме: доставка конструкції до місця призначення, встановлення та консультування працівників з технічних питань. Тобто, компанія надає повну технічну підтримку для своїх замовників.

Гарантія роботи даних камер близько 25 років. Завдяки кваліфікованому персоналу, компанія є постійним лідером в галузі

розроблення сушильного обладнання. Розроблені технологічні проекти компанії експлуатуються по всьому світу.

### *Технічна характеристика сушильної камери*

#### *«KATRES» KAD 1x6S*

Таблиця 1.1.

<i>№ n/n</i>	<i>Назва показників</i>	<i>Одиниці виміру</i>	<i>Значення</i>
<b>1.</b>	Габаритні розміри сушильної камери:		
	- ширина	м	7,52
	- глибина (довжина)	м	7,68
	- висота	м	5,61
<b>2.</b>	Внутрішні розміри сушильної камери:		
	- ширина	м	6,96
	- глибина (довжина)	м	7,4
	- висота	м	4,1
<b>3.</b>	Розміри штабеля:		
	- ширина	м	1,2
	- довжина	м	3
	- висота	м	1,2
<b>4.</b>	Об'єм матеріалу	м <sup>3</sup>	58
<b>5.</b>	Осьові вентилятори:		
	- діаметр вентилятора	мм	800
	- кількість	шт.	5
	- потужність електродвигуна	кВт	3
<b>6.</b>	Теплоносій в системі (вода)	°С	90-95
<b>7.</b>	Встановлена теплова потужність	кВт	240
<b>8.</b>	Встановлена електрична потужність	кВт	12
<b>9.</b>	Система автоматичного контролю	-	МК-520

### ***2.1.4. Загальна характеристика камери***

Основні несучі конструкції камери складаються з алюмінієвих профілів або з нержавіючої сталі. Всі елементи камери мають форму рамних конструкцій, які кріпляться за допомогою болтового з'єднання. Конструкція стін «KATRES» KAD 1x6S виконана із горизонтальних алюмінієвих касет товщиною 1,6 см, простір між якими заповнений мінеральною ватою, яка виконує функцію теплоізоляційного матеріалу (товщина становить не менше 100 мм), це забезпечує хороший рівень теплоізоляції та не допускає поглинання зайвої вологи ( $K = 0,28 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ ). Кріплення касет до конструкції здійснюється гвинтами. Назовні камера облаштована алюмінієвими листами товщиною 0,8 мм.

Конструкція воріт також складається з алюмінієвих профілів, які відсуваються в сторону. Внутрішня частина воріт заповнена теплоізоляційним матеріалом, як і бокові стіни камери. Для її кращої герметизації, по всіх з'єднаннях конструкції використовують спеціальний гумовий профіль, який є стійким до дії високих температур.

Циркуляція повітря здійснюється осьовими реверсивними вентиляторами та алюмінієвими клапанами, які розташовані в стелі самої камери. Це забезпечує постійний потік сухого повітря та виведення відпрацьованого повітря. Нагрівні елементи камери виготовлені з нержавіючих труб і з алюмінієвою ребристістю. Поєднання цих матеріалів не створює гальванічної пари та гарантує відсутність корозії. Для роботи вентилятора використовуємо двигун потужністю 3 кВт.

Обігріву складається з триходового клапана, циркуляційної помпи, нержавіючих труб та біметалевих калориферів виготовлених з нержавіючої сталі та з алюмінієвим поребрением. Температура та відносна вологість може визначатися за встановленими на стінах датчиків або за допомогою психрометрів. Система зволоження складається з нержавіючих труб зі спеціальними фільтрами, колекторною трубою та форсунками виготовленими з латуні.

Вологість деревини в камері визначається спеціальними датчиками опору, які попередньо встановлюються в штабелях з деревиною. Покази датчиків генеруються з комп'ютером, який враховує задану породу та температуру. Це дозволяє вимірювати досить точну вологість деревини.

## ***2.2. Технологічний розрахунок сушильних пристроїв***

### ***2.1.1. Визначення тривалості сушіння пиломатеріалів у камери періодичної дії при низькотемпературному процесі сушіння***

Загальна тривалість сушіння деревини, яка враховує тривалість для початкового нагрівання і теплового оброблення, визначається за формулою:

$$\tau_c = \tau_{\text{вих}} \cdot A_p \cdot A_{\text{ц}} \cdot A_v \cdot A_{\text{я}} \cdot A_d, \text{ год.} \quad (2.1)$$

$\tau_{\text{вих}}$  - вихідна тривалість сушіння пиломатеріалів заданої породи, товщини, ширини та довжини від його початкової до кінцевої вологості.

$A_p \cdot A_{\text{ц}} \cdot A_v \cdot A_{\text{я}} \cdot A_d$  – коефіцієнти, що враховують категорію режиму сушіння, циркуляцію агента сушіння, його початкову і кінцеву вологість та розміри заготовок, що підлягають сушінню.

$A_p$  – коефіцієнт, що встановлює режим сушіння. Нормальний режим (Н)  $A_p = 1,0$ , м'який режим (М)  $A_p = 1,70$ .

$A_{\text{ц}}$  – коефіцієнт, що визначають в залежності від розрахункового значення ( $\tau_{\text{вих}} \cdot A_p$ ) та швидкості руху агента сушіння.

$A_v$  – коефіцієнт, який залежить від початкової та кінцевої вологості.

Початкова вологість пиломатеріалів задана в завданні, а кінцеву вологість ми приймаємо в залежності від категорії якості сушіння.

II категорія якості сушіння (кінцева вологість), для меблевих заготовок становить 8%.

$A_{\text{я}}$  – коефіцієнт, який для II категорії якості сушіння становить 1,15.

$A_d$  – коефіцієнт, що знаходять від співвідношення довжини до товщини матеріалу.

Результати розрахунку тривалості сушіння зведені в табл. 2.2.

## Визначення тривалості сушіння пиломатеріалів

Порода	Розміри матеріалу, мм			$\tau$ вих., год.	Коефіцієнти					Загальна тривалість $\tau$ сушіння	
	Т	Ш	Д		Ар	Ац	Ав	Ая	Ад	год.	діб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Дуб	32	150	3000	214	1,70	0,98	1,30	1,15	1	533	22,2
Дуб	32	89	500	193	1,70	0,98	1,30	1,15	0,88	423	17,6
Дуб	32	72	400	173	1,70	0,98	1,30	1,15	0,85	366	15,3
Сосна	22	145	1200	39	1,70	0,71	1,35	1,15	1	73	3,0
Сосна(у.м)	40	150	3000	88	1,70	0,91	1	1,15	1	157	6,5

### 2.2.2. Розрахунок продуктивності сушильних камер для фактичного та умовного матеріалу

Продуктивність камери при сушінні пиломатеріалів визначається за певний календарний час (рік, місяць) за формулою:

$$P_{\phi} = n * E, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (2.2)$$

$n$  – кількість камерооборотів протягом певного часу;

$E$  – кількість деревини, що завантажується в камеру,  $\text{м}^3$ ;

Кількість камерооборотів розраховується за наступною формулою:

$$n = \frac{T}{\tau_{об}} * C \quad (2.3)$$

$T$  – період часу, за яким визначають продуктивність камери (365 діб)

$C$  – коефіцієнт технічного використання (0,92);

$\tau_{об}$  – тривалість одного камерообороту в годинах або добах;

Для камер періодичної дії  $\tau_{об}$  визначають за наступною формулою:

$$\tau_{об} = \tau_c + \tau_{зав} \quad (2.4)$$

$\tau_c$  – тривалість сушіння пиломатеріалів;

$\tau_{зав}$  – тривалість завантаження та розвантаження сушильних камер.

Для камер періодичної дії  $\tau_{зав}$  може становити від 2,4 год. до 0,1 доби.

Приймаємо  $\tau_{зав} = 0,25$

Об'єм пиломатеріалів, що завантажують у сушильну камеру визначають наступною формулою:

$$E = l \cdot b \cdot h \cdot m \cdot \beta_{об}, \text{ м}^3 \quad (2.5)$$

$l, b, h$  – довжина, ширина та висота штабеля, м;

$m$  – кількість штабелів в камері, шт.

$\beta_{об}$  – коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля.

Коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля залежить від товщини та виду матеріалу (обрізний або необрізний):

$$\beta_{об} = \beta_{д} \cdot \beta_{ш} \cdot \beta_{в} \cdot \frac{100 - Y_0}{100} \quad (2.6)$$

$\beta_{д}, \beta_{ш}, \beta_{в}$  – коефіцієнти заповнення штабеля за довжиною, шириною та висотою;

$Y_0$  – об'ємне всихання деревини за породою;

Об'ємне всихання деревини визначають за наступною формулою:

$$Y_0 = \beta_v \cdot \frac{W_{т.н.} - W_{к.}}{W_{к.}} \quad (2.7)$$

$W_{т.н.}$  – вологість деревини в стані насичення, приймається 30%.

$W_{к.}$  – кінцева вологість деревини після сушіння, 8%.

$\beta_v$  – повна величина об'ємного всихання деревини (додаток 7)

Коефіцієнт заповнення штабеля за довжиною визначається за формулою:

$$\beta_{д} = \frac{L_{сер.}}{L} \quad (2.8)$$

$L_{сер.}$  – сумарна довжина пиломатеріалів, що вкладаються в штабель.

$\beta_{ш}$  – коефіцієнт заповнення штабеля по ширині визначають за додатком 6.

Для обрізного матеріалу 0,90 і для необрізного 0,60.

Коефіцієнт заповнення штабеля по висоті визначається за формулою:

$$\beta_{в} = \frac{S_1}{S_1 + S_{пр.}} \quad (2.9)$$

$S_1$  – товщина пиломатеріалів, мм.

$S_{пр}$  – товщина прокладки, приймаємо 22 мм.

Для розрахунку продуктивності формулу (2.2) можна записати наступним чином:

$$P = \frac{365}{\tau_{об}} \cdot C \cdot l \cdot b \cdot h \cdot m \cdot \beta_{об}, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (2.10)$$

Таблиця 2.3.

Розрахунок продуктивності камер для фактичного та умовного матеріалу

Порода	Розміри штабеля, м			Кількість штабелів	Коеф. Об'ємного заповнення штабеля, $\beta_{об}$	Тривалість камерообігу, $\tau_{об}$ , дб	Кількість деревини, E	Кількість камерооборотів, n	Продук. Камери П, м <sup>3</sup> /рік
	l	b	h						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дуб	1,2	1,2	3	24	0,42	22,5	43,8	15,0	655,0
Дуб	1,2	1,2	1	72	0,42	17,9	43,8	18,8	822,9
Дуб	1,2	1,2	1,2	60	0,42	15,5	43,8	21,6	948,4
Сосна	1,2	1,2	1,2	60	0,23	3,3	24,2	101,9	2464,8
Сосна(у.м)	1,2	1,2	3	24	0,438	6,8	45,4	49,6	2251,4

### 2.2.3. Перерахунок об'єму фактичного матеріалу в об'єм умовного матеріалу

Об'єм деревини, що підлягає сушінню, переводиться в об'єм умовного матеріалу м<sup>3</sup>, визначається за формулою:

$$V_i = \Phi_i \cdot \frac{\beta_{об.у.} \cdot \tau_{об.ф.}}{\tau_{об.у.} \cdot \beta_{об.ф.}} \quad (2.11)$$

$\Phi_i$  – кількість фактичного матеріалу однакової характеристики, м<sup>3</sup>;

$\beta_{об.у.}$ ,  $\beta_{об.ф.}$  - коефіцієнти об'ємного заповнення штабеля для умовного та фактичного матеріалу;

$\tau_{об.у.}$ ,  $\tau_{об.ф.}$  - тривалість одного камерообороту для умовного та фактичного матеріалу;

Загальна кількість умовного матеріалу визначається:

$$\sum U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (2.12)$$

$$Y_1 = 1000 \cdot \frac{0.438 \cdot 22,5}{6,8 \cdot 0,42} = 3437 \text{ м}^3$$

$$Y_2 = 900 \cdot \frac{0.438 \cdot 17,9}{6,8 \cdot 0,42} = 2462 \text{ м}^3$$

$$Y_3 = 800 \cdot \frac{0.438 \cdot 15,5}{6,8 \cdot 0,42} = 1899 \text{ м}^3$$

$$Y_4 = 1200 \cdot \frac{0.438 \cdot 3,3}{6,8 \cdot 0,42} = 1096 \text{ м}^3$$

$$\sum Y = 3437 + 2462 + 1899 + 1096 = 8895 \text{ м}^3$$

Загальна кількість умовного матеріалу становить 8895 м<sup>3</sup>

#### **2.2.4. Розрахунок необхідної кількості сушильних камер**

Необхідну кількість сушильних камер для виконання річної програми розраховують за формулою:  $n = \sum Y / P_y$  (2.13)

$\sum Y$  – загальна кількість умовного матеріалу, м<sup>3</sup>;

$P_y$  – продуктивність в умовному матеріалі;

$$n = 8895 / 2251 = 3,95 \text{ шт.}$$

Приймаємо 4 камери з коефіцієнтом завантаження 95%.

### **2.3. Тепловий розрахунок**

#### **2.3.1. Вибір розрахункового матеріалу**

В якості розрахункового матеріалу, приймаємо пиломатеріали з сосни товщиною 22 мм, шириною 145 мм та довжиною 1200 мм. Необрізні дошки з початковою вологістю 70% та кінцевою вологістю 8%.

#### **2.3.2. Визначення маси води, що випаровується**

Маса води, яка випаровується з 1 м<sup>3</sup> деревини, визначається за наступною формулою:

$$m_{1\text{м}^3} = \rho_0 \frac{W_{\text{п}} - W_{\text{к}}}{100}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.14)$$

$\rho_0$  – базисна густина розрахункового матеріалу, м<sup>3</sup>, додаток 7.

$W_{\text{п}}$ ,  $W_{\text{к}}$  – початкова та кінцева вологість деревини, яка підлягає сушінню, %.

$$m_{1M3} = 415 \cdot \frac{70-8}{100} = 257,3 \text{ кг/м}^3$$

Маса деревини, яка випаровується за один оборот камери, визначається:

$$m_{об. кам.} = m_{1M3} \cdot E, \text{ кг/об.кам.}$$

$$m_{об. кам.} = 257,3 \cdot 24,19 = 6223 \text{ кг/об.кам.}$$

(2.15)

$E$  – кількість матеріалу, яка завантажується в камеру, м<sup>3</sup>;

$$E = \Gamma \cdot \beta_{об}$$

(2.16)

$\Gamma$  – об'єм штабелів, що завантажуються в камеру, м<sup>3</sup>;

Маса вологи, яка випаровується з деревини за секунду, визначають за наступною формулою:

$$M_c = \frac{m_{об.кам}}{3600 \cdot \tau_{с.р.}}, \text{ кг/с}$$

(2.17)

$$M_c = \frac{6223}{3600 \cdot 69,5} = 0,024 \text{ кг/с,}$$

$\tau_{с.р.}$  – тривалість сушіння розрахункового матеріалу, без врахування тривалості початкової та кінцевої вологообробки, визначається за наступною формулою:

$$\tau_{с.р.} = \tau_c - (\tau_{пр} \cdot \tau_{во}), \text{ год.}$$

(2.18)

$$\tau_{с.р.} = 73 - (1,5 \cdot 2) = 69,5 \text{ год.}$$

$\tau_{пр.}$  – тривалість початкового прогрівання пиломатеріалів хвойних порід становить приблизно 1,5 год. на кожен сантиметр товщини розрахункового матеріалу; для м'яких листяних порід час прогрівання буде збільшуватися на 25% і для твердих листяних (дуб, бук, ясен та інші.) на 50%.

$\tau_{во.}$  – тривалість вологообробки розрахункового матеріалу, визначається за додатком 8.

$\tau_c$  – тривалість сушіння розрахункового матеріалу (73 год);

Маса вологи, яка випаровується в камері, розраховують за наступною формулою:

$$M_p = M_c \cdot k, \text{ кг/с} \quad (2.19)$$

$k$  – коефіцієнт нерівномірності сушіння, при сушінні вологим повітрям;

Для  $W_k = 8\%$  коефіцієнт  $k = 1,3$ ;

$$M_p = 0,024 \cdot 1,3 = 0,031 \text{ кг/с}$$

### 2.3.3. Вибір режиму сушіння

Режими сушіння обираються в залежності від породи і товщини матеріалу, а також від заданих якісних характеристик для готового матеріалу. Побудова даних режимів залежить від зміни параметрів сушильного агента в камері (температура та відносна вологість на початку сушіння (70%) та в кінці (8%).

За низькотемпературного режиму сушіння в якості сушильного агента приймається вологе повітря з початковою температурою прогрівання не менше 100 °С.

Для заданої специфікації (табл. 2.1.) обираємо нормальний режим сушіння, який забезпечує високу якість та міцність матеріалу з незначною зміною кольору. Даний режим рекомендується для сушіння пиломатеріалів внутрішнього призначення.

Параметри режиму сушіння хвойних пиломатеріалів наведено в табл.2.4.

Таблиця 2.4.

Характеристика режиму сушіння для камер періодичної дії

Характеристика п/м	Номер та індекс режиму	Біжуча вологість	Параметри режиму		
			t, °С	Δt, °С	φ
1	2	3	4	5	6
22x145 мм	Н	>70	57	8	0,65
		70-40	59	8	0,66
		40-30	60	10	0,61
		30-25	61	15	0,46
		25-20	63	19	0,37
		20-15	65	25	0,24
		<10	67	27	0,22

### 2.3.4. Визначення параметрів агента сушіння перед входом в штабель

В якості сушильного агента приймаємо вологе повітря.

Вологовміст  $d_1$ , ентальпію  $I_1$ , густину  $\rho_1$  та приведений питомий об'єм  $V_{np1}$  визначаємо за ід-діаграмою, або за формулою:

$$d_1 = 622 \cdot \frac{P_{n1}}{P_a \cdot P_{n1}}, \text{ г/кг.} \quad (2.20)$$

$P_{n1}$  – парціальний тиск водяної пари, Па;

$P_a$  – атмосферний тиск (101325 Па);

Оскільки, відносна вологість повітря визначається за формулою:

$$\varphi_1 = \frac{P_{n1}}{P_{n1}} \quad (2.21)$$

Парціальний тиск буде визначатися за наступною формулою:  $P_{n1} = \varphi_1 \cdot P_{n1}$

$$(2.22)$$

$$P_{n1} = 0,44 \cdot 21838,1 = 9499,57 \text{ Па.}$$

$P_{n1}$  – тиск насичення водяної пари за розрахункової температури режиму сушіння, Па.

$$d_1 = 622 \cdot \frac{9499,57}{101325 \cdot 9499,57} = 64,34 \text{ г/кг.}$$

Визначаємо тепловміст (ентальпію)  $I_1$  повітря:

$$I_1 = 1,0 \cdot t_1 + 0,001 \cdot d_1 \cdot (1,93 \cdot t_1 + 2490) \text{ кДж/кг.} \quad (2.23)$$

$$I_1 = 1,0 \cdot 62 + 0,001 \cdot 64,34 \cdot (1,93 \cdot 62 + 2490) = 230 \text{ кДж/кг.}$$

Густину повітря  $\rho_1$  визначають за формулою:

$$\rho_1 = \frac{349 - 132 \cdot \frac{d_1}{622 - d_1}}{T_1}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.24)$$

$$\rho_1 = \frac{349 - 132 \cdot \frac{64,3}{622 - 64,3}}{273 + 62} = 0,9963 \text{ кг/м}^3$$

$T_1$  – температура агента сушіння в градусах Кельвіна ( $t_1 + 273$ ).

Приведений питомий об'єм  $V_{np}$  визначають

$$V_{np1} = 4,62 \cdot 10^{-6} \cdot T_1 \cdot (622 + d_1), \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.25)$$

$$V_{npl} = 4,62 \cdot 10^{-6} \cdot (273+62) \cdot (622+64,3) = 1,062 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Параметри агента сушіння перед входом в штабель наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5.

Параметри агента сушіння перед входом в штабель

№ п/п	Параметри повітря	Позначення	Розмірність	Параметри агента сушіння
1	Температура	$t_c$	°С	62,0
2	Відносна вологість	$\varphi$	%	0,44
3	Вологовміст	$d$	г/кг.	64,3
4	Тепловміст	$I$	кДж/кг.	230
5	Парціальний тиск	$P_n$	Па	21838,1
6	Густина	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	0,9963
7	Питомий об'єм	$V_{npl}$	м <sup>3</sup> /кг	1,062
8	Температура вологого термометра	$t_m$	°С	52

### 2.3.5. Визначення об'єму та маси циркулюючого агента сушіння

Об'єм циркулюючого агента знаходять за наступною формулою:

$$V_{ц} = \omega_{шт} \cdot F_{ж.п.шт} \cdot C, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.26)$$

$\omega_{шт}$  – розрахункова швидкість циркуляції агента сушіння через штабель, м/с. Приймаємо 2 м/с.

$F_{ж.п.шт}$  – живий перетин штабеля (вільна площа штабеля перпендикулярно напрямку руху агента сушіння), м<sup>2</sup>.

$C$  – коефіцієнт використання повітряного потоку.  $C = 1,2$  для камер з рівномірним розподілом агента сушіння)

$$F_{ж.п.шт} = m \cdot l \cdot h \cdot (1 - \beta_s), \text{ м}^2 \quad (2.27)$$

$$F_{ж.п.шт} = 15 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot (1 - 0,5) = 10,8 \text{ м}^2$$

$m$  - кількість штабелів у площині, перпендикулярній руху циркулюючого агента сушіння, шт.

$l, h$  - довжина та висота штабеля, м;

$\beta_6$  - коефіцієнт заповнення штабеля по висоті.

$$V_u = 2 \cdot 10,8 \cdot 1,2 = 26 \text{ м}^3/\text{с}$$

Визначення маси циркулюючого агента сушіння на 1 кг випаровуваної вологи визначається за наступною формулою:

$$m_u = \frac{V_{\text{ц}}}{M_p \cdot V_{\text{пр1}}}, \text{ кг/кг} \quad (2.28)$$

$M_p$  – розрахункова маса вологи, яка випаровується в камері, кг/с;

$V_{\text{пр1}}$  – розрахунковий приведений питомий об'єм агента сушіння м<sup>3</sup>/кг.

$$m_u = \frac{26}{0,031 \cdot 1,062} = 793 \text{ кг/кг}$$

### **2.3.6. Визначення параметрів агента сушіння на вході із штабеля**

Агентом сушіння приймається вологе повітря.

Параметри вологого повітря на виході із штабеля в камерах періодичної дії ( $t_2, \varphi_2, d_2, I_2, \rho_2, V_{\text{пр.2}}$ ) визначені графоаналогічним способом. Для необхідно визначити  $d_2$  і побудувати теоретичний процес випаровування вологи на  $id$  – діаграмі, або за формулами:

$$d_2 = \frac{1000}{m_{\text{ц}}} + d_1, \text{ г/кг} \quad (2.29)$$

$$d_2 = \frac{1000}{793} + 64,3 = 66, \text{ г/кг}$$

Наступні параметри повітря ( $\varphi_2, \rho_2, V_{\text{пр.2}}$ ) при виході зі штабеля визначають за формулами, враховуючи, що  $I_2 = I_1$ .

Температуру ( $t_2$ ) агента сушіння після виходу зі штабеля визначають за формулою:

$$t_2 = \frac{I_2 - 2,49 \cdot d_2}{1,0 + 0,00193 \cdot d_2}, \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.30)$$

$$t_2 = \frac{230 - 2,49 \cdot 66}{1,0 + 0,00193 \cdot 66} = 59 \text{ }^\circ\text{C}$$

Відносна вологість повітря визначається за формулою (2.21):

$$\varphi_2 = \frac{P_{n2}}{P_{H2}}$$

$$\varphi_2 = \frac{9668,0}{19918,3} = 0,49 \%$$

Парціальний тиск визначають за формулою:

$$P_{n2} = \frac{d_2 \cdot Pa}{622 + d_2}, \text{ Па}$$

$$P_{n2} = \frac{66 \cdot 101325}{622 + 66} = 9668 \text{ Па}$$
(2.31)

Густина повітря  $\rho_2$  визначають аналогічно  $\rho_1$  формулою (2.24):

$$\rho_2 = \frac{349 - 132 \cdot \frac{d_2}{622 - d_2}}{T_2}, \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_2 = \frac{349 - 132 \cdot \frac{66}{622 - 66}}{273 + 59} = 1,004 \text{ кг/м}^3$$

Приведений питомий об'єм  $V_{np2}$  визначають аналогічно  $V_{np1}$  (2.25)

$$V_{np2} = 4,62 \cdot 10^{-6} \cdot T_2 \cdot (622 + d_2), \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{np2} = 4,62 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 59) \cdot (622 + 66) = 1,055 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Параметри агента сушіння на виході зі штабеля зведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6.

Параметри агента сушіння на виході зі штабеля

№ п/п	Параметри повітря	Позначення	Розмірність	Параметри агента сушіння
1	Температура	$t_{c2}$	°С	59
2	Відносна вологість	$\varphi_2$	%	0,49
3	Вологовміст	$d_2$	г/кг.	66
4	Тепловміст	$I_2$	кДж/кг.	230
5	Парціальний тиск (насих.)	$P_{n2}$	Па	19918,3
6	Густина	$\rho_2$	кг/м <sup>3</sup>	1,004
7	Питомий об'єм	$V_{np2}$	м <sup>3</sup> /кг	1,055
8	Парціальний тиск	$P_{n2}$	Па	9668

### **2.3.7. Визначення об'єму свіжого та відпрацьованого агента сушіння**

Маса свіжого і відпрацьованого агента сушіння на 1 кг випаровуваної води визначають за наступною формулою:

$$m_o = \frac{1000}{d_2 - d_0}, \text{ кг/кг} \quad (2.32)$$

$d_0$  – вологовміст свіжого повітря, г/кг. Якщо повітря надходить з приміщення, то  $d_0 = 10-12$  г/кг, а з навколишнього середовища  $d_0 = 10-12$  г/кг влітку і від 2 до 3 г/кг взимку.

$$m_o = \frac{1000}{66 - 10} = 17,9 \text{ кг/кг}$$

Об'єм свіжого повітря, яке надходить в камеру за секунду визначають за наступною формулою:

$$V_o = M_p \cdot m_o \cdot V_{np.o}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.33)$$

$V_{np.o}$  – приведений питомий об'єм свіжого повітря, м<sup>3</sup>/кг (за  $t = 20^\circ\text{C}$   $V_{np.o} = 0,87$  м<sup>3</sup>/кг).

$$V_o = 0,0308 \cdot 17,9 \cdot 0,87 = 0,48 \text{ м}^3/\text{с}$$

Об'єм відпрацьованого повітря визначають за формулою:

$$V_{відпр.} = M_p \cdot m_o \cdot V_{np2}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.34)$$

$V_{np2}$  – приведений питомий об'єм відпрацьованого повітря при виході зі штабеля, м<sup>3</sup>/кг.

$$V_{відпр.} = 0,308 \cdot 17,9 \cdot 1,055 = 0,584 \text{ м}^3/\text{с}$$

### ***Розрахунок-припливно витяжних каналів***

Площа поперечного перетину припливного каналу розраховується за наступною формулою:

$$f_{пр.кан.} = \frac{V_o}{\omega_{кан}}, \text{ м}^2 \quad (2.35)$$

$V_o$  – об'єм свіжого повітря, м<sup>3</sup>/с.

$\omega_{кан}$  – швидкість руху агента сушіння у припливно-витяжних каналах, приймаємо 2 м/с.

$$f_{пр.кан.} = \frac{0,48}{2} = 0,24 \text{ м}^2$$

Площа перерізу витяжного каналу визначається за формулою:

$$f_{\text{вит.кан.}} = \frac{V_{\text{відпр.}}}{\omega_{\text{кан.}}}, \text{ м}^2 \quad (2.36)$$

$$f_{\text{вит.кан.}} = \frac{0,584}{2} = 0,29 \text{ м}^2$$

Приймаємо 4 припливно-витяжних канали розміром 400 на 400 мм.  
Перетин каналів – квадратний.

### 2.3.8. Розрахунок витрат тепла на сушіння деревини

Місто будівництва – м. Рівне.

Витрата тепла на початковий нагрів  $1 \text{ м}^3$  деревини:

1) для зимових умов ( $\text{кДж/м}^3$ )

$$q_{\text{нагр}1\text{м}^3} = \rho \cdot C_{(-)} \cdot (-t_o) + \rho_b \frac{W_n - W_{н.з.}}{100} \gamma + \rho \cdot C_{(+)} \cdot t_{\text{нагр}} \quad (2.37)$$

$\rho$  – густина деревини для розрахункового матеріалу  $\text{кг/г}^3$  (діаграма рис. 2.3.);

$\rho_b$  – базисна густина розрахункового матеріалу, %;

$W_n$  – початкова вологість розрахункового матеріалу, %;

$W_{н.з.}$  – кількість незамерзлої вологи в деревині (визначаємо за рис. 2.2.)

$C_{(-)}$ ,  $C_{(+)}$  – середня питома теплоємність деревини при від’ємній та додатній температурі,  $\text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{нагр}}$  – температура деревини при її прогріві, для камер періодичної дії,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{нагр}} = t_1 + 5^\circ\text{C}$ , (температура першого ступеня прогріву +  $5^\circ\text{C}$ );

$\gamma$  – прихована теплота плавлення льоду, ( $\gamma = 335 \text{ кДж/кг}$ )

Для визначення питомої теплоємності приймається середня температура та початкова вологість деревини.

$$C_{(-)} t_{\text{сеп}} = \frac{t_o + 0}{2} \quad (2.38)$$

$$C_{(+)} t_{\text{сеп}} = \frac{0 + t_{\text{нагр}}}{2} \quad (2.39)$$

$$t_{\text{сеп}(-)} = \frac{-23 + 0}{2} = -11,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{сер(+)} = \frac{0+(62+5)}{2} = 33,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$q_{нагр1м3} = 250 \cdot 2,1 \cdot 23 + 415 \cdot \frac{70-17}{100} \cdot 33,5 + 250 \cdot 2,9 \cdot 67 = 134333,25 \text{ кДж/м}^3$$

2) для середньорічних умов (кДж/м<sup>3</sup>)

$$q_{нагр1м3} = \rho \cdot C_{(+)} \cdot (t_{нагр} - t_{ос.р}), \text{ кДж/кг}^3 \quad (2.40)$$

$t_{ос.р}$  – середньорічна температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$$t_{сер} = \frac{t_0 + t_{нагр}}{2}, \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (2.41)$$

$$t_{сер} = \frac{7+67}{2} = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Розраховуємо витрати тепла:

$$q_{нагр1м3} = 250 \cdot 2,9 \cdot (67-7) = 43500 \text{ кДж/кг}^3$$

Питомі витрати тепла при початковому нагріві деревини на 1 кг вологи, яка випаровується. Окремо визначається для зимових та середньорічних умов за наступною формулою:

$$q_{нагр} = q_{нагр1м3} / m_{1м3}, \text{ кДж/кг} \quad (2.42)$$

1) Для зимових умов:

$$q_{нагр} = \frac{134333,25}{257} = 522 \text{ кДж/кг}$$

2) Для середньорічних умов

$$q_{нагр} = \frac{43500}{257} = 169 \text{ кДж/кг}$$

Загальна витрата теплоти на камеру періодичної дії при початковому нагріві, для зимових та середньорічних умов розраховується за формулою:, для зимових та середньорічних умов розраховується за формулою:

$$Q_{нагр.} = \frac{q_{нагр1м3} \cdot E}{3600 \cdot \tau_{пр}}, \text{ кВт} \quad (2.43)$$

1) Для зимових умов

$$Q_{нагр} = \frac{134333,25 \cdot 24,2}{3600 \cdot 4} = 225,7 \text{ кВт}$$

2) Для середньорічних умов

$$Q_{\text{нагр}} = \frac{43500 \cdot 24,2}{3600 \cdot 3,5} = 83,5 \text{ кВт}$$

$\tau_{\text{пр}}$  – тривалість початкового прогрівання деревини в камері. Для хвойних порід 1...1,5 год влітку і 1,5...2 год взимку на кожен сантиметр товщини матеріалу;

Визначення витрати тепла на випаровування вологи:

Питомі витрати тепла на випаровування вологи в сушильних камерах з багаторазовою циркуляцією сушильного агента, кДж/кг

$$q_{\text{вип}} = 1000 \cdot \frac{I_2 - I_c}{d_2 - d_c} - C_v \cdot t_{\text{нагр}} \quad (2.44)$$

$I_2$  – тепловміст повітря при виході зі штабеля, кДж/кг;

$I_c$  – тепловміст свіжого повітря влітку  $I_c = 46$  кДж/кг і взимку  $I_c = 10$  кДж/кг.

$d_2$  – вологовміст повітря при виході зі штабеля, г/кг;

$d_c$  – вологовміст свіжого повітря влітку  $d_c = 10 - 12$  г/кг і взимку  $d_c = 2 - 3$  г/кг;

$t_{\text{нагр}}$  – температура прогрітої вологи в деревині, приймається рівною температурі початкового нагріву, °С;

$C_v$  – питома теплоємність води, приймається 4,19 кДж/кг·°С;

1) Для зимових умов

$$q_{\text{вип}} = 1000 \cdot \frac{230 - 10}{66 - 2} - 4,19 \cdot 67 = 3156,7 \text{ кДж/кг}$$

2) Для середньорічних умов

$$q_{\text{вип}} = 1000 \cdot \frac{230 - 46}{66 - 10} - 4,19 \cdot 67 = 3005 \text{ кДж/кг}$$

Загальна витрата теплоти на випаровування вологи визначають за формулою:

$$Q_{\text{вип}} = q_{\text{вип}} \cdot M_p, \text{ кВт} \quad (2.45)$$

1) Для зимових умов

$$Q_{\text{вип}} = 3156,7 \cdot 0,031 = 97,2 \text{ кВт}$$

2) Для середньорічних умов

$$Q_{\text{вип}} = 3005 \cdot 0,031 = 92,5 \text{ кВт}$$

Визначення втрат тепла через огороження камери

Втрати тепла через огороження камери розраховуються за наступною формулою:

$$Q_{oz} = F_{oz} \cdot k_{oz} (t_c - t_0) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (2.46)$$

$F_{oz}$  – площа окремо взятого огороження камери у блоку,  $\text{м}^2$ ;

$k_{oz}$  – коефіцієнт теплопередачі відповідного огороження камери,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

$t_c$  – температура середовища в камері,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_0$  – розрахункова температура навколишнього середовища для зимових та середньорічних умов,  $^\circ\text{C}$ ;

Визначаємо площі огорожень камери:

$$F_{бок.} = L \cdot H = 7,68 \cdot 5,53 = 44,47 \text{ м}^2;$$

$$F_{зд.} = B \cdot H = 7,52 \cdot 5,53 = 41,58 \text{ м}^2;$$

$$F_{прд.} = F_{зд.} - F_{дв.} = 41,58 - 27,74 = 13,84 \text{ м}^2;$$

$$F_{дв.} = b \cdot h = 7,3 \cdot 3,8 = 27,74 \text{ м}^2;$$

$$F_{ст.} = L \cdot B = 7,68 \cdot 7,52 = 57,75 \text{ м}^2;$$

$$F_{ст.} = F_{нид.} = 57,75 \text{ м}^2;$$

Коефіцієнт тепловіддачі для зовнішньої поверхні огороження,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{зовн.}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (2.47)$$

$\alpha_{вн}$  - коефіцієнт теплопередачі для внутрішньої поверхні огороження, приймається  $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

Коефіцієнт теплопередачі для кожної стіни камери:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,02}{240} + \frac{0,1}{0,07} + \dots + \frac{0,02}{240} + \frac{1}{23}} = 0,66 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Коефіцієнт теплопередачі для стелі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,02}{240} + \frac{0,16}{0,07} + \dots + \frac{0,02}{240} + \frac{1}{23}} = 0,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Коефіцієнт теплопередачі для підлоги:

$$k_{\text{нідл}} = 0,5 \cdot 0,66 = 0,33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$$

$\alpha_{\text{зовн.}}$  - коефіцієнт теплопередачі для зовнішньої поверхні огороження, приймається  $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  для відкритого повітря;

$\delta_1, \delta_2 \dots \delta_n$  – товщина шарів огороження, м;

$\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$  – теплопровідність матеріалів шарів огороження  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$ .

Коефіцієнт теплопровідності алюмінію –  $240 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$

Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати –  $0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$

Температуру середовища в камері приймають по середній розрахунковій температурі:

$$t_c = (t_1 + t_2) / 2 = (62 + 59) / 2 = 60,5 \text{ } ^\circ\text{С}$$

Розрахунок втрат тепла через огороження камери наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7.

Розрахунок втрат тепла через огороження камери

№ п/п	Назва і розміри огорожень	Площа, F ог., м2	k, Вт/(м2°С)	t c., °С	t0, °С		tc-t0, °С		Qог., кВт	
					зимова	сер. Річ.	зимова	сер. Річ.	зимові	сер. Річ.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Стеля	57,75	0,45	60,5	-23	7	83,5	53,5	2,17	1,39
2	Бокова стіна	42,47	0,66	60,5	-23	7	83,5	53,5	2,34	1,50
3	Задня стіна	41,58	0,66	60,5	-23	7	83,5	53,5	2,29	1,47
4	Передня стіна	13,84	0,66	60,5	-23	7	83,5	53,5	0,76	0,49
5	Двері	27,74	0,66	60,5	-23	7	83,5	53,5	1,53	0,98
6	Підлога	57,75	0,33	60,5	-23	7	83,5	53,5	1,59	1,02
<b>Разом</b>									<b>10,685</b>	<b>6,846</b>

Питомі втрати тепла через огороження камери, кДж/кг

$$q_{\text{ог}} = \frac{\sum Q_{\text{ог}}}{M_c}, \text{ кДж/кг} \quad (2.48)$$

$\sum Q_{\text{ог}}$  – загальна втрата тепла через огороження, кВт;

$M_c$  – маса вологи, яка випаровується з деревини за секунду:

1) Для зимових умов

$$q_{\text{ог}} = \frac{10,685}{0,024} = 451,2 \text{ кДж/кг}$$

2) Для середньорічних умов

$$q_{ог} = \frac{6,846}{0,024} = 289,1 \text{ кДж/кг}$$

Питомі втрати тепла на сушіння деревини для зимових та середньорічних умов визначають за наступною формулою:

$$q_{суш} = (q_{нагр} + q_{вип} + q_{ог}) \cdot C, \text{ кДж/кг} \quad (2.49)$$

$C$  – коефіцієнт, який враховує втрати тепла на початку нагрівання камери, обладнання та ін. Приймається в середньому від 1,1 до 1,3.

1) Для зимових умов

$$q_{суш} = (522,1 + 3157 + 451,2) \cdot 1,2 = 4749,6 \text{ кДж/кг}$$

2) Для середньорічних умов

$$q_{суш} = (169 + 3005 + 289) \cdot 1,2 = 3982,6 \text{ кДж/кг}$$

Питомі втрати теплоти на  $1\text{ м}^3$  розрахункового матеріалу визначають для зимових та середньорічних умов за наступною формулою:

$$q_{суш1м3} = q_{суш} \cdot m_{1м3}, \text{ кДж/м}^3 \quad (2.50)$$

$m_{1м3}$  – маса вологи, яка випаровується з  $1\text{ м}^3$  деревини.

1) Для зимових умов

$$q_{суш1м3} = 4749,6 \cdot 257 = 1222071 \text{ кДж/м}^3$$

2) Для середньорічних умов

$$q_{суш1м3} = 3982,6 \cdot 257 = 1024731 \text{ кДж/м}^3$$

### ***2.3.9. Вибір та розрахунок поверхні нагрівання калорифера***

Враховуючи технічну характеристику в камерах встановлюються пластинчасті біметалеві двохрядні калорифери марки ВН2-08 і ВН2-11.

#### ***Розрахунок поверхні нагрівання калорифера***

Кількість теплової енергії, яку передає калорифер за одиницю часу, розраховується через втрати тепла при сушінні в зимовий період за наступною формулою:

$$Q_k = (Q_{вип} \cdot \sum Q_{ог}) \cdot C_1, \text{ кВт} \quad (2.51)$$

$C_1$  – коефіцієнт неврахованого тепла на сушіння деревини ( $C_1 = 1,1-1,3$ ), приймаємо 1,2.

$$Q_k = (97,2 \cdot 10,685) \cdot 1,2 = 129,4 \text{ кВт}$$

Площа поверхні нагрівання калорифера визначається за наступною формулою:

$$F_k = \frac{1000 \cdot Q_k \cdot C_3}{k \cdot (t_T - t_c)}, \text{ м}^2 \quad (2.52)$$

$k$  – коефіцієнт теплопередачі калорифера,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$t_m$  – температура теплоносія (пара, вода),  $^\circ\text{C}$ ;

$t_c$  – температура сушильного агента в камері,  $^\circ\text{C}$ ;

$C_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує забруднення та корозію калорифера, приймаємо  $C_3 = 1,2$ .

Коефіцієнт теплопередачі  $k$  для біметалевих калориферів розраховують за наступною формулою:

$$k = 25,48 \cdot (\rho \cdot \omega_{\text{кал}})^{0,485} \cdot v_T^{0,127} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (2.53)$$

$\omega_{\text{кал}}$  – швидкість руху агента сушіння через калорифер,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\rho$  – густина агента сушіння,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$v_T$  – швидкість теплоносія по трубах калорифера, приймається від 0,2...0,1  $\text{м}/\text{с}$ .

Швидкість руху агента сушіння через калорифер визначають за наступною формулою:

$$\omega_{\text{кал}} = V_{\text{ц}} / F_{\text{ж.пер.к.}} \text{ м}/\text{с} \quad (2.54)$$

$F_{\text{ж.пер.к.}}$  – живий перетин калорифера (площа перетину калорифера перпендикулярна напрямку руху сушильного агента),  $\text{м}$ .

$V_{\text{ц}}$  – об'єм циркулюючого повітря в камері,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Після попереднього вибору та розміщення калориферів на схемі камери, площа живого перетину буде визначатися за наступною формулою:

$$F_{\text{ж.пер.к.}} = f_{\text{ж.пер.к.}} \cdot n_k, \text{ м}^2 \quad (2.55)$$

$f_{ж.пер.к.}$  – живий переріз для проходу агента сушіння одного калорифера, м<sup>2</sup>;  
 $n_k$  – кількість калориферів в одному ряді перпендикулярному потоку агента сушіння.

$$F_{ж.пер.к.} = 1,660 \cdot 3 + 0,392 \cdot 2 = 5,76 \text{ м}^2$$

Визначаємо швидкість руху агента сушіння через калорифер:

$$\omega_{кал} = \frac{26}{5,76} = 4,51 \text{ м/с}$$

$$k = 25,48 \cdot (0,9963 \cdot 4,51)^{0,485} \cdot 0,2^{0,127} = 43,04 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$F_k = \frac{1000 \cdot 129,4 \cdot 1,2}{43,04 \cdot (77 - 60,5)} = 219 \text{ м}^2$$

Кількість калориферів:

$$n_k = F_k / F$$

(2.56)

$F$  – площа нагрівання одного калорифера, м<sup>2</sup>

$$n_k = 190 / 61,7 = 3,07 \text{ шт.}$$

$$n_k = 29 / 14,8 = 1,95 \text{ шт.}$$

Виходячи з конструктивних особливостей приймаємо для встановлення в камеру 3 шт. пластинчастих біметалевих калориферів ВН2-11, і 2 шт. ВН2-08.

### 2.3.10. Визначення діаметрів трубопроводів

Розрахунок діаметрів проводився в Excel

Таблиця 2.8.

№ п/п	Назва труби	Діаметр, мм
1	Котел-камера	80 мм
2	До сушильної камери	50 мм
3	До калорифера в камері	40 мм
4	Магістраль до камери	100 мм

## 2.4. Аеродинамічний розрахунок

### 2.4.1. Складання схеми циркуляції агента сушіння в камері

На рис. 2.3. показана схема циркуляції агента сушіння в камері

### 2.4.2. Розрахунок тиску, який повинен створити вентилятор в камері

Повний тиск вентилятора  $H_v$  Па., дорівнює статичному тиску  $h_{ст.}$

$$h_{ст.} = \sum \Delta h_i \text{ Па.}, \quad (2.57)$$

$$\Delta h_i = \frac{\rho \cdot \omega_i^2}{2} \cdot \xi_i \text{ Па.}, \quad (2.58)$$

$\Delta h_i$  - статичний опір на відповідній ділянці, Па;

$\rho$  - густина агента сушіння, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega_i$  - швидкість руху агента сушіння на відповідній ділянці, м/с;

$\xi_i$  - коефіцієнт місцевого опору на певній ділянці (для осьових вентиляторів 0,8, для інших ділянок визначаємо за додатками 25...29).

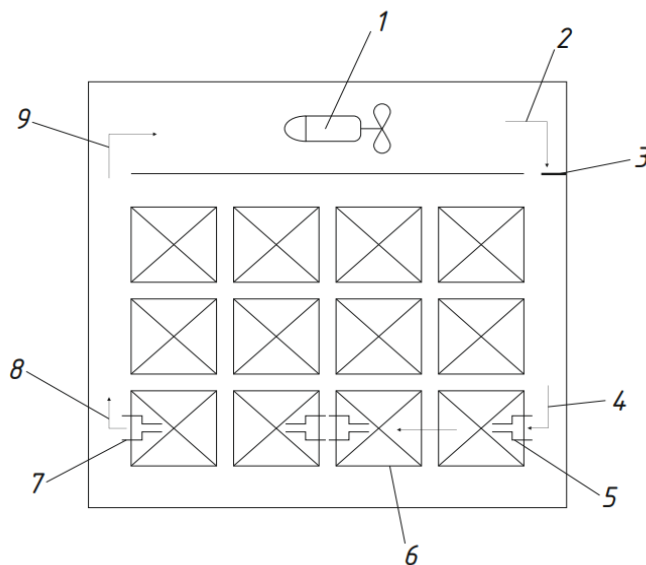


Рис. 2.3. Схема циркуляції агента сушіння в камері: 1 – вентилятор; 2,4,8,9 – поворот під кутом 90°; 3 – калорифер; 5 – раптове звуження; 6 – штабель; 7 – раптове розширення.

Швидкість руху агента сушіння на певній ділянці:

$$\omega_i = V_y / f_i, \text{ м/с} \quad (2.59)$$

$V_y$  – об'єм циркулюючого агента сушіння,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$f_i$  – площа певної ділянки перпендикулярної потоку агента сушіння,  $\text{м}^2$ .

$$V_y = 26 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\rho = 0,9963 \text{ кг/м}^3$$

Розрахунок для кожної ділянки ведеться окремо.

Ділянка 1. Вентилятор.

$$f_1 = \frac{\pi \cdot D_B^2}{4} \cdot n_6, \text{ м}^2 \quad (2.60)$$

$D_B$  – діаметр ротора вентилятора, приймаємо 0,8 м.

$n_6$  – число вентиляторів в камері,  $n = 5$  шт.

$$f_1 = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot 5 = 2,5 \text{ м}^2$$

$$\omega_1 = 26 / 2,5 = 10,4 \text{ м/с}$$

$$\Delta h_1 = \frac{0,9963 \cdot 10,4^2}{2} \cdot 0,8 = 43,10 \text{ Па.},$$

Ділянка 2, 4, 8, 9. Поворот під кутом  $90^\circ$ .  $\xi_{\text{пов.}} = 1,1$

$$f_2 = 6,6 \cdot 1,1 = 7,26 \text{ м}^2$$

$$\omega_2 = 26 / 7,26 = 3,58 \text{ м/с}$$

$$\Delta h_2 = \frac{0,9963 \cdot 3,58^2}{2} \cdot 1,1 \cdot 4 = 28,09 \text{ Па.},$$

Ділянка 3. Калорифер.

$$\Delta h_3 = 6,94 \cdot (\omega_{\text{кл.}} \cdot \rho)^{1,716}, \text{ Па.},$$

$$\Delta h_3 = 6,94 \cdot (4,51 \cdot 0,9963)^{1,716} = 91,44 \text{ Па.}, \quad (2.61)$$

Ділянка 5. Вхід в штабель.

$$f_5 = F_{\text{ж.пер.шт.}} = 10,8 \text{ м}^2$$

$$\omega_5 = \omega_{\text{шт.}} = 2 \text{ м/с}$$

$$\frac{f_5}{F} = \frac{10,8}{1,2 \cdot 6 \cdot 3} = 0,45$$

$$\Delta h_5 = \frac{0,9963 \cdot 2^2}{2} \cdot 0,18 \cdot 4 = 1,4 \text{ Па.},$$

Ділянка 6. Штабель.

$$\Delta h_6 = \frac{0,9963 \cdot 2^2}{2} \cdot 10,5 \cdot 4 = 83,6 \text{ Па.},$$

Ділянка 7. Вихід з штабеля.

$$f_7 = F_{\text{ж.пер.шт.}} = 10,8 \text{ м}^2$$

$$\omega_7 = \omega_{\text{шт.}} = 2 \text{ м/с}$$

$$\frac{f_7}{F} = \frac{10,8}{1,2 \cdot 6 \cdot 3} = 0,45$$

$$\Delta h_7 = \frac{0,9963 \cdot 2^2}{2} \cdot 0,25 \cdot 4 = 2 \text{ Па.},$$

Результати розрахунку опору зводимо в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

№ ділянок п/п	Назва ділянок	Густина агента сушіння $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Швидкість агента сушіння $\omega$ , м/с	Коефіцієнт місцевого опору, $\xi$ місц.	Опір на відповідній ділянці, Па.,
1	2	3	4	5	6
1	Вентилятор	0,9963	10,4	0,8	43,1
2,4,8,9	Поворот під кутом 90°	0,9963	3,58	1,1	28,3
3	Калорифер	0,9963	4,51	-	91,44
5	Вхід в штабель	0,9963	2	0,18	1,4
6	Штабель	0,9963	2	10,5	83,6
7	Вихід із штабеля	0,9963	2	0,25	2
<b>Разом:</b>					<b>249,84</b>

## **2.5. Вибір вентилятора, розрахунок потужності та вибір електродвигуна**

### **2.5.1. Вибір вентилятора**

Вентилятор вибираємо за технічною характеристикою, враховуючи його продуктивність  $V_v$ , м<sup>3</sup>/с та приведений тиск,  $H_{пр}$  Па.

Продуктивність вентилятора розраховуємо за наступною формулою:

$$V_{\epsilon} = V_{\psi} / n_{\epsilon}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.62)$$

$n_{\epsilon}$  – кількість вентиляторів в камері, шт.

$$V_{\epsilon} = 26 / 5 = 5,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

У технічних характеристиках вентиляторів вказані їх параметри при температурі  $t = 20^{\circ}\text{C}$ , відносній вологості  $\varphi = 0,5$  та густині  $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Якщо густина повітря відрізняється від густини повітря за технічними характеристиками, то обирають за приведеним тиском  $H_{np}$ , Па., який розраховують за наступною формулою:

$$H_{np.} = \frac{h_{ст} \cdot 1,2}{\rho}, \text{ Па.} \quad (2.63)$$

$$H_{np.} = \frac{249,84 \cdot 1,2}{0,9963} = 300,9 \text{ Па.}$$

У зв'язку з необхідністю, для нереверсивних вентиляторів збільшуємо продуктивність на 10%, а тиск - на 25%.

$$V_{\epsilon} = 5,2 \cdot 1,1 = 5,72 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$H_{np} = 300,9 \cdot 1,25 = 376 \text{ Па.}$$

Приймаємо реверсивний вентилятор діаметром 0,8 м (ВО №8)

### **2.5.2. Розрахунок потужності та вибір електродвигуна**

Необхідну потужність електродвигуна, яка потрібна для приводу вентилятора, розраховують за наступною формулою:

$$N_{\epsilon} = \frac{h_{ст} \cdot V_{\psi}}{\eta_{\psi} \cdot \eta_{т}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.} \quad (2.64)$$

$\eta_{\psi}$  – коефіцієнт корисної дії вентилятора;

$\eta_{т}$  – коефіцієнт корисної дії передачі (якщо вентилятор встановлений на валу електродвигуна -1, якщо електродвигун і вентилятор з'єднані через муфту – 0,95; через клинопасову передачу – 0,9...0,95).

Електродвигун обирається за встановленою потужністю.

$$N_{\epsilon} = \frac{249,86 \cdot 5,2}{0,68 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 1,91 \text{ кВт.}$$

Встановлена потужність розраховується за наступною формулою:

$$N_{вст.} = N_6 \cdot K_3, \text{ кВт.} \quad (2.65)$$

$K_3$  – коефіцієнт запасу потужності на пусковий момент, приймаємо 1,05.

$$N_{вст.} = 1,91 \cdot 1,05 = 2 \text{ кВт.}$$

Вибираємо електродвигун Sg100L-4B з потужністю 3 кВт та 1415 обертів.

Таблиця 2.10.

Технічна характеристика обладнання.

№ п/п	Назва показників	Одиниці вимірювання	Значення показників
1	Тип калорифера	шт.	(3шт.– ВН2-11; 2 шт. - ВН2-08)
2	Поверхня нагрівання	м²	61,7; 14,8
3	Тип вентилятора	-	ВО №8
4	Кількість вентиляторів	шт.	5
5	Встановлена потужність електродвигунів	кВт	3

## 2.6. Розрахунок транспортного обладнання

### 2.6.1. Розрахунок автотранспорту

Продуктивність автотранспорту розраховують за наступною формулою:

$$P = K_p \cdot \frac{T_{зм} \cdot E_{шт}}{\frac{L_n}{\omega_1} + \frac{L_n}{\omega_2} + t_d} \quad (2.66)$$

$K_p$  – коефіцієнт використання робочого часу, приймається рівним 0,8;

$T_{зм}$  – тривалість зміни, хв.;

$E_{шт}$  – об'єм пакета або штабеля, м³;

$L_n$  – середня довжина перевезення, м;

$\omega_1$  – швидкість руху транспортного обладнання з вантажем, м/хв;

$\omega_2$  – швидкість руху транспортного обладнання, але без вантажу, м/хв;

$t_d$  – тривалість додаткових операцій за один проїзд, хв.;

Кількість транспортних засобів

$$n = \frac{Q_{зм} \cdot K_H}{\Pi \cdot \eta_{обл.}}, \text{ шт.} \quad (2.67)$$

$Q_{зм}$  – кількість матеріалу, яку потрібно перевезти за одну зміну, м<sup>3</sup>.

$K_H$  – коефіцієнт нерівномірності вантажопотоків, приймається від 1,25-1,4;

$\eta_{обл.}$  – коефіцієнт використання транспортного обладнання ( $\eta_{обл.} = 0,7-0,8$ )

$$Q_{зм} = \frac{\Sigma\Phi}{T_{річ} \cdot m}, \text{ м}^3/\text{зміну} \quad (2.68)$$

$$Q_{зм} = \frac{3900}{335 \cdot 1} = 11,64 \text{ м}^3/\text{зміну}$$

$\Sigma\Phi$  – фактичний річний об'єм висушених пиломатеріалів, м<sup>3</sup>;

$T_{річ}$  – річний фонд робочого часу, діб;

$m$  – число змін роботи обладнання;

Розрахунок автотранспорту

$$\Pi = 0,8 \cdot \frac{480 \cdot 4,32}{\frac{100}{120} + \frac{100}{300} + 5} = 269 \text{ м}^3/\text{зміну}$$

Кількість транспортних засобів

$$n = \frac{11,64 \cdot 1,3}{269 \cdot 0,75} = 0,075 \text{ шт.}$$

Через малий відсоток завантаження, автотранспорту для сушильної ділянки не приймається. Для потреб сушильної ділянки будуть використовуватися автотранспорту, які вже наявні на підприємстві.

## **2.7. Розрахунок кількості електроенергії**

### **2.7.1. Розрахунок річної потреби в силіній електроенергії**

Необхідну кількість силіній електроенергії розраховують за наступною формулою:

$$W_a = \Sigma N_{вст.} \cdot \tau_{роз.} \cdot \frac{K_3 \cdot K_0}{K_D \cdot K_{вт.}}, \text{ кВт} \cdot \text{год.}/\text{рік} \quad (2.69)$$

$\Sigma N_{вст.}$  – сума потужності всіх електродвигунів;

$\tau_{роз}$  – розрахункова тривалість роботи всіх електродвигунів (365 діб);

$K_3$  – коефіцієнт електродвигунів;

$K_o$  – коефіцієнт, що враховує одночасність роботи електродвигунів;

$K_{втр}$  – коефіцієнт втрат в електромережі;

$K_\delta$  – допоміжний коефіцієнт;

Розрахункова тривалість роботи двигунів (365 діб):

$$\tau_{розр} = [365 - (B + C)] \cdot \tau_{зм} \cdot n, \text{ год.} \quad (2.70)$$

$B$  – кількість вихідних днів;

$C$  – кількість святкових днів;

$\tau_{зм}$  – тривалість зміни, год.;

$n$  – кількість робочих змін.

Тривалість зміни становить 8 год, кількість робочих змін – 3.

$$\tau_{розр} = 335 \cdot 8 \cdot 3 = 8040 \text{ год.}$$

Тривалість завантаження камери:

$$\tau_{зав} = n_{зав} \cdot \tau_{1зав}. \quad (2.71)$$

$n_{зав}$  – середньозважена кількість камерооборотів, об/рік;

$\tau_{1зав}$  – тривалість завантажувально-розвантажувально робіт, год.;

Середньозважену кількість камерооборотів розраховуємо за наступною формулою:

$$n_{зав} = \frac{\sum n_i \cdot V_i}{\sum V_i}, \text{ об/рік} \quad (2.72)$$

$n_i$  – кількість камерооборотів відповідного п/м, об/рік; (табл. 2.3)

$V_i$  – фактичний річний об'єм відповідного пиломатеріалу, м<sup>3</sup>;

$$n_{зав} = \frac{15 \cdot 1000 + 18,8 \cdot 900 + 21,6 \cdot 800 + 101,9 \cdot 1200}{3900} = 43,96 \text{ об/рік}$$

тоді

$$\tau_{n.p.1} = 43,96 \cdot 2,4 = 106 \text{ год/рік}$$

$\tau_{n.p.1}$  – примусові технологічні зупинки;

Тривалість охолодження для висушених матеріалів становить 1 год. на 1 см. товщини матеріалу, розраховуємо за формулою:

$$\tau_{ox} = n_{зав} \cdot I \cdot S_{сер} \quad (2.73)$$

$S_{сер}$  – середньозважена товщина висушеного матеріалу, см.

$$S_{сер} = 0,1 \cdot \frac{\sum S_i \cdot V_i}{\sum V_i} \quad (2.74)$$

$S_i$  – товщина відповідного пиломатеріалу, мм. (табл.2.1.)

Знаходимо середньозважену товщину

$$S_{сер} = 0,1 \cdot \frac{32 \cdot 1000 + 32 \cdot 900 + 32 \cdot 800 + 22 \cdot 1200}{3900} = 2,8 \text{ см}$$

$$\tau_{ox} = 43,96 \cdot 1 \cdot 2,8 = 123 \text{ год/рік}$$

Реальний час роботи камери за цілий рік:

$$\tau_{розр} = 8040 - (106 + 123) = 7811 \text{ год.}$$

### 2.7.2. Розрахунок потреби електроенергії на освітлення

Загальні витрати електроенергії на освітлення

$$W_{осв.} = F \cdot P_n \cdot K_n \cdot \tau_{роб} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (2.75)$$

$W_{осв.}$  – річна витрата електроенергії для освітлення приміщення, кВт·год.;

$F$  – площа приміщень, м<sup>2</sup>;

$P_n$  – питома потужність на освітлення, Вт/м<sup>2</sup>;

$K_n$  – коефіцієнт попиту, який враховує неодноразовість роботи всіх освітлювальних приладів;

$\tau_{роб}$  – кількість робочих годин освітлювальних приладів на протязі цілого року, год/рік.

Для сушильного цеху кількість робочих днів складає 335, а середня тривалість роботи освітлювальних приладів становить – 11 год.

Коридор керування  $\tau_{роб} = 335 \cdot 9 = 3015$  год.

Зовнішнє освітлення  $\tau_{роб} = 365 \cdot 11 = 4015$  год.

Розрахунок витрат електроенергії на освітлення зводимо в табл. 2.9.

Таблиця 2.9.

## Розрахунок витрат електроенергії на освітлення

№ п/п	Назва споживача	Кількість споживачів, шт.	Серія і тип електродви-гуна	Потужність електродвигуна, кВт	Кількість електродвигунів на всіх споживачів, шт	Встановлена потужність $N_{вст}$ , кВт	Коефіцієнт попиту $K_{п}$	Розрахункова потужність $N_{розр}$ , кВт	Тривалість роботи обладнання, год/рік	Річна потреба в електроенергії $W_a$ , кВт·год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Суш. камера	4								
1	Електродвигуни приводу вентиляторів	5	Simens Sg100 L-4B	3	20	60	0,8	48	7811	374928
2	Помпа	4	WILO Top S-50/7	0,6	4	2,4	0,8	1,92	7811	14997
3	Автоматика	4	МК-520	0,7	4	2,8	0,8	2,24	7811	17497
<b>Разом</b>										<b>407422</b>

## Витрата електроенергії на освітлення

№ п/п	Назва споживача	Площа приміщення F, м <sup>2</sup>	Мінімальна освітленість P, лк	Питома потужність P <sub>п</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	Встановлена потужність освітлювальних приладів N <sub>вст</sub> , кВт	Коефіцієнт попиту K <sub>п</sub>	Розрахункова потужність N <sub>розр</sub> , кВт	Тривалість роботи освітлювальних приладів, год./рік	Річна потреба в електроенергії W <sub>ос</sub> , кВт·год.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Коридор управління	16	40	15	0,12	0,8	0,096	3015	289
2	Зовнішнє освітлення	600	0,8	0,2	0,018	11	0,018	4020	73
<b>Разом</b>									<b>362</b>

**2.8. Розрахунок опалення і вентиляції****2.8.1. Встановлення метрологічних параметрів цеху**

Згідно з санітарними нормами температура повітря у виробничих приміщеннях повинна становити від 18 до 23 °С, відносна вологість від 60-80% і швидкість руху повітря 0,2 – 0,3 м/с.

**2.8.2. Визначення витрат тепла в приміщеннях**

Тепловий баланс коридору керування і приміщення для охолодження матеріалу.

Рівняння балансу тепла у коридорі керування можна записати наступним чином:

$$Q_{заг2} = Q_{ог} - \sum Q_{т.в.}, \text{ кВт} \quad (2.76)$$

$Q_{ог}$  – втрата тепла через огородження, кВт;

$\sum Q_{т.в.}$  – сума всіх тепловиділень в приміщень, кВт;

$$Q_{oz} = q_o V_{б\ddot{y}d} (t_{нов} - t_{опал.}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (2.77)$$

$q_o$  – теплова характеристика будівлі, Вт/(м<sup>3</sup>·С);

$V_{б\ddot{y}d}$  – об'єм будівлі та коридор керування, м<sup>3</sup>;

$t_{нов}$  – температура повітря в приміщенні, °С;

$t_{опал.}$  – температура зовнішнього повітря для опалення, °С;

$$Q_{oz} = 0,7 \cdot 87,8 \cdot (20 + 21) \cdot 10^{-3} = 2,52 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_{m.в.} = Q_{m.в.оз.} + \sum Q_{m.в.тр.}, \text{ кВт} \quad (2.78)$$

$Q_{m.в.оз.}$  – тепловиділення від бокових стін камери, які виходять в коридор керування, кВт, (формула 2.46);

$\sum Q_{m.в.тр.}$  – тепло, яке виділяється від паро- і повітропроводів розташованих в коридорі керування, кВт ( $Q = 1,5-2$ ), приймаємо 2.

$$Q_{m.в.оз.} = (7,68 \cdot 5,61) = 43,08 \cdot 0,66 \cdot (62 - 20) = 1194 \cdot 10^{-3} = 1,19 \cdot 2 = 2,38$$

$$\sum Q_{m.в.} = 2,38 + 2 = 4,38 \text{ кВт.}$$

$$Q_{заг} = 2,52 - 4,38 = - 1,86 \text{ кВт.}$$

### **2.8.3. Підбір і розрахунок опалювального-вентиляційного обладнання**

Розраховуємо необхідний повітрообмін:

$$V = \frac{Q_{заг}}{C \cdot \rho (t_1 - t_2)}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.79)$$

$Q_{заг}$  – надлишкові тепловиділення, кВт;

$C$  – теплоємність сухого повітря, приймається 1 кДж/кг·°С;

$t_1, t_2$  – температура припливного і видаленого повітря, °С;

$t_1, t_2 = 5^\circ\text{С}$ .

$$V = \frac{1,8}{1 \cdot 0,9963 \cdot 5} = 0,361 \text{ м}^3/\text{с}$$

Приймаємо віконний вентилятор Vents 8, продуктивністю 0,2 м<sup>3</sup>/с.

### 2.8.4. Розрахунок річної потреби в воді

1) Витрати води на протипожежні потреби розраховуються за наступною формулою:

$$V_{\text{пож}} = \frac{52 \cdot (600 \cdot m_3 + 300 \cdot m_в)}{1000} \text{ т/рік} \quad (2.80)$$

5 – тривалість щотижневої перевірки роботи гідранта, хв.;

$m_3, m_в$  – кількість зовнішніх і внутрішніх гідрантів (приймаємо 1 гідрант на площу від 300 до 500 м<sup>2</sup>);

52 – кількість тижнів в розрахунковому році;

600, 300 – витрата води одним гідрантом під час чергової перевірки;

$$V_{\text{пож.}} = \frac{52 \cdot (600 \cdot 1 + 300 \cdot 1)}{1000} = 234 \text{ т/рік}$$

2) Витрати води на побутові потреби:

$$B = 65 \cdot m \cdot n \cdot \tau_{\text{річ}} \cdot 10^{-3} \text{ т/рік}$$

$m$  – кількість людей, які працюють в зміну;

$n$  – кількість змін роботи в цеху;

$\tau_{\text{річ}}$  – кількість робочих змін в році, приймаємо 235 діб;

$$B = 65 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 46 \text{ т/рік}$$

3) Вода в системі: 2 т/рік – на 4 камери;

4) Витрата води на сушіння: 200 кг/зм. – 4 камери

5) В рік  $0,2 \cdot 335 = 67$  т/рік

6) Загальна потреба у воді:

$$V_{\text{заг.}} = 234 + 46 + 67 + 2 = 349 \text{ т/рік}$$

Проектом передбачено використання дров та технологічних відходів.

$(3900 \cdot 0,3) \cdot 1,1 = 1287 \text{ м}^3$ . Загальна потреба дров становить  $1287 \text{ м}^3$ .

## ***2.9. Зведена відомість необхідної кількості обладнання сушильної дільниці***

Таблиця 2.11

### **Зведена відомість обладнання**

№ п/п	Назва обладнання	Кіль-кість	Примітка
1.	Сушильна камера Katres KAD 1×6 S	4	
2.	Вологомір ВВД- 570	1	

## ***2.10. Розробка креслень сушильної камери та плану цеху***

Проект сушильної дільниці передбачає розміщення чотирьох сушильних камери, для сушіння пиломатеріалів, а також коридору керування, з якого буде здійснюватися контроль та моніторинг процесу сушіння.

Для забезпечення безперервного виробничого процесу в межах сушильної дільниці передбачено організацію спеціальних майданчиків та критих складів (навісів) для формування штабелів та зберігання готової продукції.

Загальне планування сушильного цеху виконано з урахуванням раціонального транспортування сировини та готової продукції, а також з дотриманням вимог пожежної безпеки та охорони праці.

### **3. ОХОРОНА ПРАЦІ**

#### **3.1. Аналіз умов праці на підприємстві та вплив підприємства на довкілля**

Для сучасних підприємств набуває досить важливого значення не тільки економічна діяльність, а й дотримання безпечних умов праці.

Виробничі умови на ТОВ «Українська лісопереробна компанія» відповідають всім вимогам та сучасним стандартам. Всі робітники ознайомлені з технікою безпеки на підприємстві. Компанія забезпечує всім працівникам безпечні та гідні умови праці згідно всіх законодавчих вимог. Приміщення кожного цеху має освітлення та вентиляцію, для працівників передбачена відпочинкова зона, їдальня-кафе та гуртожиток на 30 місць. Опалення в приміщеннях забезпечує котельня, яка працює на виробничих відходах підприємства.

У нашому випадку, ми розглядаємо безпечні умови праці для сушильного цеху. Структура даної ділянки досить складна, оскільки складається з різних виробничих приміщень та великої кількості технологічного обладнання. На цій ділянці відбуваються наступні технологічні операції, а саме: формування штабелів, завантаження-розвантаження сушильних камер, технологічна витримка та відсорткування технологічного браку (за наявності).

Основні санітарні норми для виробничих приміщень описані в ДСН 3.3.6.042-99. Під час проектування потрібно враховувати всі санітарні характеристики технологічних процесів та дотримуватися відповідних норм щодо використання виробничої площі на одного робітника, з врахуванням ширини проходів, для зручної та безпечної експлуатації обладнання. Для виробничих приміщень з високою інтенсивністю шуму та вібрацій використовувати ДБН В.1.2.-10:2021.

Розташовані споруди на території мають відповідати всім нормам проектування промислового виробництва з врахування пожежної безпеки, згідно з ДБН В.1.2.-7:2021.

Сушильна дільниця для деревних матеріалів має вплив на довкілля, через наступні чинниками:

- 1) Утворення діоксиду вуглецю, оксиду азоту, сажі та пилу при спалюванні деревних відходів у котельні;
- 2) Надмірне шумове та вібраційне навантаження під час роботи вентиляторів, двигунів та транспортних механізмів.
- 3) Викиди гарячого повітря в атмосферу, що може впливати клімат;

### ***3.2.1. Характеристика факторів виробничого процесу та умов праці на території сушильної дільниці***

У всіх технологічних процесах, що відбуваються на підприємстві, задіяна велика кількість технологічного обладнання та робітників. Під час реалізації процесу сушіння виникає ряд небезпечних факторів, що можуть негативно впливати на загальний стан здоров'я робітників, які працюють на цій дільниці.

До основних шкідливих та небезпечних виробничих факторів на сушильній дільниці відносяться:

- 1) Високі температурні значення (від 60°C до 130°C);
- 2) Підвищена вологість;
- 3) Шум від роботи вентиляторів та двигунів;
- 4) Утворення деревного пилу;
- 5) Процес завантаження та розвантаження готової продукції;

Проаналізувавши технологічний процес даного проекту, нам необхідно забезпечити відповідні умови праці для комфорту та безпеки працюючого персоналу під час роботи в сушильному цеху. Кожен працівник, під час прийняття на роботу, обов'язково має ознайомитися з інструктажем з техніки безпеки та пройти відповідний медогляд. Також, підприємство має забезпечити робітників відповідними засобами індивідуального захисту, а саме: спецодяг, захисні рукавиці та окуляри, респіратори (маски), навушники та спецвзуття відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 13688:2016.

Окрім, вище перерахованих факторів, значний вплив на умови праці, мають наступні показники: освітлення, вентиляція виробничих приміщень, опалення, мікроклімат (швидкість повітря, відносна вологість та температура), рівень шуму та наявність шкідливих речовин.

Для запобігання цих факторів, на підприємстві слід встановлювати припливно-витяжні канали з шумоглушниками та пилоуловлювачі, для кращого повітрообміну та зменшення рівня шуму в приміщенні з дотриманням санітарних норм для виробничих приміщень. Також, необхідна регулярна перевірка та ремонт найбільш шумного обладнання, оскільки високий рівень шуму може свідчити про певні технічні несправності обладнання.

### ***3.1.3. Екологічний стан підприємства***

Будь-яке деревообробне підприємство, що займається переробкою та утилізацією деревини, має досить значний вплив на навколишнє середовище. Оскільки, на підприємстві є котельня, яка працює на технологічних відходах та забезпечує теплом всі виробничі та адміністративні будівлі, але в процесі спалювання утворюється певна кількість діоксиду вуглецю, сажі та золи, що негативно впливає на стан навколишнього середовища. Також, відбувається забруднення стічних води, які задіяні в певних технологічних процесах на виробництві, що також має негативний вплив.

Основні джерела забруднення навколишнього середовища на підприємстві:

- 1) Викиди вуглецю, сажі, золи та сірчаного ангідриду, під час спалювання деревних відходів в котельні;
- 2) Шумове та вібраційне забруднення, що виникає під час роботи вентиляторів у сильних камерах;
- 3) Пилове забруднення повітря, під час операцій різання або шліфування деревини;
- 4) Викид летких органічних сполук під час сушіння смоляних порід деревини, які можуть впливати на якість повітря;
- 5) Забруднення стічних вод в процесі очистки води.

## ***3.2. План заходів та вимог на дільниці під час сушіння деревини та обґрунтування технологічного процесу***

### ***3.2.1. Загальна характеристика місця роботи***

Основним робочим місцем для оператора сушильних камер є коридор управління – це будівля загальною площею 16 м<sup>2</sup> та висотою 2 м. Знаходиться в безпосередній близькості до сушильним обладнанням. З цього приміщення здійснюється контроль та керування основними параметрами камери, оскільки, тут знаходиться вся автоматика. До будівлі підведений ізольований кабель та багато інших електричних пристроїв з високим рівнем напруги, що забезпечують якісну роботу сушильного цеху.

Для освітлення даного приміщення буде використовуватися штучне освітлення. Вентиляцію будуть забезпечувати віконні вентилятори фірми Vents, що забезпечить хороший повітрообмін в приміщенні. Всі електричні установки, що застосовуються на підприємстві, мають відповідати всім чинним вимогам «Правил технічної експлуатації електроустановок» згідно Закону України «Про електроенергетику» від 27 липня 2006 року.

Каркас будівлі виготовлений із металевої конструкції та обшитий алюмінієвими листами. В якості теплоізоляційного матеріалу буде використовуватися скловата  $\lambda=0,07$  Вт/(м·°С).

Оператор даної дільниці працює в умовах з підвищеною вологістю, температурою, пилом та надмірним шумом, тому при проектуванні виробничих приміщень, потрібно дотримуватися наступних санітарних норм згідно ДСН 3.3.6.042-99: відносна вологість повітря 60 – 40 %, швидкість руху повітря від 0,1 до 0,4 м/с, температура від 20 до 22°С для літніх умов, та 17-19°С для зимових умов.

Основне завдання оператора сушильної дільниці полягає в спостереженні за параметрами сушіння, регулювання температури та вологовмісту в камері. Також, він відповідає за рівномірне завантаження камери, усунення технічних неполадок при роботі та веде облік сировини, що завантажується та розвантажується. Перед початком роботи обов'язково має

пройти інструктаж з техніки безпеки та мати при собі відповідні засоби індивідуального захисту.

### ***3.2.2. Загальні вимоги безпеки під час сушіння деревини***

Під час процесу сушіння слід дотримуватися загальних вимог безпеки для уникнення травм робітників та пожеж, що забезпечить якісну роботу.

Основні вимоги безпеки під час сушіння включають наступні правила:

- ✓ Всі сушильні пристрої мають проходити відповідне технічне обслуговування (вентиляційна система, нагрівні елементи тощо);
- ✓ Для зменшення шуму та вібрацій, під час роботи вентиляторів, їх встановлюють на спеціальних віброопорах;
- ✓ Кожен нагрівний елемент в камері, має мати бути захищений термоізоляційним матеріалом;
- ✓ Камери мають мати справну автоматику та автоматичну систему пожежогасіння з датчиками диму. Також, під час процесу сушіння, мають бути справні вогнегасники;
- ✓ У приміщеннях, де працюють люди, має забезпечуватися відповідна вентиляція, щоб уникнути накопичення зайвої вологи та шкідливих речовин;
- ✓ Кожен працівник, має бути навчений правилам з техніки безпеки та мати відповідні засоби індивідуального захисту;
- ✓ Під час транспортування або укладання сушильних пакетів, кожен робітник має знаходитися на безпечній відстані від автонавантажувача (орієнтовно не ближче 6 м);
- ✓ Під час завантаження та процесу сушіння в камерах не повинні знаходитися люди;
- ✓ Працювати з транспортним обладнанням на підприємстві дозволяється лише особам, що досягли 18 річного віку, та мають на це відповідне право на керування транспортними засобами;

✓ Для безпеки робітника, під час процесу завантаження, весь пакет пиломатеріалів має бути рівномірно розподілений на двох вилках автонавантажувача, та не перевищувати його загальної висоти;

### ***3.2.3. Обґрунтування вибору технологічного процесу з точки зору безпеки праці***

Усі технологічні процеси, які відбуваються на деревообробному підприємстві мають організовуватися відповідно до основних вимог правил пожежної безпеки для будівель та споруд на етапах проектування, будівництва та експлуатації згідно з ДБН В.1.2.-7:2021.

Для забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям необхідно проводити інструктаж та регулярне навчання персоналу з питань техніки безпеки. Відповідні інструкції мають бути розміщені на видному місці та вчасно оновлюватися у разі зміни технологічного процесу або обладнання.

Транспортування лісоматеріалів та інших деревних матеріалів повинно здійснюватися згідно з правилами та інструкціями, затвердженими роботодавцем, що регулюють експлуатацію транспортних засобів, які використовуються на підприємстві.

Кожен процес слід виконувати на відповідному технологічному обладнанні згідно з його технічною документацією та інструкцією щодо використання. Все задіяне обладнання повинно забезпечувати неможливість небезпечного або шкідливого впливу на людину шкідливих виробничих факторів (шум, вібрація, температура, розташування гострих кромek тощо). Тому, при проектуванні виробничих приміщень потрібно дотримуватися загальних стандартів та вимог безпеки при роботі з деревообробним обладнанням згідно з ДСТУ 2807-94. (Устаткування метало- і деревообробне. Загальні вимоги безпеки і методи випробувань).

Проектом сушильної дільниці передбачено дотримання санітарних норм виробничого середовища і трудового процесу для оператора сушильного цеху подані в таблиці 3.1.

## Санітарні норми виробничого середовища і трудового процесу

№ з/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Одиниці вимірювання	Нормативне значення фактора	Нормативний документ, що регламентує гранично допустимі значення
1	Рівень віброшвидкості	дБ	109 - 115	ДСН 3.3.6.039-99
2	Рівень звуку	дБА	60	ДСН 3.3.6.037-99
3	Освітленість	лк	300	ДБН В.2.5-28-2018
4	Коефіцієнт природної освітленості	%	1,5	ДБН В.2.5-28-2018
<b>Мікроклімат у приміщенні:</b>				
5	Температура повітря	°С	18...27	ДСН 3.3.6.042-99
6	Швидкість руху повітря	м/с	0,2...0,3	ДСН 3.3.6.042-99
7	Відносна вологість повітря	%	40...60	ДСН 3.3.6.042-99

За низьких концентрацій пилу його вплив на організм людини практично не відчувається. Тому, для захисту будуть запроваджуватися профілактичні заходи. Зокрема, встановлення вентиляції, яка повинна забезпечувати ефективний повітрообмін. Це необхідно для того, щоб концентрація пилу у повітрі виробничих приміщень не перевищувала гранично допустимих норм.

На підприємстві встановлені трубопроводи, що призначені для транспортування води та пари. З метою забезпечення безпеки працівників, буде здійснюватися кольорове маркування трубопроводів, що дозволить швидко визначити вміст трубопроводу. За можливості можна обирати наземне або надземне прокладання трубопроводів, оскільки це полегшить технічний огляд. До того ж, термін експлуатації наземних трубопроводів у 2-3 рази перевищує термін служби підземних. Для запобігання теплових

напружень, що можуть спричинити розриви при охолодженні або деформації при нагріванні труб, передбачаються компенсаційні елементи, а саме: компенсаційні петлі та компенсатори.

Основними причинами електротравматизму на виробництві є:

- Випадкове доторкання до неізольованих кабелів або струмопровідних частин електроустановок;
- Контакт із корпусами електрообладнання, що опинилися під напругою через пошкодження ізоляції;
- Недотримання правил монтажу, експлуатації та техніки безпеки;

Для запобігання ураженню електричним струмом усі струмопровідні частини мають бути надійно ізольовані або захищені відповідним металевим покриттям. Корпуси електродвигунів та іншого електрообладнання, що потенційно можуть опинитися під напругою, повинні бути заземлені. Стан самого заземлення необхідно перевіряти не рідше ніж один-два рази на рік – у літній та зимовий період.

Всі працівники компанії повинні добре знати правила пожежної безпеки та неухильно їх дотримуватися. З цією метою проводиться інструктаж з пожежної безпеки. У цехах та складах розміщують відповідні інструкції для ознайомлення працівників. Увесь протипожежний інвентар, (лопати, відра, вогнегасники тощо) розміщують на спеціальних щитах у добре видимих та легкодоступних місцях. У всіх цехах є обов'язкова наявність вогнегасника та ящиків з піском. Виконання вогненебезпечних робіт у цехах дозволяється лише за наявності відповідного дозволу пожежної охорони. Цехи та склади потрібно регулярно очищати від відходів, а опалювальні прилади та будівельні конструкції – від зайвого пилу.

У разі виявлення несправностей в електромережі, що можуть спричинити іскріння, перегрів проводів чи коротке замикання, їх негайно потрібно усунути. Вентиляційні системи повинні бути вибухобезпечними.

Основним засобом гасіння пожеж є вода, тому сушильний цех повинен бути забезпечений водопостачанням для протипожежних потреб.

Стаціонарні пожежні насоси мають бути обладнані пристроями, що забезпечують їх запуск не пізніше ніж за 5 хвилин після подачі сигналу про пожежу.

Вчасне повідомлення про загорання відіграє вирішальну роль у ліквідації пожежі. Тому на підприємстві повинна бути встановлена система пожежної сигналізації. З метою запобігання нещасним випадкам у разі пожежі чи аварії необхідно забезпечити оперативну евакуацію людей. Для цього приміщення слід забезпечити евакуаційними виходами.

Відповідальність за реалізацію заходів пожежної безпеки несе керівник підприємства, а в цехах – начальники відповідного цеху.

Транспортні шляхи на території підприємства (дороги, проїзди, заїзди) повинні перебувати у справному стані. Всі підходи та заїзди до будівель мають бути вільними, а евакуаційні виходи не захаращені.

### ***3.2.4. Заходи щодо покращення умов праці та впливу виробництва на довкілля***

План заходів щодо створення безпечних умов праці на виробництві включає організаційні, технічні, техніко-економічні, соціальні, естетичні та управлінські аспекти.

Для забезпечення належного рівня охорони праці необхідно:

- 1) Організувати відповідне навчання працівників та систематичне проведення інструктажів з охорони праці;
- 2) Розробити та затвердити положення про функціональні обов'язки керівників і спеціалістів з охорони праці;
- 3) Затвердити стандарт та відповідну документацію з питань охорони праці;

Необхідно впроваджувати у виробництво сучасні машини й обладнання з високими техніко-економічними показниками, розробляти організаційно-технологічні карти та карти безпеки праці для кожного робочого місця. Також слід регулярно проводити обстеження виробничих приміщень, агрегатів, машин та їхніх елементів на справність під час роботи.

Потрібно списувати застаріле й морально зношене обладнання, своєчасно та якісно здійснювати ремонт машин, обладнання та інструменту. У виробничих приміщеннях варто перевіряти справність світлової сигналізації та забезпечувати відповідний рівень освітлення.

### ***3.3. Охорона навколишнього середовища***

Охоронні заходи довкілля спрямовані на покращення стану навколишнього середовища та створення сприятливих умов для його збереження. Основними характеристиками таких заходів є:

1) Зменшення використання природних ресурсів на одиницю виробленої продукції та забезпечення ефективної господарської діяльності;

2) Скорочення обсягів забруднення природного середовища викидами, стічними водами, відходами та іншими фізичними впливами;

3) Зниження вмісту шкідливих речовин у викидах, стоках та відходах;

У сфері охорони та раціонального використання водних ресурсів природоохоронні заходи передбачають:

➤ Підтримання належного гідрологічного та екологічного стану прилеглих річок;

➤ Будівництво основних та локальних очисних споруд;

➤ Зменшення концентрації шкідливих речовин у стічних водах та провадження систем зворотного та безстічного водокористування;

➤ Створення інфраструктури для збору та переробки стічних вод;

Економічне обґрунтування та оцінка таких заходів є ключовим елементом у застосуванні економічних механізмів управління у сфері охорони довкілля. Ефективність природоохоронних дій визначається за показниками економічного та еколого-економічного ефекту.

#### 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Розрахунок економічної ефективності проекту сушильної ділянки, для ТОВ «УЛПК» виконується згідно з методичними вказівками щодо виконання економічної частини бакалаврської роботи.

Для проведення відповідних розрахунків використовуємо дані отримані з попередніх розділів, а саме: проектно-технологічного, охорони праці та економічні показники роботи підприємства (тарифи, ціни, обсяги продукції тощо). Вартість задіяного обладнання приймається відповідно до цін, зазначених у каталогах виробника на поточний період формування кошторису, для даного проекту.

Основні показники формуються на основі кінцевих розрахунків, наведених у таблицях економічної частини.

Таблиця 4.1.

##### *Основні показники роботи підприємства (розраховані в попередніх розділах проекту та отримані на підприємстві)*

№п/п	Назва показників	Одиниці вимірювання	За проектом
1	Система сушильних камер	Марка	Katres KAD 1×6 S
2	Кількість сушильних камер	штук	4
3	Площа сушильних цехів	м <sup>2</sup>	600
4	Річна програма сушіння		
	А) в натуральному матеріалі	м <sup>3</sup>	3900
	Б) в умовному матеріалі	м <sup>3</sup>	8895
5	Число днів роботи камер в рік	дні	335
6	Транспортні засоби	штук	1
7	Загальна потреба дров	м <sup>3</sup>	1287
8	Загальна потреба електро- енергії	кВт-год	407784
	✓ на сушіння	кВт-год	407422
	✓ на освітлення	кВт-год	362
9	Витрата води – разом	т/рік	349
	2) на технологічні цілі	т/рік	69
	1) на господарські та протипожежні потреби	т/рік	280

Таблиця 4.1.1.

**Основні показники роботи підприємства (розраховані в попередніх розділах проекту та отримані на підприємстві)**

№ п/п	Розміри п/м, мм	Вид п/м	Порода	Річна програма сушіння, м <sup>3</sup>	
				Натурального	Умовного
1	2	3	4	5	6
1	32x150x3000	обрізна	Дуб	1000	3437
2	32x89x500	обрізна	Дуб	900	2462
3	32x72x400	обрізна	Дуб	900	1899
4	22x145x1200	необрізна	Сосна	1200	1096
<b>Разом</b>				<b>3900</b>	<b>8895</b>

Таблиця 4.2.

**Розрахунок вартості нового обладнання**

Назва обладнання	Марка	Кількість, шт.	Вартість, тис.грн	
			одиниці	всього
1	2	3	4	5
1. Технологічне та енергетичне обладнання сушильних камер	Katres	4	3 200	12800
Вологомір	ВВД-570	1	4	4,00
<b>Разом</b>				12804,00
2. Транспортне обладнання: (автонавантажувач) – наявний	TOYOTA	1	550	550
3. Інші основні засоби (10%)				1335,4
<b>Всього</b>				14689,4
4. Транспортно-монтажні витрати (15%)				2203,41
<b>Загальна сума витрат</b>				<b>16892,8</b>

Таблиця 4.3.

**Розрахунок вартості об'єктів (без устаткування та транспортних засобів)**

№	Назва об'єктів	Одиниці виміру	Кількість	Вартість	
				Одиниці, грн	Разом, тис.грн
1	Фундамент з усіма комунікаціями	м <sup>2</sup>	272	920	250,24
	<b>Разом</b>		272		<b>250,24</b>

Таблиця 4.4.

**Розрахунок вартості електроенергії, води та дров на потреби підприємства**

№	Використання	Одиниці виміру	Споживання на рік	Ціна, тариф за одиницю, грн	Сума, тис.грн
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	Електроенергія				
	✓ на технологічні цілі	кВт-год	407422	9	3666,80
	✓ на освітлення	кВт-год	362	9	3,26
	<b>Разом</b>	кВт-год	407784	-	<b>3670,06</b>
2	Дрова			-	
	✓ на технологічні цілі	м <sup>3</sup>	1287	900	<b>1158,3</b>
3	Вода				
	✓ на технологічні цілі	т	69	40,62	2,80
	✓ на побутові і протипожежні потреби	т	280	40,62	11,37
	<b>Разом</b>	т	349	-	<b>14,18</b>
	<b>Всього</b>				<b>4842,53</b>

Таблиця 4.5

*Розрахунок чисельності та фонду оплати праці робітників*

№ з/п	Показники	Умови роботи	Система оплати праці	Розряд робітника	Тарифна ставка на годину, грн	Штат на зміну, осіб	Змінна норма виробітку, м3	Обсяг робіт, м3	Число змін роботи	Відробити		Фонд часу 1 робітника на рік, год.	Спис-кове число робітників	Основна заробітна плата, тис.грн.
										люд-днів	люд-год			
1	Укладання штабелів													
	А) п/м дуб	Нормальні	Відрядна	III	63,2	-	10	1000	1	100	100000	1774	0,06	6,32
	Б) п/м дуб	Нормальні	Відрядна	III	63,2	-	10	900	1	90	81000	1774	0,05	5,12
	В) п/м дуб	Нормальні	Відрядна	III	63,2	-	10	800	1	80	64000	1774	0,04	4,04
	Г) п/м сосна	Нормальні	Відрядна	III	63,2	-	12	1200	1	100	120000	1774	0,07	7,58
2	Розбирання штабелів із сортуванням	Нормальні	Відрядна	III	63,2	-	18	3900	1	216,7	845000	1774	0,48	53,40
3	Водій транспорту	Нормальні	Відрядна	IV	71,1	1	-	-	1	335	2680	1774	1,51	190,55
4	Оператор сушильних камер	Шкідливі	Погодинна	V	98,1	1	-	-	3	1005	8040	1774	4,53	788,72
5	Разом	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,72	1055,74
6	Додаткова зарплата (20%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	211,15
7	Всього фонд ОП робітників	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,07	1266,89
8	Фонд оплати праці службовців	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	264

**Кошторис собівартості сушіння умовного лісоматеріалу**

№ з/п	Показники	На 1 м <sup>3</sup> , гривень	На програму, тис.грн
	Просушити матеріалу (м <sup>3</sup> ):		-
	Натурального		3900
	Умовного		8895
	<b>Статті витрат</b>		
<b>1</b>	Електроенергія, пара, вода	544,41	4842,53
<b>2</b>	Витрати на оплату праці робітників	142,43	1266,89
<b>3</b>	Витрати на оплату праці службовців	29,68	264
<b>4</b>	Витрати на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%)	37,86	336,80
<b>5</b>	Амортизація основних засобів	115,69	1029,08
<b>6</b>	Витрати на ремонти основних засобів	25,76	229,17
<b>7</b>	Витрати на охорону праці, техніку безпеки та охорону довкілля	8,61	76,54
<b>8</b>	<b>Виробнича собівартість сушіння</b>	904,45	8045,02
<b>9</b>	Плановий прибуток (20%)	180,89	1609,00
<b>10</b>	<b>Відпускна ціна без ПДВ</b>	1085,34	9654,02

**Розрахунок амортизаційних відрахувань:**

$A_{\text{проект}} = (\text{Вартість нової будівлі} \cdot 0,0776) + (\text{Загальні витрати на купівлю нового обладнання} \cdot 0,2085)$

$A_{\text{проект}} = (250,24 \cdot 0,0776) + (4842,53 \cdot 0,2085) = 1029,08$  тис. грн.

**Витрати на ремонт основних засобів:**

$V_{\text{осн.}} = (\text{Площа фундаменту} + \text{витрати на електроенергію та воду}) \cdot 0,045$   
 $= 229,17$  тис. грн.

*Розподіл витрат собівартості сушіння натурального лісоматеріалу*

№	Вид лісоматеріалу	Річна програма сушіння, м <sup>3</sup>		Собівартість сушіння 1 м <sup>3</sup> натурального лісоматеріалу, грн
		В натуральному матеріалі	В умовному матеріалі	
1	2	3	4	5
Дуб	32x150x3000	1000	3437	3108,89
Дуб	32x89x500	900	2462	2474,50
Дуб	32x72x400	900	1899	1908,53
Сосна	22x145x1200	1200	1096	826,16
<b>Разом</b>		<b>3900</b>	<b>8895</b>	2062,83
Середня собівартість сушіння 1 м <sup>3</sup> лісоматеріалу				<b>2062,83</b>

**Техніко-економічні показники**

<b>№ з/п</b>	<b>Показники</b>	<b>Одиниці вимірювання</b>	<b>За проектом</b>
<b>1</b>	Система сушильних камер	—	Katres
<b>2</b>	Кількість сушильних камер	шт	4
<b>3</b>	Річна програма сушіння:		
	1) в умовному матеріалі	м <sup>3</sup>	8895
	2) в натуральному матеріалі	м <sup>3</sup>	3900
<b>4</b>	Відпускна ціна річного обсягу сушіння	тис. грн.	9654,02
<b>5</b>	Спискова чисельність ПВП	осіб	8
<b>6</b>	Фонд оплати праці, разом	тис. грн.	1530,89
	в т. ч. робітників		1266,89
<b>7</b>	Середньомісячна заробітна плата одного працівника ПВП	гривень	15946,77
<b>8</b>	Річна сума витрат на сушіння	тис. грн.	8045,02
<b>9</b>	Собівартість сушіння 1 м <sup>3</sup> умовного лісоматеріалу	грн.	904,45
<b>10</b>	Середня собівартість сушіння 1 м <sup>3</sup> натурального лісоматеріалу	грн	2062,83
<b>11</b>	Прибуток до оподаткування	тис. грн.	1609,00

## ***ВИСНОВОК***

У бакалаврській роботі представлено проект сушильної ділянки на базі чотирьох конвективних камер Katres, який передбачає організацію ефективного процесу сушіння деревини в промислових умовах. Визначено необхідні технічні параметри, допоміжне обладнання, а також потребу в електроенергії, воді та дровах для забезпечення безперебійної роботи ділянки.

Розроблено комплекс заходів з охорони праці та безпеки, які відповідають чинним нормативам та стандартам. Запропоновані рішення спрямовані на створення безпечного виробничого середовища для працюючого персоналу.

Розраховані техніко-економічні показники доводять економічну ефективність запропонованого проекту:

- Річний обсяг сушіння становить 8895 м<sup>3</sup> умовного матеріалу та 3900 м<sup>3</sup> натурального матеріалу;
- Плановий прибуток становить 1609 тис. грн.;
- Собівартість сушіння 1 м<sup>3</sup> умовного матеріалу становить 904,45 грн., натурального матеріалу 2062,83 грн.;
- Річна сума витрат на сушіння становитиме 8045,02 тис. грн.;
- Середньомісячна заробітна плата одного працівника ПВП 15946,77 грн.;

З вище наведених показників даний проект може бути рекомендованим до впровадження в деревообробне виробництво.

## **ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА**

1. Губер Ю.М., Копинець З.П. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни “Технологія сушіння і захисту деревини”. — Львів: РВВ УкрДЛТУ 2005.— 46с.
2. Проспекти фірми Hamesch, Vanisek, Valmet.
3. Методичні вказівки (проектний варіант) сушіння деревини до виконання економічної частини випускних бакалаврських робіт для студентів спеціальності 6.092002 „Лісозаготівля та деревообробка”.
4. Білей П. В., Павлюст В. М. Сушіння деревини: Навч. посібник. – Львів: Ліга-Прес, 2003. – 240 с.
5. Закон України “Про охорону праці”
6. Наказ від 25.07.2006 № 258 Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів.
7. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
8. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
9. ДСН 3.3.6-039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
10. ДБН В.1.2-10:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Захист від шуму та вібрації.
11. ДБН В.1.2-7:2021 "Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека".
12. ДСТУ EN 3-7:2014 Вогнегасники переносні. Характеристики, вимоги до робочих параметрів і методи випробування (EN 3-7:2004 + A1:2007, IDT)
13. НАКАЗ 15.01.2018 № 25 Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників.
14. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

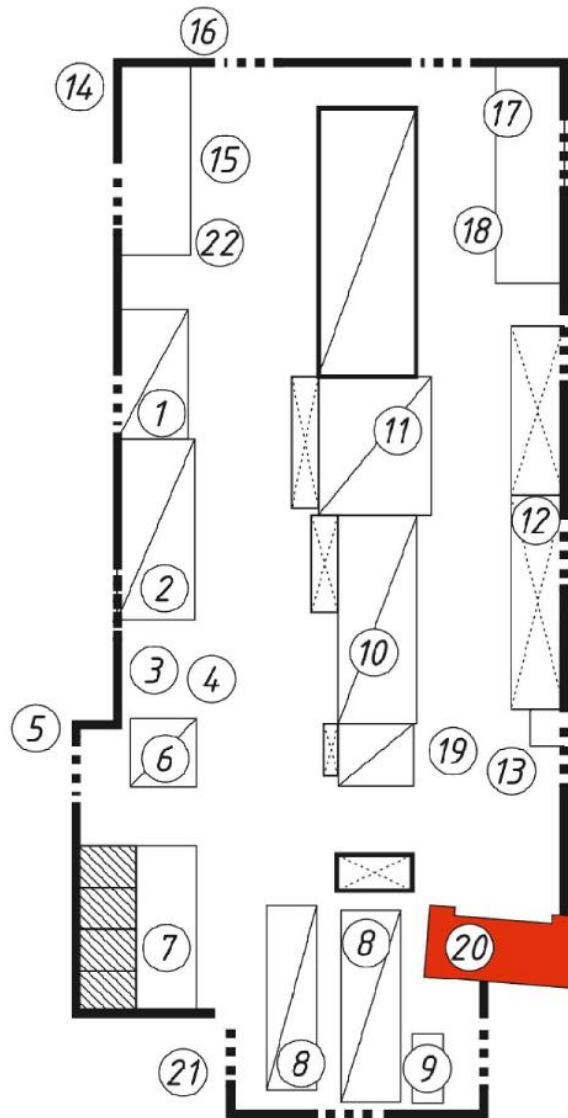
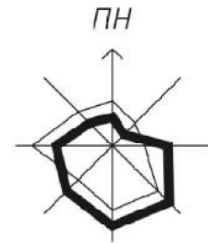
15. ДСТУ EN ISO 13688:2016 Одяг захисний. Загальні вимоги (EN ISO 13688:2013, IDT; ISO 13688:2013, IDT)
16. ДСТУ 2807-94 Устаткування метало- і деревообробне. Загальні вимоги безпеки і методи випробувань.
17. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва.
18. ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення"
19. Керівні технічні матеріали з технології камерного сушіння пиломатеріалів/За ред. проф. П.В. Білея – Львів: РВЦ УкрДЛТУ, 2003. – 72 с.

# *Додатки*

## Специфікація генерального плану ТОВ "УЛПК"

№	Позначення	Найменування	К-ст.	Примітка
1		Погонажний цех		
2		Майстерня		
3		Паливний бункер котельні		
4		Бункер для тирси		
5		Протипожежна насосна станція		
6		Котельна		
7		Проектовані споруди (сушильні камери та навіс)		
8		Сушильно-сортувальний цех		
9		Складське приміщення		
10		Паркетний цех		
11		Деревообробний цех		
12		Навіс		
13		Господарське приміщення		
14		Шахтний колодязь		
15		Тимчасова стоянка автомобілів		
16		Майданчик для смт. Контейнерів		
17		Майданчик для відпочинку		
18		Локальні очисні споруди		
19		Будівля охорони		
20		Адміністративно-побутовий корпус		
21		Пірс		
			<b>БР.25.01.01.00.00</b>	
<i>Зав.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	
<i>Роз.</i>	<i>Панько А.</i>			<i>Літ</i>
<i>Перев.</i>	<i>Гуменюк.Ж.</i>			<i>Аркуш.</i>
				1
				<b>НЛТУУ см.гр.</b> <b>ДТ-42</b>

**Генеральний план ТОВ  
"УЛПК"**



Умовні позначення:

 - Межа детального плану території

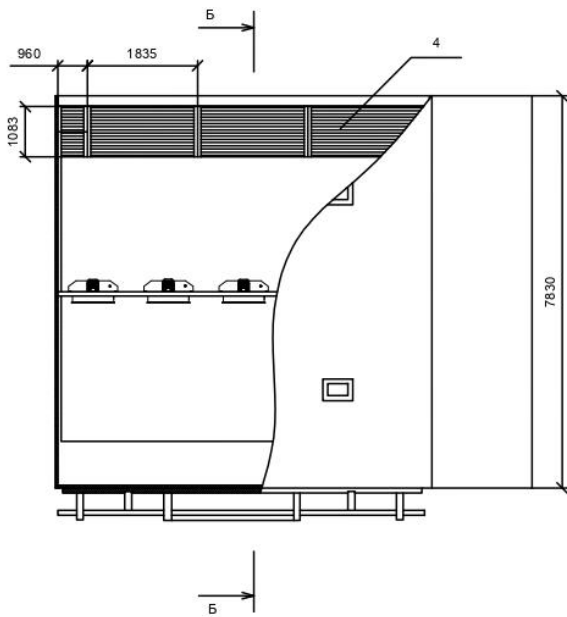
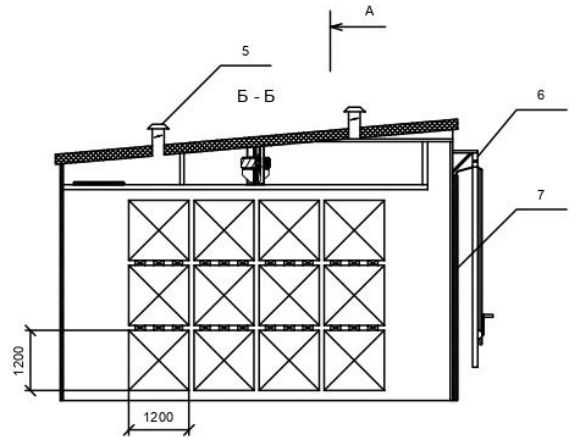
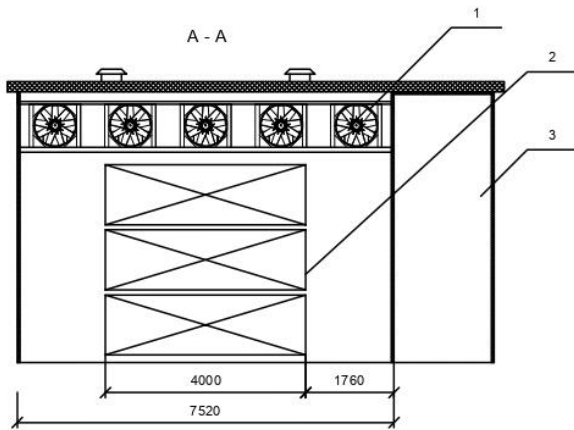
БР.25.01.01.00.00

ЗМ	Арк.	Документ	Підпис	Дата	Буква	Маса	Масштаб
Розробив		Панько.А.			Н		1:50
Перевірів		Гуменюк.Ж.			Аркуш	Аркушів	
Н.контр					НЛТУ України		
Затвердив					ст. гр. ДТ-42		

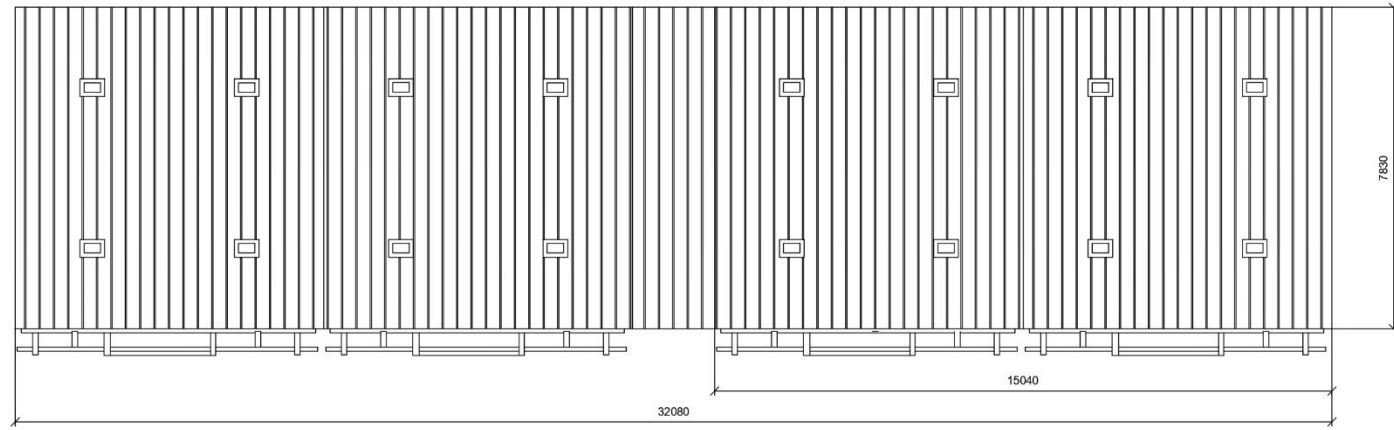
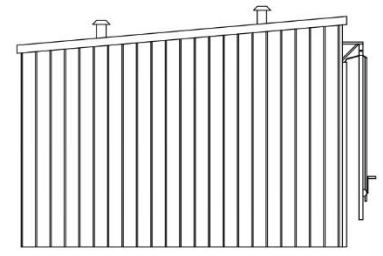
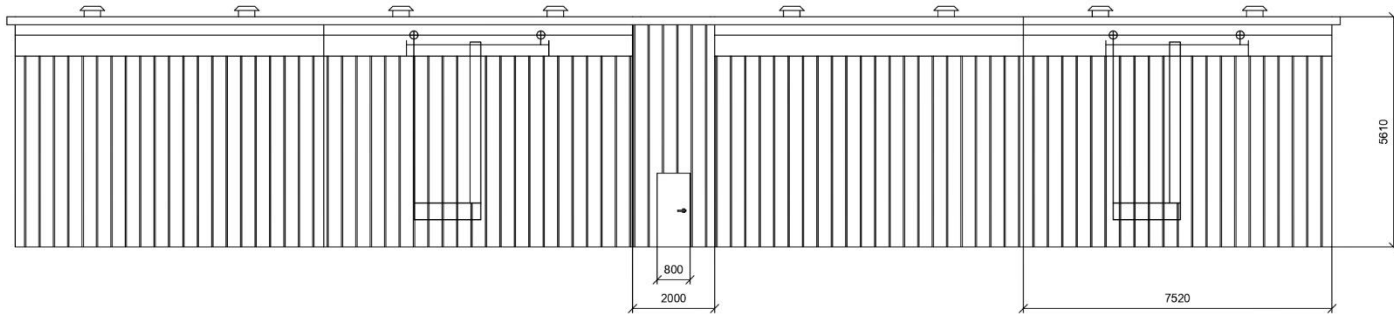
Генеральний план  
ТОВ «УЛПК»



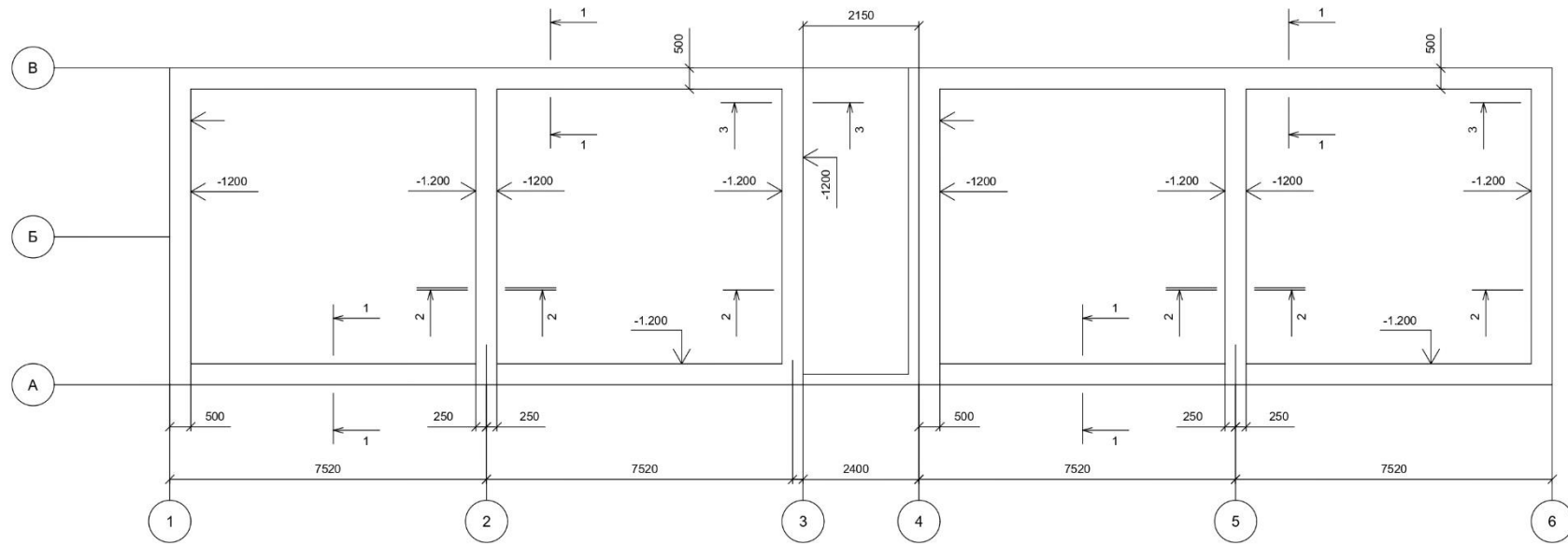
БР.25.01.02.00.00



					БР.25.01.02.00.00			
						Буква	Маса	Масштаб
ЗМ	Арк.	Документ	Підпис	Дата	Схема сушильної камери Катрес 6x1S	Н		1:50
Розробив		Панько.А.				Аркуш	Аркушів	
Перевірів		Гуменюк.Ж.			НЛТУ України ст. гр. ДТ-42			
Н.контр								
Затвердив								



					БР.25.01.03.00.00			
ЗМ	Арх.	Документ	Підпис	Дата	Фасади сушильних камер Katres 6x1S	Буква	Маса	Масштаб
Розробив	Панько А.					Н		1:50
Перевірив	Гуменюк Ж.				Аркуш	Аркушів		
Н.контр					НЛТУ України ст. гр. ДТ-42			
Затвердив								



ЗМ	Арх.	Документ	Підпис	Дата
Розробив		Панько.А.		
Перевірив		Гуменюк.Ж.		
Н.контр				
Затвердив				

БР.25.01.04.00.00

План  
фундаментів

Буква	Маса	Масштаб
Н		1:50
Аркуш	Аркушів	
НЛТУ України ст. гр. ДТ-42		

БР.25.01.05.00.00

## *Технічно економічні показники*

№ з/п	Показники	Одиниці вимірювання	За проектом
1	Система сушильних камер	—	Katres
2	Кількість сушильних камер	шт	4
3	Річна програма сушіння:		
	1) в умовному матеріалі	м <sup>3</sup>	8895
	2) в натуральному матеріалі	м <sup>3</sup>	3900
4	Відпускна ціна річного обсягу сушіння	тис. грн.	9654,02
5	Спискова чисельність ПВП	осіб	8
6	Фонд оплати праці, разом	тис. грн.	1530,89
	в т. ч. робітників		1266,89
7	Середньомісячна заробітна плата одного працівника ПВП	гривень	15946,77
8	Річна сума витрат на сушіння	тис. грн.	8045,02
9	Собівартість сушіння 1 м <sup>3</sup> умовного лісоматеріалу	грн.	904,45
10	Середня собівартість сушіння 1 м <sup>3</sup> натурального лісоматеріалу	грн.	2062,83
11	Прибуток до оподаткування	тис. грн.	1609,00

БР.25.01.05.00.00

ЗМ	Арк.	Документ	Підпис	Дата	<i>Технічно-економічні показники</i>	Буква	Маса	Масштаб
Розробив		Панько.А.				Н		
Перевірив		Наливайко.Н.				Аркуш	Аркушів	
Н.контр						НЛТУ України ст. гр. ДТ-42		
Затвердив								