

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини,
безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка
до дипломної роботи бакалавра на тему:

Проект сушильної ділянки для ТОВ
«Меблевий комбінат «Стрий»»

Виконав: студент групи ДТ-42

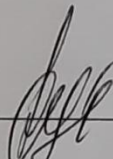
спеціальності 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Сениско В.В.

Керівник

Гуменюк Ж.Я.

Рецензент

 **проф. Тодула Р.В.**

Львів – 2025

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

Інститут
Кафедра

Освітній ступінь
Спеціальність

деревобробних технологій і дизайну
технологій захисту навколишнього середовища
і деревини, безпеки життєдіяльності
бакалавр
187 «Деревобробні та меблеві технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНСДБЖД
проф. Кшивецький Б.Я.

“ 21 ” 02 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Сениску Володимирі Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проект сушильної ділянки для ТОВ «Меблевий комбінат «Стрий»

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

затвердені наказом по університету від “ 21 ” 02 2025р. №С-124

2. Строк подання студентом роботи 10.06.25 р.

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

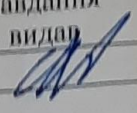

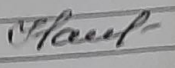

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Схема розміщення виробничих ділянок (генплан), план цеху

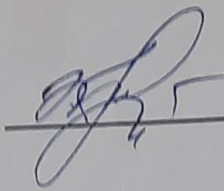
схема сушильної камери (фасади), схема сушильних камер(розрізи),

ТЕП

6. Консультанти розділів роботи

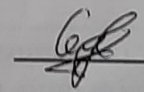
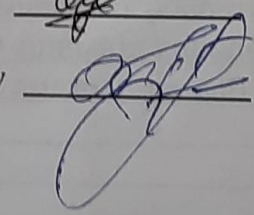
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Соколовський І.А., доцент, к.т.н.		
Економіка	Наливайко Н.Я., доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання 24.02.2025 р.

Керівник проекту  Гуменок 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  Сениско В.В.
 Керівники проекту  Гуменок Ж.Я.

АНОТАЦІЯ

В дипломному проекті на тему «Проект сушильної дільниці для ТОВ «Меблевий комбінат «Стрий»» проведені основні розрахунки, необхідні для проектування сушильної дільниці на базі камер Katres KAD 1x4S .

Робота містить чотири розділи, перелік літературних джерел та додатки. Пояснювальна записка включає 62 стр. тексту.

В загальній частині подана коротка характеристика підприємства та приведені обґрунтування необхідності проекту сушильної дільниці.

В проєктно-технологічній частині проведений комплекс розрахунків, які охоплюють технологічні питання проектування цеху. Визначенні основні теплові та аеродинамічні параметри камер, загальне споживання дільницею електроенергії, води, розраховано необхідну кількість основного та допоміжного обладнання.

В розділі “Охорона праці” проведено аналіз та розроблено проект заходів із забезпечення безпеки праці згідно існуючих вимог та рекомендації щодо екологічної безпеки виробничої дільниці.

Економічна частина проекту обґрунтовує ефективність прийнятих проєктних рішень щодо сушильної дільниці.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	
1.1. Коротка характеристика підприємства	8
1.2. Обґрунтування необхідності проектування сушильної ділянки	9
2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	10
2.1. Обґрунтування вибору типу сушильного пристрою	10
2.2. Технологічний розрахунок сушильних пристроїв	12
2.2.1. Визначення тривалості сушіння пиломатеріалів у камерах періодичної дії при низькотемпературному процесі	12
2.2.2 Розрахунок продуктивності камер для фактичного та умовного матеріалу	13
2.2.3 Перерахунок об'єму фактичного матеріалу в об'єм умовного матеріалу	18
2.2.4 Розрахунок необхідної кількості сушильних камер	18
2.3 Тепловий розрахунок	19
2.3.1 Вибір розрахункового матеріалу	19
2.3.2 Визначення маси вологи, що випаровується	19
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	21
2.3.6 Визначення параметрів агента сушіння на виході із штабеля	22
2.3.7 Визначення об'єму свіжого та відпрацьованого агента сушіння	23
2.3.8 Розрахунок витрат тепла на сушіння деревини	24
2.3.9 Розрахунок теплового обладнання в камері	29
2.3.10 Визначення кількості води, що циркулює в тепловій системі	30
2.3.11 Визначення діаметрів трубопроводів	31
2.4 Аеродинамічний розрахунок	32

2.4.1	Складання схеми циркуляції агента сушіння в камері	32
2.4.2	Розрахунок опору ділянок кільця циркуляції агента сушіння	33
2.5.	Вибір вентилятора, розрахунок потужності та вибір електродвигуна	34
2.6	Розрахунок транспортного обладнання	35
2.7	Розрахунок кількості електроенергії	36
2.7.1	Розрахунок річної потреби в силовій електроенергії	36
2.7.2	Розрахунок потреби електроенергії на освітлення	38
2.8.	Розрахунок річної потреби води, дров	40
2.9	Зведена відомість необхідної кількості обладнання сушильної ділянки	41
2.10	Графічна частина проекту	41
2.11.	Опис технологічного процесу	42
3.	ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	52
	ВИСНОВОК	61
	ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	62
	ДОДАТКИ	63

ВСТУП

Сушіння пиломатеріалів є одним із ключових етапів у технологічному процесі лісопильно-деревообробного виробництва, адже від нього залежить якість готової продукції. За останні десять років у цій сфері відбулися значні покращення: підвищилася потужність сушильних камер завдяки введенню в експлуатацію сучасного українського та закордонного обладнання, а також було налагоджено серійне виробництво збірно-металевих камер періодичної дії.

Крім цього, процеси навантаження, розвантаження та транспортування деревини стали більш механізованими.

Водночас, із зростанням обсягів сушіння пиломатеріалів, підвищилися й вимоги до якості висушеного матеріалу. Проте, не всі проблеми в цій галузі вдалося вирішити. Обсяги сушіння все ще не повністю задовольняють попит на сухі пиломатеріали. На деяких підприємствах якість сушіння залишається на низькому рівні: виникає покороблення деревини, зниження сортності, нерівномірне просихання у штабелях.

Крім того, потужності машинобудування не завжди дозволяють централізовано виготовляти сучасні сушильні камери та спеціалізоване обладнання. Процес проєктування, виготовлення та тестування нових високопродуктивних сушильних камер займає занадто багато часу.

Ще однією проблемою є недостатнє впровадження апаратури для контролю процесу сушіння. Це пов'язано з відсутністю централізованого постачання та комплектування такого обладнання, що стримує розвиток галузі.

1.ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Коротка характеристика підприємства

У своїй виробничій діяльності підприємство охоплює такі види діяльності:

- виробництво меблів для офісів і підприємств торгівлі;
- виробництво фанери, дерев'яних плит і панелей, шпону;
- виробництво кухонних та інших меблів;
- оптова торгівля меблями, текстильними товарами та ін.

На меблевому комбінаті зосереджені лісопилльне та стругальне виробництво, виробництво щитового паркету.

Протягом майже 40 років ТОВ "Меблевий комбінат "Стрий" утримує лідерські позиції серед українських виробників у сфері експорту стільців до таких країн, як Італія, Німеччина, Австрія, Нідерланди, Швейцарія, Польща, а також до держав СНД, Балтії та інших регіонів

Понад 70% всієї продукції комбінату йде на експорт. Меблі підприємства використовуються для облаштування урядових будівель, міністерств, державних та податкових адміністрацій, санаторіїв, пансіонатів, дитячих закладів, ресторанів та інших об'єктів.

Виробництво здійснюється з місцевої високоякісної деревини твердих порід, таких як дуб і бук, з використанням екологічно чистих та якісних оздоблювальних матеріалів. Меблеві вироби комбінату мають сертифікат відповідності та гігієнічний висновок Державної санітарно-гігієнічної експертизи на вітчизняну продукцію.

Виробничі процеси забезпечує сучасне високотехнологічне обладнання.

Ознайомитись з асортиментом продукції можна у спеціально обладнаній залі, де представлено виставкові взірці.

1.2. Обґрунтування необхідності проектування сушильної ділянки

Оскільки, ТОВ "Меблевий комбінат "Стрий" займається виготовленням меблевих виробів високої якості, то є потреба, відповідно, у якісній сухій сировині, особливо, що стосується експортних виробів. Для забезпечення виробничих потреб підприємству необхідна значна кількість якісно висушеної деревини.

Наразі комбінат має власні сушильні камери, проте вони використовуються вже тривалий час і потребують заміни конструктивних елементів, деталей, що досить часто дорого, довго і не завжди після ремонтних робіт камера здатна забезпечити усі потрібні параметри. Враховуючи об'єми експорту та вимоги до експортної продукції було прийняте рішення щодо розроблення проекту та встановлення додаткових сушильних камер.

Одним із розглянутих варіантів для модернізації стала установка сушильних камер Katres KAD 1×4S. Вони мають кілька переваг: швидкий монтаж, відносно невисоку вартість у порівнянні з аналогами на ринку та високу якість процесу сушіння завдяки повній автоматизації. Це дозволяє ефективно контролювати технологічний процес на кожному етапі.

Необхідну кількість обладнання визначено на основі проектно-технологічних розрахунків.

2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

2.1. Обґрунтування вибору та опис сушильного пристрою

Конвективна сушильна камера Katres KAD 1x4S використовуються для сушіння пиломатеріалів різних порід дерева: дуб, бук, береза, сосна, липа, кедр, ялина, ялиця, модрина та інших.

Сушильна камера Katres KAD 1x4S призначена для сушіння пиломатеріалів та напівфабрикатів до кінцевої вологості 8%.

Сушильна камера має такі характеристики:

Параметр	Значення
<u>Зовнішні розміри (м):</u>	
- Глибина (A)	7,83
- Ширина (B)	5,52
- Висота (C)	5,61
<u>Внутрішні розміри (м):</u>	
- Глибина (D)	7,40
- Ширина (E)	4,96
- Висота (F)	5,20
Кількість вентиляторів продуктивністю 30000 м ³ /Г кожен	5
Потужність кожного вентилятора, кВт	1.5
Теплова потужність, кВт	180
Електрична потужність, кВт	8

Сушильні камери KATRES є універсально-збірними з касет без теплових містків. Корпуси камер виготовляються суцільнометалевими, виконані з алюмінію і нержавіючої сталі. Це дозволяє компоувати камери модулями для сушіння пиломатеріалів від кількох кубічних метрів до сотень кубічних метрів. Універсальні варіанти конструкцій дозволяють компоувати сушильні камери на різні розміри штабелів.

Осьові циркуляційні вентилятори з електродвигунами розміщені в верхній частині камери, яка відокремлена від сушильного простору.

Для обігріву повітря використовуються спеціальні радіатори, виконані з

біметалевих ребристих труб, які нагріваються гарячою водою або паром. Для зволоження повітря встановлюється розвідні труба з соплами для упорскування води або пари низького тиску.

Збільшення інтенсивності зволоження забезпечує насос високого тиску.

При застосуванні пара низького тиску і регульованою розподільчою системою зволоження можливо здійснювати гідродинамічну обробку деревини (пропарювання), що забезпечує збереження кольору дерева, рівномірний розподіл вологості, вирівнювання напруги в деревині, зменшення розбухання і всихання.

На замовлення камери оснащуються системою рекуперації тепла з вологого повітря. видаляється з камери і нагрівання повітря, що подається в камеру.

На задній стіні камер, навпроти воріт, встановлюються дверцята для можливості візуального контролю стану пиломатеріалів і вимірюючі датчиків в процесі сушіння.

Вихідними даними для процесу сушіння порода деревини, товщина пиломатеріалів, початкова і кінцева вологість, режим сушіння.

Для кожної породи деревини і товщини можливо вибрати різні режими сушіння:

Процес сушки управляється комп'ютером на основі періодичного отримання інформації:

- температури повітря в камері;
- відносної вологості повітря;
- дискретного значення вологості пиломатеріалів;
- швидкості потоку повітря (при регульованою зміні частоти обертання циркуляційних вентиляторів).

На основі перших трьох величин регулюється вологість середовища в камері, яка впливає на швидкість видалення вологи з поверхневих шарів пиломатеріалів. Його співвідношення до здатності дифузії вологи зсередини пиломатеріалів до поверхні впливає на швидкість і якість процесу сушіння і на можливість виникнення надмірних напружень в деревині і, як наслідок, поява

тріщин.

Вимірювання температури і відносної вологості повітря з протилежних сторін штабелів здійснюється психрометри, вимірювання вологості деревини здійснюється за допомогою 6-8 зондів (датчиків) в контрольних дошках.

Система автоматизованого управління керує процесом сушіння і графічно відображає цей процес, інформує про всі важливі параметрів процесу: максимальне і середнє вологість деревини, параметри повітря на вході і виході з штабеля, швидкість і напрямок потоку повітря, зволоження і обмін повітря в камері, порівняння всіх заданих і фактично досягнутих параметрів. Вся зазначена інформація виводиться на дисплей комп'ютера і за бажанням на принтер. Система контролює всі головні вузли камер і сигналізує в разі виникнення неполадок.

2.2. Технологічний розрахунок для камери Katres KAD 1x4S

У технологічному розрахунку визначається продуктивність сушильної камери та їх необхідна кількість для висушування річного об'єму пиломатеріалів.

2.2.1. Визначення тривалості сушіння пиломатеріалів у камерах періодичної дії при низькотемпературному процесі.

Розрахунок проводиться за відомою методикою з врахуванням особливостей сушильних камер періодичної дії.

Тривалість сушіння пиломатеріалів, заготовок, що враховує тривалість початкового прогрівання і тепловологооброблення визначається за формулою:

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

де: $\tau_{вих}$ – вихідна тривалість сушіння пиломатеріалів заданої породи і розмірів нормальним режимом від початкової вологості 60% до кінцевої 12% в камерах з реверсивною циркуляцією агента сушіння середньої інтенсивності з розрахунковою швидкістю агента сушіння по матеріалу 1 м/с,год;

$A_p \cdot A_{ц} \cdot A_v \cdot A_{я} \cdot A_{д}$ – коефіцієнти, які відповідно враховують категорію режиму сушіння, інтенсивність циркуляції агента сушіння, початкову та кінцеву вологість деревини, якість висушуваного матеріалу і його довжину.

Вихідна тривалість сушіння $\tau_{вих}$ визначається за додатком 1 залежно від породи, товщини S_1 і ширини S_2 висушуваного матеріалу.

Коефіцієнт категорії режиму сушіння A_p становить:

для м'яких режимів – 1,70; нормальних – 1,00; форсованих – 0,80.

Коефіцієнт $A_{ц}$, який враховує інтенсивність циркуляції агента сушіння,

визначають за додатком 2 залежно від добутку $\tau_{вих} \cdot A_p$ і швидкості циркуляції сушильного агента через штабель $\omega_{шт}$. Якщо невідома швидкість циркуляції агента сушіння через штабель $\omega_{шт}$, то для наближених розрахунків її можна приймати наступною: для камер із середньою інтенсивністю циркуляції – 1 м/с; із циркуляцією підвищеної інтенсивності – 2 м/с; із циркуляцією високої інтенсивності – 2,5 м/с.

Коефіцієнт $A_в$, що враховує початкову та кінцеву вологість деревини, визначають згідно додатку 3.

Коефіцієнт $A_я$, який враховує якість висушеного матеріалу (враховує тривалість вологообробок і кондиціонування деревини в камері), становить для: I категорії якості – 1,25; II категорії якості – 1,15; III категорії якості – 1,00.

Коефіцієнт $A_д$, який враховує довжину висушеного матеріалу (пиломатеріалів, заготовок) визначається за додатком 4 залежно від відношення довжини матеріалу L_m до його товщини S_l . За проведення гідроізоляції торців коротких заготовок $A_д=1$.

За такою ж методикою визначається тривалість сушіння умовного матеріалу. Як умовний матеріал прийнято соснові обрізні дошки товщиною 40 мм, шириною 150 мм, довжиною більше 1 м, які висушуються за II категорією якості від початкової вологості 60% до кінцевої 12%.

Розрахунок зводиться у табл. 1.1.

Таблиця 2.1. Визначення тривалості сушіння пиломатеріалів (заготовок)

Порода деревини	Розміри			$\tau_{вих}$, ГОД	Коефіцієнти					τ_c , ГОД	τ_c , діб
	S_1	S_2	L		A_p	$A_{ц}$	$A_в$	$A_я$	$A_д$		
сосна	19	140	4000	33	1,7	0,71	1,43	1,15	1	65,50	2,73
дуб	30	120	2000	118	1,7	0,96	1,30	1,15	1	287,90	12,00
дуб	50	50	1000	190	1,7	0,98	1,30	1,15	1	473,23	19,72
бук	30	280	4000	122	1,7	0,97	1,35	1,15	1	312,33	13,01
Умовний	40	150	4000	88	1	0,76	1	1,15	1	76,912	3,20

2.2.2. Розрахунок продуктивності сушильних камер

Визначення продуктивності сушильних камер для фактичного та умовного матеріалу.

При проектуванні сушильних цехів або окремих камер необхідно визначити їх річну продуктивність. Річну продуктивність камери при сушінні певного

асортименту матеріалів (порода, розмір, початкова та кінцева вологість) та продуктивність камери в умовному матеріалі визначають за формулою:

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

$$\Pi_{\text{сосна19}} = 118,41 * 26,37 = 3123 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$\Pi_{\text{дуб30}} = 27,70 * 31,69 = 878 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$\Pi_{\text{дуб50}} = 16,90 * 38,14 = 645 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$\Pi_{\text{бук30}} = 25,55 * 21,17 = 541 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$\Pi_{\text{ум.матер.}} = 101,61 * 30,27 = 3076 \text{ м}^3/\text{рік}$$

де: n – кількість камерооборотів протягом року;

E – кількість матеріалу, що завантажується в камеру, м^3 .

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

$$n_{\text{сосна19}} = \frac{365}{2,83} * 0,95 = 118,41$$

$$n_{\text{дуб30}} = \frac{365}{12,10} * 0,95 = 27,70$$

$$n_{\text{дуб50}} = \frac{365}{19,82} * 0,95 = 16,90$$

$$n_{\text{бук30}} = \frac{365}{13,11} * 0,95 = 25,55$$

$$n_{\text{ум.матер.}} = \frac{365}{3,30} * 0,95 = 101,61$$

де: T – період за який визначають продуктивність камери; діб;

$\tau_{\text{об}}$ – тривалість одного камерообороту, діб або годин:

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

$$\tau_{\text{сосна19}} = 2,73 + 0,1 = 2,83 \text{ діб}$$

$$\tau_{\text{дуб30}} = 12,00 + 0,1 = 12,10 \text{ діб}$$

$$\tau_{\text{дуб50}} = 19,72 + 0,1 = 19,82 \text{ діб}$$

$$\tau_{\text{бук30}} = 13,01 + 0,1 = 13,11 \text{ діб}$$

$$\tau_{\text{ум.матер.}} = 3,20 + 0,1 = 3,30 \text{ діб}$$

де: τ_c – тривалість сушіння матеріалу, діб або годин;

$\tau_{\text{зав}}$ – тривалість завантаження та розвантаження сушильних камер (для камер періодичної дії $\tau_{\text{зав}}=2,4$ год, або 0,1 доби);

C – коефіцієнт технічного використання камер, визначається як відношення планового часу роботи сушильних камер (335 діб) до загальної кількості днів у році:

$$C = \frac{335}{365} = 0,92. \quad (2.5)$$

Кількість матеріалу, що завантажується в камеру

$$E = l * b * h * m * \beta_{об} M^3 \quad (2.6)$$

$$E_{сосна19} = 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,382 = 26,37 M^3$$

$$E_{дуб30} = 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,458 = 31,69 M^3$$

$$E_{дуб50} = 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,552 = 38,14 M^3$$

$$E_{бук30} = 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,306 = 21,17 M^3$$

$$E_{ум.матер.} = 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,438 = 30,27 M^3$$

де: l, b, h – відповідно довжина, ширина і висота штабеля, м;

$\beta_{об}$ – коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля, визначається згідно додатку 5 або за наступними формулами;

m – кількість штабелів, які можна розмістити у камері, шт.

Коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля ($\beta_{об}$) залежить від товщини і виду матеріалу (обрізний чи необрізний):

$$\beta_{об} = \frac{\beta_d * \beta_{ш} * \beta_v * 100 - y_o}{100} \quad (2.7)$$

$$\beta_{об,сосна19} = \frac{1 * 0,9 * 0,46 * 100 - 8,52}{100} = 0,382$$

$$\beta_{об,дуб30} = \frac{1 * 0,9 * 0,58 * 100 - 11,70}{100} = 0,458$$

$$\beta_{об,дуб50} = \frac{1 * 0,9 * 0,69 * 100 - 11,70}{100} = 0,552$$

$$\beta_{об,бук30} = \frac{1 * 0,6 * 0,58 * 100 - 11,50}{100} = 0,306$$

$$\beta_{об,ум.матер.} = 0,43$$

де: $\beta_d \beta_{ш} \beta_v$ – коефіцієнти заповнення штабеля по довжині, ширині, висоті (для обрізних пиломатеріалів приймається $\beta_d=0,85; \beta_{ш}=0,9$);

y_o – об'ємне всихання деревини (зменшення її об'єму при висиханні до вологості 15% приймається 7%).

Якщо $W_k < 15\%$, то коефіцієнт об'ємного всихання визначається за формулою

$$y_o = K_o * (W_{м.н} - W_{кін})\% \quad (2.8)$$

$$y_{o,сосна19} = 0,39 * (30 - 8) = 8,52\%$$

$$y_{o,дуб30} = 0,53 * (30 - 8) = 11,70\%$$

$$y_{o,дуб50} = 0,53 * (30 - 8) = 11,70\%$$

$$y_{o,бук30} = 0,52 * (30 - 8) = 11,50\%$$

$$y_{o,ум} = 0,39 * (30 - 8) = 8,58\%$$

де: K_o – коеф. об'ємного всихання даної породи;

$W_{кін}$ – кінцева вологість після сушіння, %;

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

Коефіцієнт об'ємного всихання приймається за даними довідкової літератури або розрахунковим шляхом за виразом:

$$K_o = \frac{\beta_v}{W_{т.н}}, \quad (2.9)$$
$$K_{o_{сосна19}} = \frac{11,62}{30} = 0,39$$
$$K_{o_{дуб30}} = \frac{15,96}{30} = 0,53$$
$$K_{o_{дуб50}} = \frac{15,96}{30} = 0,53$$
$$K_{o_{бук30}} = \frac{15,68}{30} = 0,52$$
$$K_{o_{ум}} = \frac{11,62}{30} = 0,39$$

де β_v – повна величина об'ємного всихання деревини.

Коефіцієнт заповнення штабеля по довжині визначається:

$$\beta_d = \frac{l_{сер}}{l}, \quad (2.10)$$
$$\beta_d = \frac{4}{4} = 1$$

де $l_{сер}$ – сумарна довжина пиломатеріалів (заготовок), що вкладаються в штабель.

Коефіцієнт заповнення штабеля по ширині визначають за відношенням сумарної ширини дощок (заготовок) у горизонтальному ряді штабеля до його ширини. Середні значення коефіцієнта заповнення штабеля по ширині наведено у додатку б.

Коефіцієнт заповнення штабеля за висотою визначається за формулою

$$\beta_v = \frac{S_1}{S_1 + S_{пр}} \quad (2.11)$$
$$\beta_{v_{сосна19}} = \frac{19}{19 + 22} = 0,46$$
$$\beta_{v_{дуб30}} = \frac{30}{30 + 22} = 0,58$$
$$\beta_{v_{дуб50}} = \frac{50}{50 + 22} = 0,69$$
$$\beta_{v_{бук30}} = \frac{30}{30 + 22} = 0,58$$
$$\beta_{v_{ум}} = \frac{19}{19 + 22} = 0,46$$

де: S_1 – товщина пиломатеріалів (заготовок), мм;

$S_{пр}$ – товщина прокладки, мм.

Горизонтальні ряди пиломатеріалів (заготовок) у штабелі розділяються міжрядовими прокладками, а пакети по висоті штабеля – міжпакетними. Міжрядові прокладки мають розмір 25×40мм (для штабелів висотою до 2,6 м можна застосовувати прокладки завтовшки 22 мм, а при висоті штабеля до 5 м – прокладки завтовшки 32 мм). При укладанні в штабель заготовок як прокладки можна використати самі заготовки, якщо їх товщина не перевищує 32 мм, а ширина – 70 мм.

Розрахунок продуктивності сушильних камер для фактичного та умовного матеріалу можна звести у табл. 2.2.

$$P = \frac{365}{\tau_{об}} * C * l * b * h * m * \beta_{об} \text{ м}^3/\text{рік} \quad (2.12)$$

$$P_{\text{сосна19}} = \frac{365}{2,28} * 0,92 * 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,382 = 3123 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$P_{\text{дуб30}} = \frac{365}{12,10} * 0,92 * 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,458 = 878 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$P_{\text{дуб50}} = \frac{365}{19,82} * 0,92 * 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,552 = 645 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$P_{\text{бук30}} = \frac{365}{13,11} * 0,92 * 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,306 = 541 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$P_{\text{ум.матер}} = \frac{365}{3,30} * 0,92 * 4 * 1,2 * 1,2 * 12 * 0,438 = 3069 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Таблиця 2.2. Розрахунок продуктивності сушильних камер для фактичного та умовного матеріалу

Порода висушуваного матеріалу	Розміри пиломатеріалу, мм			Розміри штабеля, мм			Товщ. прокладок, $S_{пр}$ мм	Кільк. штабелів, m шт	Коеф. об'ємн. заповн. штаб., $\beta_{об}$	C	Тривалість:			Продуктивн. камери, P м ³ /рік
	S_1	S_2	L	l	b	h					Сушня, τ_c діб	зав.-розвант., $\tau_{зав}$, діб	оборот у камери, $\tau_{об}$, діб	
сосна	19	140	4000	4000	1200	1200	22	12	0,382	0,92	2,73	0,1	2,83	3123
дуб	30	120	2000	4000	1200	1200	22	12	0,458	0,92	12,00	0,1	12,10	878
дуб	50	50	1000	4000	1200	1200	22	12	0,552	0,92	19,72	0,1	19,82	645
бук	30	280	4000	4000	1200	1200	22	12	0,306	0,92	13,01	0,1	13,11	541
ум матер	40	150	4000	4000	1200	1200	22	12	0,438	0,92	3,20	0,1	3,30	3069

2.2.3. Перерахунок кількості фактичного матеріалу в умовний

Об'єм фактичного висушеного матеріалу однакової характеристики переводиться в об'єм умовного матеріалу за формулою

$$Y_i = \frac{\Phi_i * \beta_{об.ум.} * \tau_{об.ф.}}{\tau_{об.ум.} * \beta_{об.ф.}} \text{ м}^3 \quad (2.13)$$

$$Y_{i_{сосна19}} = \frac{400 * 0,438 * 2,83}{3,30 * 0,382} = 393 \text{ м}^3$$

$$Y_{i_{дуб30}} = \frac{850 * 0,438 * 12,10}{3,30 * 0,458} = 2972 \text{ м}^3$$

$$Y_{i_{дуб50}} = \frac{500 * 0,438 * 19,83}{3,30 * 0,552} = 2380 \text{ м}^3$$

$$Y_{i_{бук30}} = \frac{450 * 0,438 * 13,11}{3,30 * 0,306} = 2553 \text{ м}^3$$

де: Φ_i – кількість фактичного матеріалу однакової характеристики, м³;

$\beta_{об.ум.}$, $\beta_{об.ф.}$ – коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля відповідно для умовного матеріалу і для фактичного матеріалу певної однакової характеристики;

$\tau_{об.ум.}$, $\tau_{об.ф.}$ – тривалість одного камерообороту відповідно для умовного матеріалу і для фактичного матеріалу певної однакової характеристики.

Загальна кількість умовного матеріалу визначається

$$\Sigma Y = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n \text{ м}^3 \quad (2.14)$$

$$\Sigma Y = 393 + 2972 + 2380 + 2553 = 8298 \text{ м}^3$$

Розрахунок кількості умовного матеріалу можна звести у табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Перерахунок кількості фактичного матеріалу в умовний

Характеристика пиломатеріалів							Трив. Камерообороту для факт. Мат.	Трив. Камерообороту для ум. Мат.	Коеф. Об'ємн. Зап. Для факт. Мат.	Коеф. Об'ємн. Зап. Для ум. Мат.	Об'єм матеріалу	
Порода	Вид пилом-ів	Розміри пиломат., мм			Вологість %						Факт.	Умовн.
		S ₁	S ₂	L	W _n	W _k						
сосна	обр	19	140	4000	80	8	2,83	3,30	0,382	0,438	400	8298,4 4
дуб	обр	30	120	2000	65	8	12,10		0,458			
дуб	обр	50	50	1000	65	8	19,82		0,552			
бук	н/обр	30	280	4000	70	8	13,11		0,306			

2.2.4. Визначення кількості сушильних камер

Кількість сушильних камер, що необхідна для виконання річної програми визначають за формулою

$$n = \frac{\Sigma Y}{\Pi_y} \text{ ШТ} \quad (2.15)$$

$$n = \frac{8298}{3069} = 2,70 \approx 3 \text{ шт.}$$

де: ΣU – загальна кількість умовного матеріалу, м³;

P_y – продуктивність однієї камери для умовного матеріалу, м³/рік.

Отже приймаємо 3 камери **Katres KAD 1x4S**.

2.3. Тепловий розрахунок

Метою теплового розрахунку сушильних камер є визначення маси вологи, що випаровується у процесі сушіння деревини, необхідної кількості тепла на сушіння, поверхні нагрівання калорифера та вибору теплового обладнання.

2.3.1. Вибір розрахункового матеріалу

За розрахунковий матеріал, як правило, вибирають пиломатеріали (заготовки) з деревини хвойних порід товщиною 25 мм. За розрахунковий матеріал приймають пиломатеріали (заготовки) з даної специфікації, в яких час сушіння найменший, тобто ті, що найшвидше висихають. Якщо теплова потужність камери і циркуляційне обладнання будуть розраховані на такий матеріал, то камера буде із надлишком забезпечувати сушіння матеріалу, який важче висихає.

2.3.2. Визначення маси вологи, яка випаровується з деревини в процесі сушіння

Маса вологи, яка випаровується з 1 м³ деревини визначається за формулою

$$m_{1\text{м}^3} = \frac{\rho_b \cdot W_{\text{поч}} - W_{\text{кін}}}{100} \text{ кг/м}^3, \quad (2.16)$$

$$m_{1\text{м}^3} = \frac{415 \cdot 80 - 8}{100} = 298,8 \text{ кг/м}^3,$$

де: ρ_b – базисна (умовна) густина деревини, кг/м³;

$W_{\text{поч}}$, $W_{\text{кін}}$ – відповідно початкова і кінцева вологість матеріалу, що висушується, %

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

$$m_{\text{об.кам.}} = m_{1\text{м}^3} \cdot E \text{ кг/об. кам.} \quad (2.17)$$

$$m_{\text{об.кам.}} = 298,8 \cdot 26,37 = 7879,8 \text{ кг/об. кам.}$$

Маса вологи, що випаровується з деревини за секунду

$$M_c = \frac{m_{\text{об.кам.}}}{3600 \cdot \tau_{\text{с.р}}} \text{ кг/с} \quad (2.18)$$

$$M_c = \frac{7879,8}{3600 \cdot 62,00} = 0,035 \text{ кг/с}$$

де: $\tau_{\text{с.р}}$ – тривалість сушіння розрахункового матеріалу, без врахування тривалості початкового прогрівання та кінцевої вологотеплообробки.

$$\tau_{\text{с.р}} = \tau_c - (\tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{во}})_{\text{год}}, \quad (2.19)$$

$$\tau_{\text{с.р}} = 65,50 - (1,5 + 2) = 62 \text{ год}$$

де: $\tau_{\text{пр}}$ – тривалість початкового прогрівання матеріалу, год;

$\tau_{\text{во}}$ – тривалість вологообробок, год.

Тривалість початкового прогрівання приблизно приймається: для хвойних порід 1,5 год на кожен сантиметр товщини розрахункового матеріалу; для м'яких листяних порід час нагрівання збільшується на 25%; для пиломатеріалів з твердих листяних порід – збільшують на 50%.

Розрахунок маси вологи, яка випаровується в камері

$$M_p = M_c * k \text{ кг/с}, \quad (2.20)$$

$$M_p = 0,035 * 1,3 = 0,046 \text{ кг/с},$$

де k – коефіцієнт нерівномірності сушіння, при сушінні вологим повітрям приймається: при $W_k=12\dots15\%$ $k=1,2$; при $W_k \leq 12\%$ $k=1,3$.

2.3.3. Вибір режиму сушіння

Розклад параметрів агента сушіння протягом процесу сушіння називають режимом сушіння. Зазвичай побудова режимів базується на зміні параметрів середовища (t_c, φ) при зміні вологості (W) деревини. Режим сушіння вибирають залежно від породи і товщини матеріалу, також від вимог, які ставляться до якості висушеного матеріалу.

Вибраний режим сушіння для соснових пиломатеріалів товщиною 16-22 мм.

Вологість деревини $W, \%$	Температура сушіння $t, ^\circ\text{C}$	Відносна вологість повітря $\varphi, \%$	Рівноважна вологість деревини $W_p, \%$
Прогрівання	52	76	14.0
>70	52	70	11
70-60	52	70	11
60-50	53	70	11
50-40	54	70	11
40-30	55	65	10
30-25	56	57	9.0
25-20	58	46	7.0
20-15	62	40	6.0
15-10	65	40	5.5
<10	65	40	5.5
Кондиціювання	60	65	$W_k + 2\%$

2.3.4. Визначення параметрів агента сушіння перед входом у штабель

За вибраним режимом сушіння призначають розрахункову температуру t_1 та відносну вологість повітря φ_1 . Для розрахунку параметрів повітря при вході у штабель приймаємо параметри режиму сушіння за середнім ступенем режиму сушіння. В даному випадку $t_1 = 58 ^\circ\text{C}$, а $\varphi_1 = 46 \%$.

Вологовміст d_1 , ентальпію I_1 , густину ρ_1 та приведений питомий об'єм V_1 визначають за Id-діаграмою. Якщо знайдена точка на Id-діаграмі виходить за межі діаграми, то параметри повітря вираховують за допомогою формул.

Вологовміст d_1 визначають

$$d_1 = \frac{622 * P_{n1}}{P_a - P_{n1}} \text{ г/кг} \quad (2.21)$$

$$d_1 = \frac{622 * 8346,746}{10^5 - 8346,746} = 56,65 \text{ г/кг}$$

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

P_a – атмосферний тиск повітря ($P_a = 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$).

Оскільки

$$\varphi_1 = \frac{P_{n1}}{P_{n1}}, \quad (2.22)$$

То

$$P_{n1} = \varphi_1 * P_{n1} \text{ Па}, \quad (2.23)$$

$$P_{n1} = 0,46 * 18145,1 = 8346,746 \text{ Па}$$

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

Ентальпію повітря I_1 визначаємо:

$$I_1 = 1,0 * t_1 + 0,001 * d_1 * (1,93 * t_1 + 2490) \text{ кДж/кг} \quad (2.24)$$

$$I_1 = 1,0 * 58 + 0,001 * 56,645 * (1,93 * 58 + 2490) = 205,39 \text{ кДж/кг}$$

Густину повітря ρ_1 визначають

$$\rho_1 = \frac{349 - \frac{132 * d_1}{622 + d_1}}{T_1} \text{ кг/м}^3 \quad (2.25)$$

$$\rho_1 = \frac{349 - \frac{132 * 56,645}{622 + 56,645}}{331} = 1,021 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_2 = \frac{349 - \frac{132 * 59,29}{622 + 59,29}}{324,73} = 1,039 \text{ кг/м}^3$$

де T_1 – температура агента сушіння в градусах Кельвіна, $T_1 = 273 + t_1$.

Приведений питомий об'єм V_1 визначають

$$V_{пр1} = 4,62 * 10^{-6} * T_1 * (622 + d_1) \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.26)$$

$$V_{пр1} = 4,62 * 10^{-6} * 331 * (622 + 56,645) = 1,038 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{пр2} = 4,62 * 10^{-6} * 324,73 * (622 + 52,003) = 1,023 \text{ м}^3/\text{кг}$$

2.3.5. Визначення об'єму і маси циркулюючого агента сушіння

Об'єм циркулюючого агента сушіння у камері визначають за формулою:

$$V_{ц} = \omega_{шт} * F_{ж.п.шт.} * C \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.27)$$

$$V_{ц} = 2 * 7,73 * 1,2 = 18,544 \text{ м}^3/\text{с}$$

де: $\omega_{шт}$ – розрахункова або задана швидкість руху агента сушіння через штабель, м/с.

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

C – коефіцієнт використання повітряного потоку ($C=1,2$ для камер з рівномірним розподілом агента сушіння, $C=1,5$ для камер, які не мають пристроїв для рівномірної подачі агента сушіння через штабель, $C=1,8$).

У камерах з поперечною циркуляцією агента сушіння живий перетин штабеля визначається за формулою

$$F_{ж.п.шт.} = l * h * (1 - \beta_v) * n \text{ м}^2 \quad (2.28)$$

$$F_{ж.п.шт.} = 4 * 1,2 * (1 - 0,46) * 3 = 7,73 \text{ м}^2$$

де: l, h – відповідно довжина та висота штабеля, м;

β_v – коефіцієнт заповнення штабеля по висоті;

n – кількість штабелів у площині, що перпендикулярна до напрямку руху агента сушіння.

Визначення маси циркулюючого агента сушіння на 1 кг випаровуваної вологи. Розрахунок проводять за формулою

$$m_{ц} = \frac{V_{ц}}{M_p * V_{пр1}} \quad (2.29)$$

$$m_{ц} = \frac{18,544}{0,046 * 1,038} = 389,36$$

2.3.6. Визначення параметрів повітря при виході зі штабеля

Параметри агента сушіння в камерах періодичної дії при виході зі штабеля ($t_2, \varphi_2, d_2, I_2, \rho_2, V_{пр.2}$) визначаються графоаналітичним способом. Для цього необхідно визначити d_2 і побудувати теоретичний процес випаровування вологи на Id-діаграмі (рис. 2.1).

$$d_2 = \frac{1000}{m_{ц}} + d_1 \text{ г/кг} \quad (2.30)$$

$$d_2 = \frac{1000}{389,36} + 56,645 = 59,213 \text{ г/кг}$$

$$\varphi_2 = 65 \%,$$

$$I_2 = I_1 = 205,39 \text{ кДж/кг},$$

$$\rho_2 = 1,039 \text{ кг/м}^3,$$

$$V_{пр.2} = 1,022 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

На Id-діаграмі за параметрами агента сушіння при вході в штабель t_1 і φ_1 наносять точку 1. Далі з точки 1 проводять лінію I_1 , паралельну до основних ліній

$I=const$. На перетині ліній I_1 та d_2 знаходять точку 2, яка характеризує параметри повітря при виході із штабеля ($\varphi_2, I_2, \rho_2, V_{пр.2}$).

Якщо точка 2 виходить за межі Id-діаграми, то параметри повітря при виході із штабеля визначають аналітичним методом враховуючи, що $I_2=I_1$ за формулами 3.15, 3.7, 3.9, 3.10, 3.11 відповідно $d_2, \varphi_2, \rho_2, V_{пр.2}$.

Температуру агента сушіння після виходу зі штабеля визначають за формулою

$$t_2 = \frac{I_2 - 2,49 \cdot d_2}{1,0 + 0,00193 \cdot d_2} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.31)$$

$$t_2 = \frac{205,39 - 2,49 \cdot 59,213}{1,0 + 0,00193 \cdot 59,213} = 52,0^\circ\text{C}$$

2.3.7. Визначення об'єму свіжого і відпрацьованого агента сушіння і розрахунок припливно-витяжних каналів

Маса свіжого і відпрацьованого агента сушіння на 1 кг випаруваної води

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

$$m_o = \frac{1000}{59,213 - 2} = 17,479 \text{ кг/кг}$$

де d_0 – вологовміст свіжого повітря (якщо повітря надходить з приміщення, то $d_0=10\dots12$ г/кг, якщо з навколишнього середовища, то влітку $d_0=10\dots12$ г/кг, взимку $d_0=2\dots3$ г/кг).

Об'єм свіжого (припливного) повітря визначається за формулою

$$V_0 = m_o \cdot M_p \cdot V_{пр.0}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.33)$$

$$V_0 = 17,479 \cdot 0,046 \cdot 0,87 = 0,698 \text{ м}^3/\text{с}$$

де $V_{пр.0}$ – приведений питомий об'єм свіжого повітря (за $t=20^\circ\text{C}$ $V_{пр.0} \approx 0,87$ м³/кг).

Об'єм відпрацьованого повітря визначаємо за формулою:

$$V_{відпр.} = m_o \cdot M_p \cdot V_{пр.2}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.34)$$

$$V_{відпр.} = 17,479 \cdot 0,046 \cdot 1,023 = 0,820 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахунок припливно-витяжних каналів.

Площа поперечного перетину припливного каналу визначається

$$f_{пр.кан.} = \frac{V_0}{\omega_{кан}} \text{ м}^2 \quad (2.35)$$

$$f_{пр.кан.} = \frac{0,698}{2,5} = 0,279 \text{ м}^2$$

де $\omega_{кан}$ – шв. повітря у припливному каналі (приймають $\omega_{кан}=2\dots2,5$ м/с).

Площу поперечного перетину витяжного каналу визначаємо за формулою:

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

$$f_{\text{вит.кан.}} = \frac{0,820}{2,5} = 0,328 \text{ м}^2$$

Перетини каналів можуть бути квадратні, прямокутні або круглі, тому визначають діаметр або сторону перетину каналу. У випадку реверсивної циркуляції агента сушіння в камері (коли канали одночасно є і припливними і витяжними) приймають більший перетин.

Приймаємо розміри припливно-витяжних каналів 400 х 400 мм., кількістю 4 шт.

2.3.8. Розрахунок витрат тепла на сушіння деревини

Визначення витрат теплоти на початкове нагрівання 1 м³ деревини:

а) для зимових умов (кДж/м³)

$$q_{\text{нагр.1м}^3} = \rho * C \quad (2.37)$$

$$q_{\text{нагр.1м}^3} = 700 * 2,2 * (-(-23)) + \frac{415 * 70 - 18}{100} * 335 + 700 * 2,9 * 52 = 213273,0$$

де: ρ – густина деревини за початкової вологості, кг/м³ (рис. 2.3);

ρ_6 – базисна густина деревини, кг/м³;

$W_{\text{поч}}$ – початкова вологість деревини, %;

$W_{\text{н.з.}}$ – к-сть незамерзлої води у деревині, %;

γ – прихована теплота плавлення льоду ($\gamma=335$ кДж/кг);

$C_{(-)}$, $C_{(+)}$ – середня питома теплоємність деревини відповідно при від'ємній і додатній температурі, кДж/кг*°С (рис. 2.4);

t_{0z} – початкова розрахункова температура деревини для зимових умов, °С;

$t_{\text{нагр}}$ – температура деревини при її прогріванні, °С.

Для камер періодичної дії при застосуванні низькотемпературних режимів сушіння, якщо у самому режимі не закладено параметрів початкового прогрівання, то температуру повітря на період початкового нагрівання приймають на 5...8°С вище від температури першого ступеня режиму сушіння. Якщо початкова вологість деревини вища від точки насичення $W_0 > W_{\text{тн}}$, то відносну вологість агента сушіння встановлюють на рівні $\varphi \approx 1,0$. Якщо початкова вологість нижче точки насичення $W_0 < W_{\text{тн}}$, то відносна вологість повітря приймається $\varphi = 0,95 \dots 0,98$ або за діаграмою рівноважної вологості [2].

При визначенні питомої теплоємності приймається середня температура $t_{\text{сер}}$ і початкова вологість $W_{\text{поч}}$:

для $C_{(-)}$

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_{0з} + 0}{2} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.38)$$
$$t_{\text{сер}} = \frac{(-23) + 0}{2} = -11^\circ\text{C}$$

для $C_{(+)}$

$$t_{\text{сер}} = \frac{0 + t_{\text{нагр}}}{2} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.39)$$
$$t_{\text{сер}} = \frac{0 + 52}{2} = 26^\circ\text{C}$$

де $t_{\text{нагр}}$ – температура, за якої проводиться прогрівання матеріалу в камері.

б) для середньорічних умов, кДж/м^3

$$q_{\text{нагр.1м}^3} = \rho * C \quad (2.40)$$
$$q_{\text{нагр.1м}^3} = 700 * 2,9 * (52 - 7,0) = 91350 \text{ кДж/м}^3,$$

де $t_{0 \text{ с.р}}$ – середньорічна температура деревини, $^\circ\text{C}$.

Питому теплоємність у формулі 2.25 визначають за рис. 2.4 залежно від

$t_{\text{сер}}$:

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_{0 \text{ с.р}} + t_{\text{нагр}}}{2} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.41)$$
$$t_{\text{сер}} = \frac{7 + 52}{2} = 29,5^\circ\text{C}$$

Питомі витрати теплоти при початковому нагріванні деревини на 1кг вологи, що випаровується визначають для зимових та середньорічних умов:

$$q_{\text{нагр}} = \frac{q_{\text{нагр.1м}^3}}{m_{1\text{м}^3}} \text{ кДж/кг} \quad (2.42)$$
$$q_{\text{нагр.зим.ум.}} = \frac{213273,0}{298,8} = 713,765 \text{ кДж/кг}$$
$$q_{\text{нагр.срррч.ум.}} = \frac{91350,0}{298,8} = 305,723 \text{ кДж/кг}$$

Загальні витрати теплоти на камеру періодичної дії при початковому нагріванні визначають для зимових і середньорічних умов:

а) для зимових умов

$$Q_{\text{нагр}} = \frac{q_{\text{нагр.1м}^3} * E}{3600 * \tau_{\text{пр}}} \text{ кВт} \quad (2.43)$$
$$Q_{\text{нагр}} = \frac{213273,0 * 26,73}{3600 * 4,4} = 355,072 \text{ кВт}$$

де $\tau_{\text{пр}}$ – тривалість початкового прогрівання деревини у камері приймається приблизно для пиломатеріалів хв. порід: влітку 1...1,5 год, взимку 1,5...2 год, на кожний сантиметр товщини матеріалу; для м'яких листяних порід час нагрівання збільшується на 25%; для твердих листяних порід – збільшують на 50%.

Визначення витрат тепла на випаровування вологи:

$$q_{\text{вип}} = \frac{1000 * I_2 - I_c}{d_2 - d_c} - C_B * t_{\text{нагр}} \text{ кДж/кг} \quad (2.44)$$

$$q_{\text{вип}} = \frac{1000 * 205,39 - 10}{59,213 - 2} - 4,19 * 52 = 3197,248 \text{ кДж/кг}$$

де: I_c – ентальпія свіжого повітря приймається влітку $I_c=46$ кДж/кг, взимку – $I_c=10$ кДж/кг;

d_c – вологовміст свіжого повітря, приймається влітку $d_c=10...12$ г/кг, взимку – $d_c=2...3$ г/кг;

C_B – питома теплоємність води, приймається $C_B=4,19$ кДж/кг·°С.

Загальні витрати теплоти на випаровування вологи визначають за формулою:

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

$$Q_{\text{вип}} = 3197,248 * 0,046 = 146,733 \text{ кВт}$$

Визначення втрат тепла через огороження камери.

Камера Катрес КАД 1х4S має такі розміри:

- Зовнішні: Глибина (А) – 7,83 м.
Ширина (В) – 5,52 м.
Висота (С) – 5,61 м.
- Завантажувальний простір:
Глибина (D) – 7,4 м.
Ширина (Е) – 4,96 м.
Висота (F) – 5,2 м.

$$F_{\text{бок.ог}} = F_{\text{перекр.}} = F_{\text{підлоги}} = A * B = 7,83 * 5,52 = 43,22 \text{ м}^2$$

Втрати тепла через огороження камери визначають за формулою

$$Q_{\text{ог}} = F_{\text{ог}} * k * (t_c - t_0) * 10^{-3} \text{ кВт} \quad (2.46)$$

Для зимових умов:

$$Q_{\text{бок.ог}} = 149,79 * 0,661 * (55,0 - (-23)) * 10^{-3} = 7,727 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{перекр.}} = 43,22 * 0,449 * (55,0 - (-23)) * 10^{-3} = 1,514 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{підл.}} = 43,22 * 0,331 * (55,0 - 7,0) * 10^{-3} = 0,686 \text{ кВт}$$

Для середньорічних умов:

$$Q_{\text{бок.ог}} = 149,79 * 0,661 * (55,0 - 7,0) * 10^{-3} = 4,755 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{перекр.}} = 43,22 * 0,449 * (55,0 - 7,0) * 10^{-3} = 0,932 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{підл.}} = 43,22 * 0,331 * (55,0 - 7,0) * 10^{-3} = 0,686 \text{ кВт}$$

де: $F_{\text{ог}}$ – площа окремо взятого огороження камери, м²;

k – коефіцієнт теплопередачі даного огороження камери, Вт/(м²·°С);
 t_c – температура агента сушіння у камері на середній ступені режиму сушіння, °С;
 t_0 – розрахункова температура навколишнього середовища для зимових та середньорічних умов, °С (додаток 11).

$$t_c = \frac{t_1 + t_2}{2} \text{ °С} \quad (2.47)$$

$$t_c = \frac{58 + 52}{2} = 55,0 \text{ °С}$$

де t_1, t_2 – температура агента сушіння при вході та на виході зі штабеля, °С.

Коефіцієнт теплопередачі багатошарових огорожень визначають за формулою

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{зовн}}} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)} \quad (2.48)$$

$$k_{\text{бок.ог}} = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,0008}{240} + \frac{0,1}{0,07} + \frac{0,0015}{240} + \frac{1}{23}} = 0,661 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

$$k_{\text{перекр.}} = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,0008}{240} + \frac{0,15}{0,07} + \frac{0,0015}{240} + \frac{1}{23}} = 0,449 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

$$k_{\text{підл.}} = \frac{k_{\text{бок.ог.}}}{2} = \frac{0,661}{2} = 0,331 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

де: $\alpha_{вн}$ – коеф. тепловіддачі для внутр. пов. огороження, $\alpha_{вн} \approx 25 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$;

$\alpha_{зовн}$ – коефіцієнт тепловіддачі для зовнішньої поверхні огороження $\alpha_{зовн} \approx 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ – для відкритого повітря, $\alpha_{зовн} \approx 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ – для горищ і неопалюваних приміщень, $\alpha_{зовн} \approx 25 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ – для опалюваних приміщень;

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

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – теплопровідність матеріалів відповідних шарів огорожень (додаток 10), Вт/(м·К).

Для підлоги коефіцієнт теплопередачі k приймають у 2 рази меншим, як для зовнішньої стіни камери. Виходячи із сучасних вимог до огорожень камер коефіцієнт теплопередачі стелі камери повинен бути $k \leq 0,6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$, а інших огорожень $k \leq 0,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$.

Розрахунок ведеться для крайньої камери. Втрати тепла через бокову стіну між двома камерами не враховуються. Якщо сушильні камери розміщені у цеху, то температуру навколишнього середовища t_0 для усіх огорожень, крім підлоги, приймають 10...15°С. Для підлоги приймають температуру навколишнього середовища для середньорічних умов (додаток 11).

Перед розрахунком втрат тепла через огороження рекомендується накреслити варіант плану сушильного цеху, щоб вірно визначити температуру навколишнього середовища для всіх огорожень.

Втрати тепла через огороження камери визначають для зимових і середньорічних умов і вносять у таблицю 3.1.

Питомі втрати тепла через огороження визначають для зимових та середньорічних умов за формулою:

$$q_{ог} = \frac{\sum Q_{ог}}{M_c} \text{кДж/кг} \quad (2.49)$$

Для зимових умов:

$$q_{ог} = \frac{9,927}{0,035} = 281,20 \text{кДж/кг}$$

Для середньорічних умов:

$$q_{ог} = \frac{6,373}{0,035} = 180,53 \text{кДж/кг}$$

Таблиця 2.4. Втрати тепла через огороження камери Katres KAD 1x4S

№ п/п	Назва і розміри огороження	Площа F _{ог} , м ²	k, Вт/(м ² *°C)	t _c , °C	t _c , °C		t _c -t _o , °C		Q _{ог} , кВт	
					зим.	сррічн.	зим.	сррічн.	зим.	сррічн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Бокові огороження	149,79	0,661	55,00	-23	7,0	78,00	48,00	7,727	4,755
2	Перекрыття (стеля)	43,22	0,449						1,514	0,932
3	Підлога	43,22	0,331		7,0	48,00	0,686	0,686		
Разом									9,927	6,373

Питомі втрати теплоти на сушіння деревини визначають для зимових і середньорічних умов за формулою:

$$q_{суш} = (q_{нагр} + q_{вип} + q_{ог}) * c_{вт} \text{кДж/кг}, \quad (2.50)$$

Для зимових умов:

$$q_{суш} = (713,77 + 3197,25 + 281,20) * 1,2 = 5030,66 \text{кДж/кг}$$

Для середньорічних умов:

$$q_{суш} = (305,72 + 3197,25 + 180,53) * 1,2 = 4420,195 \text{кДж/кг}$$

де $c_{вт}$ – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти на початкове нагрівання камери, транспортних засобів, обладнання та ін. (приймають $c_{вт}=1,1...1,3$).

Питомі витрати теплоти на 1 м³ розрахункового матеріалу визначають для зимових і середньорічних умов за формулою:

$$q_{суш.1м^3} = q_{суш} * m_{1м^3} \text{кДж/м}^3 \quad (2.51)$$

Для зимових умов:

$$q_{\text{суш.1м}^3} = 5030,66 * 298,8 = 1503161,6 \text{ кДж/м}^3$$

Для середньорічних умов:

$$q_{\text{суш.1м}^3} = 4420,20 * 298,8 = 1320754,3 \text{ кДж/м}^3$$

2.3.9 Розрахунок теплового обладнання в камері

У сушильних камерах застосовуються калорифери трьох типів: збірні з ребристих чавунних труб; сталеві пластинчасті та біметалеві. Технічна характеристика, опис конструкції та методики розрахунків збірних калориферів з ребристих чавунних труб і пластинчатих сталевих калориферів наведено у літературі [9, 10, 11, 12, 13].

Вибір і розрахунок поверхні нагрівання калорифера. Кількість теплової енергії, яку необхідно подати у камеру за одиницю часу, тобто теплову потужність калорифера визначають для зимових умов за формулою:

$$Q_k = (Q_{\text{вип}} + \sum Q_{\text{ог}}) * c_{\text{вт.теп}} \text{кВт} \quad (2.52)$$

$$Q_k = (146,733 + 9,927) * 1,1 = 172,326 \text{кВт}$$

де $c_{\text{вт.теп}}$ – коефіцієнт, на невраховані витрати тепла на сушіння деревини ($c_{\text{вт.теп}}=1,1 \dots 1,3$).

Останнім часом у камерах періодичної дії широкого застосування набули біметалеві калорифери.

Поверхню нагрівання калорифера визначають за формулою:

$$F_k = \frac{1000 * Q_k * c_3}{k * (t_m - t_c)} \text{ м}^2 \quad (2.53)$$

$$F_k = \frac{1000 * 172,326 * 1,2}{42,967 * (90 - 55,0)} = 137,51 \text{ м}^2$$

де: k – коефіцієнт теплопередачі калорифера, $\text{Вт/м}^2 * ^\circ\text{C}$;

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

t_c – температура агента сушіння у камері (за формулою 2.32), $^\circ\text{C}$;

c_3 – коефіцієнт, що враховує забруднення і корозію калорифера ($c_3=1,2$).

Температура теплоносія приймається на рівні $90 \dots 95^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт теплопередачі k для біметалевих водяних калориферів визначають за формулою

$$k = 25,48 * \quad (2.54)$$

$$k = 25,48 *$$

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

ρ – густина агента сушіння, кг/м^3 ;

v_m – швидкість теплоносія по трубках калорифера, $v_m=0,2\dots1,0$ м/с.

Швидкість руху агента сушіння через калорифер визначається за формулою

$$\omega_{\text{кал}} = \frac{V_{\text{ц}}}{F_{\text{ж.пер.к}}} \text{ м/с} \quad (2.55)$$

$$\omega_{\text{кал}} = \frac{18,54}{4,23} = 4,38 \text{ м/с}$$

де $F_{\text{ж.пер.к}}$ – живий перетин калорифера (площа перетину калорифера, вільна для проходу агента сушіння), м^2 .

Для визначення живого перетину калорифера $F_{\text{ж.пер.к}}$ на схемі камери необхідно попередньо розмістити калорифери.

Приймаємо калорифери ВН2-11-2 шт та ВН2-09-2 шт

$$F_{\text{ж.пер.к}} = F_{\text{ф.п}} * n_{\text{м}^2} \quad (2.56)$$

$$F_{\text{ж.пер.к}} = 1,66 * 2 + 0,455 * 2 = 4,23 \text{ м}^2$$

де: $F_{\text{ф.п.}}$ – площа перетину калорифера по повітрю, м^2 ;

$n_{\text{кал}}$ – к-сть біметалевих калориферів, встановлених у камері, шт;

Визначимо необхідну кількість калориферів за формулою:

$$n_k = \frac{F_k}{F} \text{ шт.} \quad (2.57)$$

$$n_k = \frac{112,83}{61,7} = 1,83 \text{ шт.} \approx 2 \text{ шт.}$$

$$n_k = \frac{24,68}{17,16} = 1,44 \text{ шт.} \approx 2 \text{ шт.}$$

(112,83 + 24,68 = 137,51 – згідно з формулою 2.38)

де F – площа поверхні нагріву одного калорифера, м^2 .

2.3.10 Визначення кількості води, що циркулює в тепловій системі

$$P_{\text{кам.1год}} = \frac{Q_k * c_{\text{вттепм}} * 3600}{c_v * (t_{\text{тнавх}} - t_{\text{тнавих}})} \text{ кг/год} \quad (2.58)$$

$$P_{\text{кам.1год}} = \frac{172,326 * 1,25 * 3600}{4,19 * (90 - 70)} = 9253,79 \text{ кг/год}$$

$$P_{\text{кам.1год.нагр}} = \frac{Q_{\text{нагр}} * c_{\text{вттепм}} * 3600}{c_v * (t_{\text{тнавх}} - t_{\text{тнавих}})} \text{ кг/год}$$

$$P_{\text{кам.1год.нагр}} = \frac{355,072 * 1,25 * 3600}{4,19 * (90 - 70)} = 19067,166 \text{ кг/год}$$

де: $c_{\text{вт те п м}}$ – коеф. що враховує втрати тепла в тепломагістралі ($c_{\text{вт те п м}} \approx 1,25$);

c_v – теплоємність води, $c_v=4,19$ кДж/кг·°С;

$t_{\text{т на в х}}$ – температура теплоносія на вході в калорифери 90...95°С;

$t_{\text{т на в ы х}}$ – температура теплоносія на виході з калорифера, приймається на 20°С нижчою як темп. теплоносія на вході в калорифер, тобто $t_{\text{т на в ы х}}$

$t_{вих} = 70 \dots 75^\circ\text{C}$.

$$P_{цех} = P_{кам.1год} * 2 + P_{кам.1год.нагр} * 1 = 9253,79 * 2 + 19067,166 * 1 = 47388,022 \text{ кг/год}$$

2.3.11 Визначення діаметрів трубопроводів

Діаметр головної магістралі

$$d_{г.маг} = \sqrt{\frac{1,27 * P_{цех}}{\rho_v * \omega_m * 3600}} \text{ м} \quad (2.59)$$

$$d_{г.маг} = \sqrt{\frac{1,27 * 47388,022}{1000 * 1,5 * 3600}} = 0,106 \text{ м.}$$

де: $P_{цех}$ – кількість води, що подається до всіх камер, кг;

ρ_v – густина води, 1000 кг/м³;

ω_m – швидкість руху води в трубопроводах, приймають 1,0...1,5 м/с.

Приймаємо стандартну трубу DN100 (зовнішній діаметр – 108 мм).

Діаметр підводу до камери:

$$d_{кам} = \sqrt{\frac{1,27 * P_{кам.1год}}{\rho_v * \omega_m * 3600}} \text{ м} \quad (2.60)$$

$$d_{кам} = \sqrt{\frac{1,27 * 9253,79}{1000 * 1,5 * 3600}} = 0,047 \text{ м.}$$

де: $P_{цех}$ – кількість води, що подається до однієї камери, кг;

ω_m – швидкість руху води в трубопроводах, приймають 1,0...1,5 м/с.

Приймаємо стандартну трубу DN50 (зовнішній діаметр – 57 мм)

При зволоженні холодною водою діаметр зволожувальної труби приймають, як правило, рівним 1/2" ($d_y = 15$ мм).

2.4. Аеродинамічний розрахунок

Метою аеродинамічного розрахунку є визначення опорів руху агента сушіння для подальшого вибору вентиляторів і приводу електродвигунів.

2.4.1 Складання схеми циркуляції агента сушіння у камері Katres KAD 1x4S.

Залежно від конструкції камери складають схему циркуляції агента сушіння з послідовною нумерацією всіх ділянок. Симетричні ділянки при розрахунках об'єднуються.

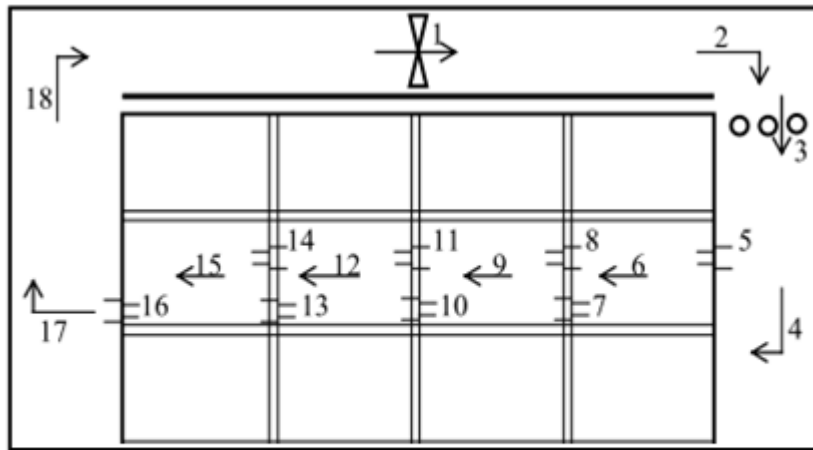


Рис. 4.1. Приклад схеми циркуляції повітря у камері:

1 – вентилятор; 2, 18 – поворот під кутом 90° ; 3 – калорифер; 4, 17 – поворот під кутом 90° ; 5, 8, 11, 14 – вхід в штабель; 6, 9, 12, 15 – штабель; 7, 10, 13, 16 – вихід зі штабеля.

2.4.2 Розрахунок опору ділянок кільця циркуляції агента сушіння

Оскільки, в сучасних сушильних камерах агент сушіння циркулює по замкнутому контуру та довжини окремих ділянок є малими, тиск вентилятора, необхідний для подолання опорів руху агента сушіння, визначають тільки статичний.

$$H_{ст} = \sum \Delta h_{ст.i} \text{ Па} \quad (2.61)$$

$$H_{ст} = 22,23 + 6,98 + 68,65 + 7,05 + 1,73 + 79,18 + 2,66 = 188,49 \text{ Па}$$

де $\sum \Delta h_{ст. i}$ – сума опорів усіх ділянок кільця циркуляції агента сушіння, Па.

Статичний опір на будь-якій ділянці циркуляції повітря визначають за формулою:

$$\Delta h = \frac{\rho \cdot \omega_i^2}{2} * \xi_i \text{ Па} \quad (2.62)$$

$$\Delta h_{дiл.1} = \frac{1,021 * 7,379^2}{2} * 0,8 = 22,23 \text{ Па}$$

$$\Delta h_{дiл.2;18} = \frac{1,021 * 2,493^2}{2} * 1,1 * 2 = 6,98 \text{ Па}$$

$$\Delta h_{дiл.3} = 68,65 \text{ Па (згідно з ф. 4,4)}$$

$$\Delta h_{дiл.4;17} = \frac{1,031 * 2,49^2}{2} * 1,1 * 2 = 7,05 \text{ Па}$$

$$\Delta h_{дiл.5;8;11;14} = \frac{1,031 * 2^2}{2} * 0,21 * 4 = 1,73 \text{ Па}$$

$$\Delta h_{дiл.6;9;12;15} = \frac{1,031 * 2^2}{2} * 9,6 * 4 = 79,18 \text{ Па}$$

$$\Delta h_{дiл.7;10;13;16} = \frac{1,041 * 2^2}{2} * 0,32 * 4 = 2,66 \text{ Па}$$

де ρ – густина агента сушіння, кг/м³;
 ω_i – швидкість руху повітря на відповідній ділянці, м/с;
 ξ_i – коефіцієнт місцевого опору на відповідній ділянці (для осьового вентилятора $\xi=0,8$).

$$\omega_i = \frac{V_{ц}}{F_i} \text{ м/с} \quad (2.63)$$

$$\omega_{i_{\text{діл.1}}} = \frac{18,544}{2,51} = 7,379 \text{ м/с}$$

$$\omega_{i_{\text{діл.2;18}}} = \frac{18,544}{7,44} = 2,493 \text{ м/с}$$

$$\omega_{i_{\text{діл.3}}} = 3,72 \text{ м/с (згідно з ф. 3.40)}$$

$$\omega_{i_{\text{діл.4;17}}} = \frac{18,544}{7,44} = 2,49 \text{ м/с}$$

$$\omega_{i_{\text{діл.5-16}}} = 2 \text{ м/с}$$

де: F_i – площа живого перетину відповідної ділянки (перпендикулярно руху агента сушіння), м².

Площа живого перетину на ділянці вентиляторів визначається

$$F_{\text{ж.пер.в}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{в}}^2}{4} * n_{\text{в}} \text{ м}^2 \quad (2.64)$$

$$F_{\text{ж.пер.в}} = \frac{3,14 * 0,8^2}{4} * 5 = 2,51 \text{ м}^2$$

де: $D_{\text{в}}$ – попередньо прийнятий діаметр вентилятора, м;

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

Статичний опір біметалевих калориферів руху агента сушіння визначається за наступними залежностями [15]:

– для дворядних ПНВ113-200 (ВН2)

$$\Delta h = 6,94 * \quad (2.65)$$

$$\Delta h = 6,94 *$$

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

Таблиця 2.5. Підрахунок опору

№ ділянки	Назва ділянки	Густина аг. суш., ρ кг/м ³	Кільк. цирк. аг. суш., $V_{ц}$ м ³ /с	Площа ж. пер. діл. $F_{\text{ж.пер.}i}$ м ²	Шв. агента сушіння на діл. ω м/с	Коеф. місцевого опору, ξ	Стат. опір на відпов. діл., Δh_i Па
1	Вентилятор	1,021	18,544	2,513	7,379	0,8	22,23
2; 18	Поворот під			7,44	2,493	1,1	6,98

	кутом 90°							
3	Калорифер			4,98	3,72	-	68,65	
4; 17	Поворот під кутом 90°	1,031		7,44	2,49	1,1	7,05	
5; 8; 11; 14;	Вхід в штабель					0,21	1,73	
6; 9; 12; 15;	Штабель			12,609	2	9,6	79,18	
7; 10; 13; 16	Вихід зі штабеля	1,041				0,32	2,66	
Разом								188,49

2.5. Вибір вентилятора і розрахунок потужності електродвигуна

Вентилятор вибирають за продуктивністю V_B , м³/с і приведеному тиску $H_{пр}$, Па.

Продуктивність вентилятора:

$$V_B = \frac{V_{ц}}{n_B} \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.66)$$

$$V_B = \frac{18,544}{5} = 3,709 \text{ м}^3/\text{с}$$

У характеристиках вентиляторів вказано їх параметри за температури $t=20^\circ\text{C}$, відносної вологості $\varphi=0,5$ і густини $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$. Якщо густина повітря ρ відрізняється від $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$, то вентилятор підбирають за приведеним тиском $H_{пр}$, Па.

$$H_{пр} = \frac{H_{ст} * 1,2}{\rho_1} \text{ Па} \quad (2.67)$$

$$H_{пр} = \frac{188,49 * 1,2}{1,021} = 221,51 \text{ Па}$$

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

$$N_B = \frac{H_{ст} * V_B * 10^{-3}}{\eta_B * \eta_n} \text{ кВт} \quad (2.68)$$

де: η_B – коефіцієнт корисної дії вентилятора, вибирають за характеристикою (0,6; 0,7);

η_n – коефіцієнт корисної дії передачі (якщо вентилятор встановлений на валу електродвигуна – 1; якщо електродвигун і вентилятор з'єднані через муфту – 0,95; якщо клинопасовою передачею – 0,9...0,95).

$$N_B = \frac{188,49 * 3,709 * 10^{-3}}{0,6 * 1} = 1,17 \text{ кВт}$$

Електродвигуни вибирають за встановленою потужністю.

Встановлена потужність:

$$N_{\text{вст}} = N_{\text{в}} * K_3 \quad (2.69)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу потужності на пусковий момент.

$$N_{\text{вст}} = 1,17 * 1,1 = 1,28$$

Приймаємо електродвигун фірми Tamei s. a. (Польща) з характеристиками:.

Тип двигуна		Sg90L-4
Потужність, кВт		1,5
Частота обертання, хв -1		1420
Струм статора при напрузі, А	220 В	6,3
	380 В	3,6
	400 В	3,4
ККД, %		78,5
cosφ		0,80
$I_{\text{пусу}} / I_{\text{ном}}$		5,3
$M_{\text{пусу}} / M_{\text{ном}}$		2,4
$M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}}$		2,7
Маховий момент ротора М, кгс·м ²		0,0038
Ступінь захисту		IP 55
Клас ізоляції		Н

2.6 Розрахунок транспортного обладнання

2.6.1. Розрахунок автотранспорту

Продуктивність автотранспорту визначається за формулою

$$P = K_p \cdot \frac{T_{\text{зм}} \cdot E_{\text{шт}}}{\frac{L_n}{\omega_1} + \frac{L_n}{\omega_2} + t_{\text{д}}} \quad (2.70)$$

, м³/зм

де K_p - коефіцієнт використання робочого часу, приймають рівним 0,8;

$T_{\text{зм}}$ - тривалість зміни, хв.;

$E_{\text{шт}}$ - об'єм пакета або штабеля, м³;

L_n - середня довжина перевезення вантажу, м;

ω_1 - швидкість руху транспортного засобу з вантажем, м/хв;

ω_2 - те саме без вантажу, м/хв;

t_d - тривалість додаткових операцій за один рейс, хв.
Необхідна кількість транспортних засобів

$$n = \frac{Q_{зм} \cdot K_H}{\Pi \cdot \eta_{об}}, \text{ шт.} \quad (2.71)$$

де $Q_{зм}$ - кількість матеріалу, яку необхідно перевезти за зміну, м^3

$$Q_{зм} = \frac{\sum \Phi}{T_{ріє} \cdot m}, \text{ м}^3 / \text{зміну} \quad (2.72)$$

де $\sum \Phi$ - фактичний річний об'єм висушених пиломатеріалів, м^3 ;

$T_{ріє}$ - річний фонд робочого часу, діб;

m - число змін роботи обладнання;

K_H - коефіцієнт нерівномірності вантажопотоків ($K_H = 1,25-1,4$);

$\eta_{обл}$ - коефіцієнт використання транспортного обладнання, приймають

$\eta_{обл} = 0,7-0,8$

Розрахунок автотранспорту

$$\Pi = 0,8 \cdot \frac{480 \cdot 5,76}{\frac{100}{100} + \frac{100}{300} + 5} = 351 \text{ м}^3 / \text{зм}$$

$$Q_{зм} = \frac{2200}{335 \cdot 1} = 6,6 \text{ м}^3 / \text{зм}$$

Кількість автотранспорту

$$n = \frac{6,6 \cdot 1,35}{351 \cdot 0,7} = 0,036 \text{ шт}$$

У зв'язку із малим завантаженням, автотранспорту для сушильного господарства не приймається. Процес завантаження буде проводитись автотранспортом, який уже є на виробництві.

2.7 Розрахунок кількості електроенергії

2.7.1 Розрахунок річної потреби в силіній електроенергії

Необхідну кількість силіній електроенергії протягом року визначають за формулою

$$W_a = \sum N_{вст} \cdot \tau_{розр} \frac{K_3 \cdot K_o}{K_D \cdot K_{втр}}, \text{ кВт год / рік} \quad (2.73)$$

де $\sum N_{вст}$ - сума потужностей всіх встановлених електродвигунів;
 $\tau_{розр}$ - розрахункова тривалість роботи всіх електродвигунів протягом року, год.;

K_3 - коефіцієнт електродвигунів;

K_o - коефіцієнт, який враховує одночасність роботи електродвигунів;

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

K_D - допоміжний коефіцієнт.

Для зручності розрахунку вираз $\frac{K_3 \cdot K_o}{K_D \cdot K_{втр}}$ можна замінити коефіцієнтом попиту $K_{п}$, значення якого приведено в таблиці 5.5.1, [1].

Розрахункова тривалість роботи двигунів протягом року

$$\tau_{розр} = [356 - (B + C)] \cdot \tau_{зм} \cdot n, \text{ год} \quad (2.74)$$

де B - кількість вихідних днів;

C - кількість святкових днів;

$\tau_{зм}$ - тривалість зміни, год;

n - кількість робочих змін.

Сушильні камери протягом року працюють безперервно. Планується 21 доба для профілактичного ремонту. Тривалість зміни становить 8 год, кількість змін - 3. Тоді

$$\tau_{розр} = 3358 \cdot 3 = 8040 \text{ год.}$$

Сушильна камера на протязі цього часу має примусові технологічні зупинки, пов'язані з затратою часу на завантажувально-розвантажувальні роботи ($\tau_{n.p.}$) і на охолодження матеріалу в камері до $t = 3040 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\tau_{охол-кам}$) $\tau_{n.p.}$ нормується в 0,1 доби (24 години) на кожний оборот камери.

$$\text{тоді:} \quad \tau_{зав} = n_{зав} \cdot \tau_{1зав} \text{ год/рік;} \quad (2.75)$$

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

$\tau_{1зав}$ - тривалість завантажувально-розвантажувальних робіт, год;

Середньозважену кількість камерооборотів $n_{зав}$ визначаємо за формулою

$$n_{зав} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot V_i}{\sum V_i}; \text{ об/рік} \quad (2.76)$$

де n_i - кількість камерооборотів відповідного п/м, об/рік; (табл.2,3)

V_i - фактичний річний об'єм відповідного пиломатеріалу, м³

$$n_{зав} = \frac{118,41 \cdot 400 + 27,7 \cdot 850 + 16,9 \cdot 500 + 25,55 \cdot 450}{\Sigma 400 + 850 + 500 + 450} = 41,3 \text{ об/рік}$$

тоді

$$\tau_{n.p.1} = 41,3 \cdot 2,4 = 99 \text{ год./рік.}$$

Тривалість охолодження для висушуваних матеріалів становить 1 год на 1 см товщини, тоді

$$\tau_{ох} = n_{зав} \cdot 1 \cdot S_{сер} \text{ год/рік;}$$

$S_{сер}$ - середньозважена товщина сушильного матеріалу, см.

$$S_{сер} = 0,1 \cdot \frac{\sum_{i=1}^k S_i \cdot V_i}{\sum V_i}; \text{ см} \quad (2.77)$$

де S_i - товщина відповідного пиломатеріалу, мм; (табл.2,1)

Знаходимо середньозважену товщину $S_{сер}$

$$S_{зав} = 0,1 \cdot \frac{19 \cdot 400 + 30 \cdot 850 + 50 \cdot 500 + 30 \cdot 450}{\Sigma 400 + 850 + 500 + 4500} = 3,3 \text{ см}$$

$$\tau_{ох} = 41,3 \cdot 1 \cdot 3,3 = 136,3 \text{ год/рік}$$

Реальний час роботи камери в рік :

$$\tau_{розр} = 8040 - (99 + 136) = 7805 \text{ год.}$$

2.7.2. Розрахунок потреби електроенергії на освітлення

Загальні витрати електроенергії на освітлення

$$W_{осв} = F \cdot P_n \cdot K_n \cdot \tau_{роб} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (2.78)$$

де: $W_{осв}$ – річні витрати електроенергії для освітлення приміщення, кВт·год;

F – площа приміщень, м²;

P_n – питома потужність на освітлення, Вт/м² [1];

K_n – коефіцієнт попиту, який враховує неодноразовість роботи всіх світильників, [1];

$\tau_{роб}$ – кількість годин роботи світильників на протязі року, год/рік.

У сушильному цеху кількість робочих днів складає 335, а середня тривалість роботи світильників при трьохзмінній роботі – 10 год. Тоді

Коридор керування

$$\tau_{роб.} = 335 \cdot 8 = 2680 \text{ год.}$$

Зовнішнє освітлення

$$\tau_{роб.} = 365 \cdot 8 = 2920 \text{ год.}$$

Таблиця 2.6 Розрахунок річної потреби силової електроенергії

№ п/п	Назва споживача	Кількість споживачів	Серія і тип електродвигуна	Потужність електродвигуна, кВт	Кількість електродвигунів на всіх споживачів, шт	Встановлена потужність $N_{вст}$, кВт	Коефіцієнт попиту K_n	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	3	Katres							
1	Електродвигуни приводу вентиляторів	5	Sg100L-4	1,5	15	22,5	0,8	18	7805	140490
2	Помпа	1	WILO	0,6	3	1,8	0,8	1,44	7805	11239
3	Автоматика	1		0,7	3	2,1	0,8	1,68	7805	13112
Всього										164841

Таблиця 2.7 Витрата електроенергії на освітлення

№ п/п	Назва споживача	Площа приміщення F, м ²	Мінімальна освітленість P, лк	Питома потужність P _п , Вт/м ²	Встановлена потужність світильників N _{вст} , кВт	Коефіцієнт попиту K _п	Розрахункова потужність N _{розр} , кВт	Тривалість роботи світильників, год./рік	Річна потреба в електроенергії W _{ос} , кВт·год.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Коридор управління	16	40	15	0,12	0,8	0,096	2680	258
2	Зовнішнє освітлення	500	0,3	0,2	0,018	11	0,018	2920	53
Всього									311

2.8. Розрахунок річної потреби води

а) Витрати води на протипожежні потреби визначаються за формулою:

$$V_{\text{пож}} = \frac{52 \cdot (600 \cdot m_3 + 300 \cdot m_6) \cdot 5}{1000} \text{ т/рік} \quad (2.79)$$

де 52 – кількість тижнів в розрахунковому році;

m_3 , m_6 – кількість зовнішніх і внутрішніх гідрантів (1 гідрант на площу 300-500 м²);

5 – тривалість щотижневої перевірки роботи гідранта ,хв.;

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

$$m_3 = 1, m_6 = 1$$

$$V_{\text{пож}} = \frac{52 \cdot (600 \cdot 1 + 300 \cdot 1) \cdot 5}{1000} = 234 \text{ т/рік}$$

б) витрати води на побутові потреби:

$$B = 65 \cdot m \cdot n \cdot \tau_{\text{річ}} \cdot 10^{-3} \quad \text{т/рік} \quad (2.80)$$

де m – кількість людей, які працюють у найбільш завантажену зміну;

n – кількість змін роботи в цеху;

$\tau_{\text{річ}}$ - кількість робочих днів протягом року.

$$m = 5, n = 1, \tau_{\text{річ}} = 235$$

$$B = 65 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 76 \text{ т/рік}$$

в) вода в системі: 2,0 т/рік – на 3 камери.

г) витрата води на сушіння: 150 кг/зм – на 3 камери,

$$\text{в рік } 0,15 \cdot 335 = 50 \text{ т/рік.}$$

Загальна потреба у воді:

$$B_{\text{заг}} = 234 + 76 + 2 + 50 = 362 \text{ т/рік}$$

Згідно із завданням проектом передбачено котельне приміщення яке забезпечується дровами та кусковими відходами.

Дрова на програму 700 м. куб.

2.9 Зведена відомість необхідної кількості обладнання сушильної дільниці

Таблиця 2.9 Зведена відомість обладнання

№ п/п	Назва обладнання	Кількість	Примітка
1.	Сушильна камера Katres KAD 1x4S	3	
2.	Вологомір WHT-660	2	

2.10. Графічна частина проекту

Сушильна дільниця включає три сушильні камери та коридор керування. Завантаження та вивантаження матеріалу здійснюватиметься автотранспортом. Графічна частина включає розроблення креслень сушильної камери та побудову плану сушильної дільниці.

Склад і кількість приміщень сушильного цеху визначається виробничою потужністю, в залежності від типу камер, прийнятої системи завантажувально-розвантажувальних робіт.

2.11 Опис технологічного процесу

2.11.1 Укладання пиломатеріалів в штабелі.

Правила укладання штабеля є регламентовані стандартами, а також можуть мати певні додаткові вимоги замовника, які вказують в договорі чи в специфікації. В штабелях, які будуть разом проходити процес сушіння повинні знаходитися пиломатеріали однієї породи, приблизно однакової вологості та однієї товщини, тому що ці фактори визначають режим та тривалість сушіння. Підштабельна основа повинна бути рівною довжині штабеля.

При камерному сушінні використовують пакетний штабель, який формується із кількох пакетів. Форма поперечного перерізу пакетів та штабелів повинна бути прямокутною, а їх торці повинні бути вирівняними по вертикалі з торців штабеля.

Наявність чи відсутність шпациї слід врахувати при розрахунках. Якщо дошки мають різну ширину, то вузькі укладають в середину, а широкі – по краях пакета чи штабеля. Допустимо укладати в один пакет чи штабель пиломатеріали з різною довжиною.

Горизонтальні ряди пиломатеріалів в пакетах та штабелях повинні бути розділені міжрядовими прокладками, товщина яких залежить від товщини пиломатеріалів і висоти штабелів, чим більші ці параметри тим товстіші прокладки. Їх товщина може бути 22, 25 і 32 мм.. Кількість міжрядових прокладок по довжині пакета чи штабеля залежить від породи і товщини пиломатеріалів. Рекомендована кількість прокладок в горизонтальному ряду при товщині 16-19 мм. для хвойних порід приблизно становить 1 прокладка на кожні 0,5 м. довжини, а для листяних порід 1 прокладка на кожні 0,4 м.. З збільшенням товщини відстань між прокладками в одному ряду можна дещо збільшити. По висоті штабеля прокладки слід укладати одна над одною. Крайні прокладки рекомендується укладати на віддалі не більше 25 мм від торців пиломатеріалів.

2.11.2 Визначення вологості деревини.

Процес сушіння Проведення процесу сушіння пиломатеріалів та заготовок характеризується наступними технологічними і контрольними операціями: визначення початкової вологості деревини; призначення режиму сушіння; завантаження камери та початковий прогрів деревини; управління сушильною камерою; контроль за режимом сушіння та станом матеріалу;

вологотеплообробка деревини та кондиціонуюча обробка деревини.

Визначення вологості зазвичай проводиться за допомогою різних електронних контактних чи безконтактних вологомірів. Похибка при цьому зазвичай дещо більша аніж при визначенні ваговим методом, проте сам процес визначення вологості менш трудомісткий, потребує набагато менше часу і не потребує руйнування зразків (пиломатеріалів).

Режимом сушіння називається точне призначення параметрів сушильного агента, скоординоване за часом або станом деревини. Стандартні режими скоординовані по вологості деревини. При сушінні пиломатеріалів застосовують режими із збільшенням по ходу процесу жорсткості.

Режим сушіння вибирають залежно від породи і товщини матеріалу, також від вимог, які ставляться до якості висушеного матеріалу. Система управління процесами повністю автоматизована. Перед тим, як почати сушіння деревини в камері, її потрібно вичистити. Обов'язково потрібно прогріти камеру за допомогою сухого повітря, тоді не виникне конденсат в середині сушильної камери. Операції, з яких складається процес сушіння пиломатеріалу потрібно обов'язково проходити послідовно, щоб процес сушіння деревини пройшов правильно:

Початковий нагрів деревини, проводиться тоді, коли вона вже завантажена. Швидкість нагрівання не повинна перевищувати 10 оС за годину для пиломатеріалів товщиною менше 40 мм і 5 о С за годину для пиломатеріалів, товщиною більше-рівне 40 мм. Її нагрівають до певної температури визначеної режимом сушіння і влаштовують середовище підвищеної вологості. Процес відбувається при працюючих вентиляторах, а також калориферах. При цьому обов'язково потрібно закрити припливно-витяжні канали.

Прогрівання пиломатеріалів зазвичай відбувається декілька годин, залежно від температури навколишнього середовища і товщини матеріалу.

Завершення сушіння. Цей етап включає в себе вирівнювання кінцевої вологості деревини так, щоб недосушена деревина висохла, а та, яка трохи пересушилася - зволожилася. Насиченість повітря буде дорівнювати середній заданій кінцевій вологості + 1%. Тривалість охолодження до 30-40 °С - 2 години на 1 см. деревини. Якщо охолоджується товстий пиломатеріал, то потрібно пустити в сушильну камеру маленький, але постійний приплив пари, щоб верхній шар пиломатеріалу не пересох. Для пиломатеріалів I категорії якості кондиціонуюча обробка обов'язкова, її тривалість орієнтовно в два рази менше від тривалості кінцевої тепловологообробки.

Остаточний пиломатеріал стабілізується на складі в сушильних штабелях.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Оцінка виробничих умов та екологічного впливу діяльності підприємства

Умови праці на приватному підприємстві ТОВ “Меблевий Комбінат Стрий” відповідають задовільному рівню. Виробничі приміщення мають належне освітлення, облаштовані роздягальні, зони для відпочинку працівників, а також санітарно-гігієнічні кімнати. У зимовий період забезпечується опалення цеху. Працівники обов'язково проходять інструктажі з охорони праці та ознайомлені з правилами техніки безпеки на своєму робочому місці. Підприємство дотримується чинної нормативної бази у сфері охорони праці, гарантуючи безпеку під час виконання професійних обов'язків.

Сушильна дільниця з точки зору безпеки є складним виробничим елементом, що включає низку технологічно різнорідних приміщень і зон з відповідним оснащенням. У цій дільниці реалізуються енерго- та трудомісткі процеси, серед яких: укладання штабелів пиломатеріалів, переміщення вантажів, завантаження та розвантаження сушильних камер, транспортування висушених матеріалів.

Виробничі процеси відповідають гігієнічним показникам, зокрема, нормам площі на одного працівника та розмірам проходів, необхідних для обслуговування обладнання та безпечного пересування.

Двері й ворота сушарок оснащені пристроями, які дозволяють відкривання з обох боків. Вентилятори, встановлені у стельовому просторі, знаходяться у металевій рамі. Виробник сушильного обладнання гарантує безпеку при відповідному обслуговуванні.

Будівлі і споруди на території підприємства відповідають вимогам норм проектування та правилам пожежної безпеки.

Проектована сушильна дільниця має незначний рівень впливу на навколишнє середовище. В основному потенційну небезпеку може становити акустичне і вібраційне забруднення, як наслідок роботи вентиляційних установок; підвищене запилення і викиди вуглекислого газу та зольних залишків

при згорянні палива, оскільки сушильні камери працюють на деревних відходах.

3.1.2. Аналіз чинників виробничого процесу та умов праці в зоні сушіння деревини

У процесі експлуатації технологічного, транспортного й допоміжного обладнання виникає низка виробничих ризиків, що становлять загрозу для фізичного стану працівників. До небезпечних і шкідливих факторів належать:

- переміщення лісоматеріалів, пиломатеріалів, заготівок, які піднімають, транспортують, завантажують і розвантажують;
- наявність гострих кутів, нерівних поверхонь і крайок, контакт із якими може призвести до травмування;
- обмеженість простору, захаращення проходів і робочих зон, що ускладнює виконання технологічних операцій та підвищує ймовірність нещасних випадків.

Аналіз структури виробничого процесу вказує на необхідність створення безпечного та ергономічного середовища для персоналу, задіяного в сушильному цеху. Задля уникнення виробничого травматизму працівники зобов'язані проходити інструктажі з техніки безпеки, а також забезпечуються засобами індивідуального захисту: спецодягом, взуттям.

На якість умов праці суттєво впливає виробниче середовище, включаючи параметри мікроклімату, рівень освітлення, концентрацію шкідливих речовин, ступінь шумового навантаження та наявність опалення. Окрему загрозу становить підвищений шум, спричинений роботою двигунів обладнання. Тому середовище праці має повністю відповідати встановленим санітарно-гігієнічним вимогам.

Для ефективного повітрообміну та зниження рівня забруднення повітря в коридорі керування передбачено встановлення витяжної вентиляції.

3.1.3. Екологічні характеристики виробництва

На території проєктованого цеху розташована котельня, яка забезпечує опалення для побутових приміщень, сушильних камер і деревообробних цехів

підприємства. Її функціонування здійснюється на основі використання відходів деревини — дров, обрізків тощо. У результаті роботи котельні в атмосферу викидаються шкідливі компоненти, серед яких оксид вуглецю, сірчистий ангідрид, сажа та зольні частки.

Основними джерелами забруднення довкілля, включно з атмосферним повітрям і виробничими стоками, виступають:

- шумові та вібраційні впливи, спричинені роботою вентиляторів у сушильних камерах;
- викиди вуглекислого газу при спалюванні деревного палива;
- пилове навантаження на повітряне середовище.

3.2. План заходів з безпеки на сушильній ділянці та обґрунтування вибору технологічного процесу

3.2.1. Загальна характеристика робочого місця оператора

Робоча зона оператора представлена у вигляді вузького службового приміщення — коридору управління, площею 10 м² і висотою 2,5 м, що має вхідні двері. Дана споруда зводиться впритул до сушильних камер і освітлюється штучним способом.

Відповідно до вимог, мікроклімат у приміщенні керування має підтримуватись на рівні температури повітря від 18 до 22°C, вологості 60-80% і швидкості руху повітря в межах 0,2-0,3 м/с. З метою вентиляції приміщення передбачено встановлення віконного вентилятора, що забезпечить надходження свіжого повітря.

Конструкція приміщення складається з металевого каркасу, обшитого алюмінієвими панелями, внутрішній простір заповнений теплоізоляційним матеріалом — скловатою. Вогнестійкість споруди відноситься до категорії "В".

У середині приміщення знаходиться система керування сушильними камерами, підключена до кабелю електротехнічного, комп'ютерна техніка та інші пристрої. Усі електроустановки змонтовані відповідно до вимог та

відповідають правилам експлуатації електроустановок.

3.2.2. Основні правила безпеки під час сушіння деревини

Для забезпечення безпеки працівників під час технологічного процесу сушіння деревини встановлюється ряд обов'язкових вимог, які необхідно дотримуватися в усіх виробничих зонах сушильного цеху:

- Формування штабелів пиломатеріалів повинно здійснюватися виключно на спеціально облаштованих майданчиках, обладнаних захисними навісами. Забороняється укладання штабелів на транспортних проходах та в зонах переміщення техніки. Висота вручну сформованих пакетів не має перевищувати 1,5 метра.
- Під час транспортування або складування сушильних пакетів один на одного працівники зобов'язані знаходитися на безпечній відстані не менше 7 метрів від транспортного засобу, що виконує підйом чи переміщення вантажу.
- Усі операції із завантаження, вивантаження, пересування й зупинки штабелів у межах сушарок повинні бути механізовані, що мінімізує ризик травмування працівників.
- Гарячі трубопроводи та обігрівальні елементи, розміщені у виробничих приміщеннях, де постійно перебуває персонал, мають бути ізольовані за допомогою термозахисних матеріалів.
- Перебування людей усередині сушильних камер у процесі завантаження або сушіння заборонено. Допускається вхід лише після повного припинення роботи вентиляторів і зниження температури до безпечного рівня — не вище 35°C.
- Окрім автоматизованої системи регулювання вентиляції та температурного режиму, повинне бути передбачене локальне керування вентиляторів, що забезпечує оперативне втручання в разі потреби. Для

зменшення шуму та вібрації вентиляторні установки мають бути змонтовані на віброізолюючих опорах.

- Внутрішнє освітлення сушильних камер має здійснюватися приладдям із напругою не вище 42 В. Усі вимикачі освітлення повинні бути розміщені поза межами камери.
- Вантажопідіймальні та транспортні засоби, зокрема автонавантажувачі, повинні мати технічно справні гальмівні системи, здатні зупиняти транспортний засіб зі швидкості 10 км/год на відстані не більше 1,5 м при коефіцієнті зчеплення 0,5. Обов'язковим є оснащення сигналізацією, освітлювальними приладами, проблисковими маячками. Техніка повинна відповідати категорії пожежної небезпеки виробничого середовища та класу вибухонебезпеки.
- Машини з двигунами внутрішнього згоряння повинні бути укомплектовані глушниками та іскрогасниками. Їх експлуатація у приміщеннях без загальнообмінної вентиляції не дозволяється.
- Робоче місце оператора повинно бути обладнане кондиціонером, що підтримує допустимий мікроклімат, передбачений санітарними нормами.
- До управління внутрішньоцеховим транспортом допускаються виключно повнолітні працівники (віком понад 18 років), які пройшли навчання та мають відповідне посвідчення на право керування.
- Під час роботи з автонавантажувачами вантаж повинен бути рівномірно розміщений на обидві вилки та щільно притиснутий до вертикальної частини. Забороняється піднімати замерзлі або заклинені вантажі, піднімати матеріали без зазорів під ними, а також передавати вантажі краном безпосередньо на навантажувач.

- Довгомірні об'єкти дозволено перевозити лише на відкритих майданчиках з рівним покриттям. Метод захвату має запобігати розвалюванню або падінню матеріалу.

3.2.3. Обґрунтування вибору технологічного процесу з позиції охорони праці

Усі технологічні операції деревообробного виробництва повинні бути організовані відповідно до затверджених державних стандартів і нормативно-правових актів у сфері охорони праці. Виконання виробничих завдань повинно здійснюватися на сертифікованому технологічному обладнанні, що відповідає паспортизованим технічним характеристикам і призначенню. Усі операції регламентуються інструкціями, технологічними картами або стандартами експлуатації, які передбачають комплекс заходів, спрямованих на запобігання впливу на працівників шкідливих або небезпечних факторів.

Процеси переміщення, навантаження і транспортування повинні здійснюватися з дотриманням вимог внутрішньої інструкції підприємства, розробленої роботодавцем відповідно до чинного законодавства та технічних стандартів безпеки.

Технологічна схема проєктованого сушильного цеху передбачає повне дотримання санітарних норм виробничого мікроклімату, освітлення та фізичного навантаження оператора сушильної установки. Завдяки такому підходу до організації виробничого процесу забезпечується високий рівень безпеки працівників, мінімізується вплив несприятливих чинників та створюються умови для ефективної і безпечної праці персоналу у сушильному цеху підприємства.

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

Формування безпечного виробничого середовища потребує впровадження комплексної системи заходів, які включають організаційні, технічні, економічні, соціальні, естетичні та управлінські дії. Для досягнення сталого рівня охорони

праці та підвищення комфорту працівників слід реалізовувати такі кроки:

- Організувати систематичне навчання персоналу, проводити вступні, первинні, повторні, позапланові та цільові інструктажі з питань охорони праці.
- Розробити й затвердити посадові інструкції та функціональні обов'язки для керівників і фахівців, відповідальних за безпеку праці.
- Упровадити стандартизовану документацію з планування та регламентування заходів з охорони праці на всіх рівнях виробничої діяльності.
- Впроваджувати обладнання з кращими показниками енергоефективності, ергономічності та технологічної безпеки; забезпечувати регулярну модернізацію та оновлення застарілої техніки.
- Рационалізувати організацію робочих місць, застосовувати організаційно-технологічні та безпекові карти для кожного виробничого процесу.
- Здійснювати оцінку відповідності робочих зон та машин естетичним і технічним стандартам, упорядковувати та оформлювати виробничий простір згідно з рекомендаціями з виробничої естетики.
- Забезпечити постійне технічне обслуговування й своєчасний ремонт машин, устаткування, інструментів, перевірку освітлення та сигналізаційних систем.
- Використовувати візуальні засоби інформування, плакати, інструкції та інформаційні стенди на видимих ділянках цеху для підвищення обізнаності персоналу.
- Приділяти увагу поліпшенню санітарного стану, чистоти, організації доступу до евакуаційних виходів, справності протипожежного інвентарю.
- Активно реалізовувати заходи щодо зменшення негативного впливу виробництва на навколишнє середовище, удосконалюючи системи очищення повітря, води, утилізації відходів та використання екологічно чистих ресурсів.

Ці заходи спрямовані не лише на дотримання законодавчих норм, а й на створення культури безпеки, в основі якої лежить повага до працівника, довкілля та результатів праці.

3.3. Охорона навколишнього природного середовища

Система природоохоронних заходів, що реалізується підприємством, спрямована на поліпшення стану довкілля та створення сприятливих умов для сталого функціонування виробничої діяльності. До основних завдань природоохоронної діяльності належать:

- скорочення обсягів використання природних ресурсів при виготовленні одиниці продукції, підвищення ефективності виробництва;
- зниження рівня забруднення навколишнього середовища за рахунок оптимізації процесів викидів, скидів, поводження з відходами та обмеження фізичних факторів впливу (наприклад, шуму чи вібрації);
- зменшення концентрації токсичних і шкідливих речовин у стічних водах, відходах виробництва та атмосферних викидах.

Важливою складовою природоохоронної політики є раціональне використання водних ресурсів. Зокрема, підприємство орієнтується на забезпечення екологічно безпечного стану малих річок, будівництво магістральних колекторів для збору господарсько-побутових і промислових стоків, організацію систем очищення — як централізованих, так і локальних.

Крім того, впроваджується технологія оборотного і безстічного водокористування, а також системи збору та переробки стічних вод. Це дає змогу значно зменшити навантаження на природні водні об'єкти та підвищити ефективність водокористування в межах виробничого циклу.

Ефективність природоохоронних заходів оцінюється за сукупністю економічних та еколого-економічних показників. Такий підхід дає змогу не лише забезпечити відповідність законодавству, а й підвищити ресурсну ефективність, конкурентоспроможність та соціальну відповідальність підприємства.

4.ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для розрахунків використовуємо дані, які одержали в попередніх розділах проекту. Вихідними даними для розробки економічної частини є матеріали підприємства, які зібрані під час проходження переддипломної практики.

Таблиця 4.1

Основні показники встановлені в попередніх розділах проекту та за даними підприємства

№п/п	Назва показників	Одиниці вимірювання	За проектом
1	Система сушильних камер	Марка	Katres KAD 1x4S
2	Кількість сушильних камер	штук	3
3	Площа сушильного цеху	м ²	500
4	Річна програма сушіння	-	
	А) в натуральному матеріалі	м ³	2200
	Б) в умовному матеріалі	м ³	8298
5	Число днів роботи камер в рік	дні	335
6	Транспортні засоби		
7	Загальна потреба дров	м ³	700
8	Загальна потреба електроенергії	кВт-год	165152
	- на сушіння	кВт-год	164841
	- на освітлення	кВт-год	311
9	Витрата води – разом	т/рік	362
	- на технологічні цілі	т/рік	52
	- на господарські та протипожежні потреби	т/рік	310

Таблиця 4.1а

Основні показники встановлені в попередніх розділах проекту та за даними підприємства

№ п/п	Вид п/м та їх розміри	Порода	Річна програма сушіння, м ³	
			Натурального	Умовного
1	2	3	4	5
1	19х140х4000	сосна	400	393
2	30х120х2000	дуб	850	2972
3	50х50х1000	дуб	500	2380
4	30х280х4000	бук, н/о	450	2553
	Разом		2200	8298

Розрахунок вартості нового обладнання

Назва обладнання	Марка	к-сть	Вартість, тис.грн	
			одиниці	всього
1	2	3	4	5
1. Технологічне і енергетичне обладнання сушильних камер	Katres KAD 1x4S	3	2340,0	7020,0
Вологомір	WHT-660	2	4,0	8,0
Разом	—	—	—	7028
2. Інші основні засоби (10%)	—	—	—	702,8
Всього	—	—	—	7730,8
3. Транспортно-монтажні витрати (15%)	—	—	—	1159,62
Загальна сума витрат	—	—	—	8890,42

Таблиця 4.3.

Розрахунок вартості об'єктів (без обладнання і транспортних засобів)

№	Назва об'єктів	Одиниці виміру	Кількість	Вартість	
				Одиниці, грн	Разом, тис.грн
1	Фундамент з усіма комунікаціями	м ²	150	2000	300
	Разом	-	150	-	300

Таблиця 4.4

Розрахунок вартості електроенергії, води і дров

№	Направлення використання	Одиниці виміру	Споживання на рік	Ціна, тариф за одиницю, грн	Сума, тис.грн
1	2	3	4	5	6
1	Електроенергія	кВт-год			
	<input type="checkbox"/> на технологічні цілі	кВт-год	164841	12	1978,09
	<input type="checkbox"/> на освітлення	кВт-год	311	12	3,732
	Разом	кВт-год	165152	—	1981,82
2	Дрова	м ³	—	—	
	<input type="checkbox"/> на технологічні цілі	м ³	700	1150	805
3	Вода	т	—	—	
	<input type="checkbox"/> на технологічні цілі	т	52	37,45	1,95
	<input type="checkbox"/> на побутові і протипожежні потреби	т	310	37,45	11,61
	Разом		362	—	13,56
	Всього				2800,38

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, мЗ	Обсяг робіт, мЗ	Число змін роботи	Відробити		Фонд часу 1 робітника на рік,	Спис-кове число робітників	Основна заробітна плата, тис.грн.
										люд-днів	люд-год			
1	Укладання штабелів													
	А) п/м сосна	Норм	Відр	III	63,2	-	12	400	1	33,3	266,4	17 76	0,15	16,84
	Б) п/м дуб	Норм	Відр	III	63,2	-	10	1350	1	135	1080	17 76	0,60	67,36
	В) п/м бук н/о	Норм	Відр	III	63,2	-	14	450	1	32,14	257,12	17 76	0,14	15,71
	Розбирання штабелів із сортуванням	Норм	Відр	III	63,2	-	18	2200	1	122,2	977,6	17 76	0,55	61,73

Кошторис собівартості сушіння умовного лісоматеріалу

№ з/п	Показники	На 1 м ³ , гривень	На програму, тис.грн
	Просушити матеріалу (м ³):		
	Натурального		2200
	Умовного		8298
	Статті витрат		
1	Електроенергія, пара, вода	337,48	2800,38
2	Витрати на оплату праці робітників	147,45	1223,56
3	Витрати на оплату праці службовців	36,86	305,89
4	Витрати на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%)	40,53	336,48
5	Амортизація основних засобів	226,19	1876,93
6	Витрати на ремонти основних засобів	16,81	139,52
7	Витрати на охорону праці, техніку безпеки та охорону довкілля	9,07	75,25
8	Виробнича собівартість сушіння	814,39	6758,01
9	Плановий прибуток (25%)	203,60	1689,50
10	Відпускна ціна без ПДВ	1017,99	8447,51

Розрахунок амортизаційних відрахувань:

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

$A_{\text{проект}} = (300 \cdot 0,0776) + (8890,42 \cdot 0,2085) = 1\,876,93$ тис. грн.

Таблиця 4.7

Собівартості сушіння натурального лісоматеріалу

№	Вид лісоматеріалу	Річна програма сушіння, м ³		Собівартість сушіння 1 м ³ натурального лісоматеріалу, грн
		В натуральному матеріалі	В умовному матеріалі	
1	2	3	4	5
сосна	19x140x4000	400	393	644,04
дуб	30x120x2000	1350	5352	3228,60
бук, н/о	30x280x4000	450	2553	3718,93
Разом		2200	8298	-
Середня собівартість сушіння 1 м ³ лісоматеріалу				3071,73

Техніко-економічні показники

№ з/п	Показники	Одиниці вимірювання	За проектом
1	Система сушильних камер	—	Katres
2	Кількість сушильних камер	шт	3
3	Річна програма сушіння:		
	1) в умовному матеріалі	м ³	8298
	2) в натуральному матеріалі	м ³	2200
4	Відпускна ціна річного обсягу сушіння	тис. грн.	8447,51
5	Спискова чисельність ПВП	осіб	7
6	Фонд оплати праці, разом	тис. грн.	1529,45
	в т. ч. робітників		1223,56
7	Середньомісячна заробітна плата одного працівника ПВП	гривень	21242,36
8	Річна сума витрат на сушіння	тис. грн.	6758,01
9	Собівартість сушіння 1 м ³ умовного лісоматеріалу	грн.	814,39
10	Середня собівартість сушіння 1 м ³ натурального лісоматеріалу	грн	3071,73
11	Прибуток до оподаткування	тис. грн.	1689,50

ВИСНОВОК

Згідно із завданням щодо проектування сушильної ділянки для ТОВ “Меблевий Комбінат Стрий” виконано комплекс інженерно-технологічних розрахунків необхідних та достатніх для виконання поставлених завдань. На програму виробництва необхідно три сушильні установки, які здатні забезпечити виробництво сухими якісними пиломатеріалами. Також обґрунтовано вибір основного та допоміжного транспортного обладнання для потреб ділянки.

В роботі розроблено проект заходів з охорони праці та безпечної експлуатації обладнання. Аналіз виробничих процесів підприємства дозволив сформулювати шляхи та напрямки діяльності виробництва щодо зменшення шкідливого впливу на довкілля.

Економічний розділ роботи дозволив розрахувати наступні показники:

- річний обсяг сушіння складе 8298 м³ умовного лісоматеріалу, 2200 м³ натурального лісоматеріалу;
- при цьому плановий прибуток складе 1689,50 тис. гривень;
- собівартість сушіння 1 м³ натурального лісоматеріалу становить 3071,73 гривень;
- собівартість сушіння 1 м³ умовного лісоматеріалу становить 814,39 гривень;
- виробнича собівартість сушіння річного обсягу – 6758,01 тис. гривень.

Підсумовуючи виконані техніко-економічні розрахунки можна зробити висновок про економічну ефективність та доцільність даних рішень проекту.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Губер Ю.М., Копинець З.П. Методичні вказівки для виконання курсового проекту “Технологія сушіння і захисту деревини” Львів – 2005.
2. Гербей В.М., Озарків І.М. та інші. Основи проектування сушильних цехів в деревообробній промисловості. –Львів, УкрДЛТУ, 1996. -192с.
3. В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, В.М. Сторожук, Л.В. Тубяб, Х.І.Лико “Практикум із охорони праці” Львів “Афіша” 2000. –345с.
4. І. М. Озарків, Л. Я. Сорока, Ю. І. Грицюк Основи аеродинаміки і тепло масообміну, Київ 1997 .
5. Колінько І.І., Методичні вказівки для курсової роботи з дисципліни “Теорія ефективності виробництва та науково-технічного прогресу” для спеціальності 09002. Львів. 2001.-47с.
6. Колінько І.І., Методичні вказівки по розробці економічної частини дипломних проектів по лісосушильних цехах. - Львів: НЛТУУ, 2004. - 36с.
7. Мартинців М.П., Удовицький О.М. Методичні вказівки і завдання до виконання розрахунково-графічної і контрольної роботи №1,2 з дисципліни “Основи будівельної справи” студентами напрямку 0920-лісозаготівля та деревообробка, спеціальності 7.092002 ”Технологія деревообробки ”Львів-2003.