

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Технології сушіння та захисту деревини і деревинних матеріалів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи для здобувачів першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності
187 “Деревообробні та меблеві технології”

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
технологій машинобудування
та деревообробки
протокол № 2 від 23.01. 2023 р.

Чернігів 2023

Технології сушіння та захисту деревини і деревинних матеріалів. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 187 Деревообробні та меблеві технології / Укл.: Ігнатенко П.Л., Ігнатенко О.А — Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. — 65 с.

Укладачі: Ігнатенко Павло Леонідович, кандидат технічних наук, доцент
Ігнатенко Олена Анатоліївна, асистент

Відповідальний за випуск: Єрошенко А.М., завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Бойко Сергій Васильович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки Чернігівського національного технологічного університету

..ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Розділ 1. Технологічний розрахунок.....	6
1.1 Вибір конвективної сушильної камери.....	6
1.2. Вибір режиму сушіння.....	8
1.3. Визначення тривалості сушіння.....	9
1.4. Визначення тривалості камерообігу.....	10
1.5. Визначення об'єму пиломатеріалів, які завантажуються в сушильну камеру.....	13
1.6. Визначення продуктивності сушильної камери в умовному і фактичному матеріалі.....	14
1.7. Перерахунок кількості фактичного матеріалу в умовний.....	15
1.8. Визначення кількості сушильних камер.....	17
Розділ 2. Тепловий розрахунок.....	18
2.1. Вибір розрахункового матеріалу.....	18
2.2. Визначення маси вологи, яка випаровується з деревини в процесі сушіння.....	18
2.3. Визначення параметрів сушильного агента при вході у штабель.....	19
2.4. Визначення об'єму і маси циркулюючого повітря в сушильній камері.....	20
2.5. Визначення параметрів сушильного агента при виході з штабеля.....	21
2.6. Визначення об'єму свіжого і відпрацьованого сушильного агента.....	21
та розрахунок припливно-витяжних каналів.....	22
2.7. Визначення витрат теплової енергії на сушіння пиломатеріалів.....	23
2.8. Визначення річної потреби теплової енергії сушильного цеху.....	28

2.9. Розрахунок теплового обладнання сушильної камери.....	29
2.10. Розрахунок циркуляційної помпи і діаметрів трубопроводів теплової системи сушильної камери.....	32
Розділ 3. Аеродинамічний розрахунок.....	35
3.1 Розрахунок опору ділянок кільця циркуляції сушильного агента.....	35
3.2. Вибір вентилятора і розрахунок потужності електродвигуна.....	39
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	40
ДОДАТКИ.....	42

Вступ

Ступінь розвитку економіки, та, відповідно, рівень життя населення будь - якої країни безпосередньо пов'язані з кількістю енергії, що споживається. Якщо в недалекому минулому головним фактором розвитку економіки було збільшення споживання матеріальних і енергетичних ресурсів, то найактуальнішим питанням сьогодення є підвищення ефективності їх використання. Тому, на сучасному етапі розвитку народного господарства, економія паливно-енергетичних, матеріальних, трудових та інших ресурсів є найважливішим завданням вітчизняних підприємств. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці сучасних технологій та проведенні організаційно-технічних й економічних заходів з енергозбереження. Це в повній мірі стосується і деревооброблювальної галузі в якій до найбільш енергоємного процесу відноситься сушіння деревини.

В методичних вказівках запропонований вдосконалений метод розрахунку тривалості сушіння, який з однієї сторони дозволяє максимально врахувати різноманіття сучасних режимів, а з другої – суттєво зменшити відхилення між теоретичними і фактичними результатами тривалості сушіння. Враховуючи сучасний стан виробництва теплової енергії на деревообробних підприємствах тепловий розрахунок сушильної камери виконується з використанням в якості теплоносія гарячої або перегрітої води. Приведена методика розрахунку циркуляційних pomp та кількості відходів для задоволення теплової потреби сушильного цеху. Вдосконалена методика аеродинамічного розрахунку сушильної камери, процедура підбору та розрахунку кількості вентиляторів.

Методичні вказівки можуть бути корисними інженерно-технічним працівникам деревообробних підприємств та студентам при проектуванні сушильних камер для деревини.

РОЗДІЛ 1. Технологічний розрахунок

Мета технологічного розрахунку – визначення кількості заданого типу сушильних камер періодичної дії для виконання виробничої програми.

1.1. Вибір конвективної сушильної камери

До основних виробників конвективних сушильних камер для деревини, які використовуються на деревообробних підприємствах України, відносяться:

- **A-M-S-elektronik;**
- **ГОРЛУШ КО;**
- **Eisenmann;**
- **Ekopol;**
- **Hamech;**
- **Hildebrand;**
- **Giper;**
- **Katres;**
- **Le.Ko;**
- **Luka;**
- **Incomac;**
- **Nardy;**
- **Panto;**
- **Vanicek.**

Вибір виробника сушильної камери здійснюють враховуючи наступні фактори: співвідношення ціна-якість, наявність обслуговуючих представництв в Україні, результати експлуатації сушильної камери на інших підприємствах, умови постачання та монтажу обладнання на підприємстві, можливість корегування режимних параметрів в системах автоматичного контролю та управління камерою та інші. На вибір типу конвективної сушильної камери впливають наступні чинники: об'єм пилопродукції, який завантажується в камеру, спосіб завантаження – автонавантажувачем чи рейковий на візках, довжина висушуваних пиломатеріалів. Результати вибору виробника і типу сушильної камери заносять в таблицю 1.1.

Технічна характеристика конвективної сушильної камери _____

№ п/п	Назва показників	Одиниці виміру	Значення
1.	Габаритні розміри сушильної камери: - ширина - глибина (довжина) - висота	м м м	
2.	Внутрішні розміри сушильної камери: - ширина - глибина (довжина) - висота	м м м	
3.	Розміри штабеля: - ширина - довжина - висота	м м м	
4.	Об'єм завантажуваного матеріалу	м ³	
5.	Осьові вентилятори: - діаметр вентилятора - кількість - потужність електродвигуна	мм шт. кВт	
6.	Встановлена теплова потужність	кВт	
7.	Встановлена електрична потужність	кВт	
8.	Система автоматичного контролю і управління	-	

1.2. Вибір режиму сушіння

Режимом сушіння називають зміну параметрів сушильного агента (t, φ) або (t, W_p) залежно від породи і розмірів пилопродукції та зміни біжучої вологості деревини в процесі сушіння. Побудовані за таким принципом режими сушіння поділяються на ступеневі і безступеневі. Ступеневі режими сушіння: 2-х і 3-х ступеневі (П.С. Серговський [14]), 6-ти ступеневі (П.В. Соколов [15]), 8-ми ступеневі (І.В. Кречетов [9]), багатоступеневі (П.В. Білей [3;4], зарубіжні фірми Hildebrand, Vanicek, Valmet [10]). Безступеневі режими сушіння – зміна температури і відносної вологості сушильного агента (t, φ) або температури і рівноважної вологості (t, W_p) здійснюється з певною закономірністю в залежності від зміни біжучої вологості висушуваної деревини. Власне до режимних параметрів відносяться значення температури, відносної вологості (рівноважної вологості) на початку і в кінці процесу сушіння.

Вибір режиму сушіння виконують для кожної породи і товщини висушуваної пилопродукції згідно заданої специфікації і результати заносять в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2.

Режими сушіння пиломатеріалів і заготовок згідно заданої специфікації

№ п / п	Порода	Розміри матеріалу, мм			Початкова вологість, W_p , %	Кінцева вологість, W_k , %	Режимні параметри на початку сушіння			Режимні параметри при закінченні сушіння		
		S ₁	S ₂	L			t _{п.} , °C	Цп., %	W _{р.п.} , %	t _{к.} , °C	Цк., %	W _{р.к.} , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

1.3. Визначення тривалості сушіння

Тривалість сушіння пилопродукції визначають за виразом:

$$\tau_{с.} = \tau_{вих.} \cdot A_{n.} \cdot A_{t_1} \cdot A_{t_2} \cdot A_{к.с.} \cdot A_{v.} \cdot A_{в.п.} \cdot A_{к.в.}, \text{ год} \quad (1.1)$$

де: $\tau_{вих.}$ - вихідна тривалість сушіння хвойних пиломатеріалів заданої товщини від початкової вологості до кінцевої вологості 8% при початковій температурі сушильного агента 70°C і кінцевій температурі 80°C [19].
Визначається в залежності від товщини і початкової вологості висушуваного матеріалу, (додаток 1).

$A_{n.}$ - коефіцієнт, що враховує породу пиломатеріалів, (додаток 2).

A_{t_1} - коефіцієнт, що враховує відхилення початкової температури вибраного режиму сушіння від початкової температури, що становить 70°C, додаток 3.

A_{t_2} - коефіцієнт, що враховує відхилення кінцевої температури вибраного режиму сушіння від кінцевої температури визначення вихідної тривалості, що становить 80°C, додаток 3.

$A_{к.с.}$ - коефіцієнт, що враховує категорію режиму процесу сушіння, додаток 4.

$A_{v.}$ - коефіцієнт, що враховує швидкість циркуляції сушильного агента через штабель висушуваного матеріалу, додаток 5.

$A_{в.п.}$ - коефіцієнт, що враховує вид пилопродукції (обрізна чи не обрізна дошка, заготовка), додаток 6.

$A_{к.в.}$ - коефіцієнт, що враховує значення кінцевої вологості висушуваної пилопродукції, додаток 7.

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

Результати розрахунків тривалості сушіння фактичного та умовного матеріалів зводяться у таблицю 1.3.

По- рода	Розміри матеріалу, мм			$\tau_{\text{вих.}}$, год.	Коефіцієнти							$\tau_{\text{с.}}$, год.
	S_1	S_2	L		$A_{\text{п.}}$	A_{t1}	A_{t2}	$A_{\text{к.с.}}$	A_{v}	$A_{\text{в.п.}}$	$A_{\text{к.в.}}$	
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14

1.4. Визначення тривалості камерообігу

Тривалість камерообігу визначають за виразом:

$$\tau_{\text{об.}} = \tau_{\text{нагр.}} + \tau_{\text{п.в.}} + \tau_{\text{с.}} + \tau_{\text{конд.}} + \tau_{\text{ох.}} + \tau_{\text{зав.}}, \text{ год}(\text{дiб}) \quad (1.2)$$

де: $\tau_{\text{нагр.}}$ - тривалість нагрівання висушуваного матеріалу до температури початку процесу сушіння, год. При проведенні нагрівання відносна вологість сушильного агента підтримується на рівні (81-83)% або рівноважна вологість (16...16,5)%. Тривалість нагрівання визначається за виразом:

$$\tau_{\text{нагр.}} = \frac{(t_n - t_{\text{о.с.}})}{V_{\text{нагр.}}}, \text{ год} \quad (1.3)$$

де: t_n - температура °С, першої ступені для ступеневих режимів або температура початку сушіння для безступеневих режимів.

Визначається з вибраних режимів сушіння.

$t_{\text{о.с.}}$ – температура оточуючого середовища °С, приймається рівною середньорічній температурі місця будівництва сушильної камери (додаток 15).

- $V_{нагр.}$ - швидкість зростання температури сушильного агента в камері при нагріванні, °C/год. Приймається: для хвойних і м'яких листяних порід – (4...8)°C/год; для твердих листяних порід – (3...6)°C/год.
- $\tau_{п.в.}$ - тривалість початкової тепловологообробки,

$$\tau_{п.в.} = S_1 \cdot \tau_1, год \quad (1.4)$$

де: S_1 - товщина пилопродукції, см;

τ_1 - тривалість початкової тепловологообробки, приймається:

- для хвойних порід – 1,5 год/см;
- для м'яких листяних порід – 2,0 год/см;
- для твердих листяних порід – 2,5 год/см.

При використанні сучасних безступеневих режимів сушіння і правильному проведенні нагрівання пилопродукції, початкова тепловологообробка в більшості випадків не проводиться.

$\tau_c.$ - тривалість сушіння, таблиця 1.3.

$\tau_{конд.}$ - тривалість кондиціювання,

$$\tau_{конд.} = S_1 \cdot \tau_2, год \quad (1.5)$$

де: S_1 - товщина пилопродукції, см;

τ_2 - тривалість кондиціювання, приймається:

- для хвойних порід – 2,0 год/см;
- для м'яких листяних порід – 2,5 год/см;
- для твердих листяних порід – 3,0 год/см.

$\tau_{ох.}$ - тривалість охолодження висушеного матеріалу до температури на 25°C вище температури оточуючого середовища. При проведенні охолодження відносна вологість сушильного агента не контролюється. Тривалість охолодження визначається за виразом:

$$\tau_{ох.} = \frac{t_{к.} - (t_{о.с.} + 25)}{V_{ох.}}, год \quad (1.6)$$

де: $t_{к.}$ - температура °С кінцевої ступені для ступеневих режимів або температура закінчення сушіння для безступеневих режимів. Визначається з вибраних режимів сушіння.

$t_{о.с.}$ - температура оточуючого середовища °С, приймається рівною середньорічній температурі місця будівництва сушильної камери (додаток 15).

$V_{ох.}$ - швидкість зниження температури сушильного агента в камері при охолодженні °С/год. Приймається: для хвойних і м'яких листяних порід – (5...8)° С/год; для твердих листяних порід -(4...6)° С/год.

$\tau_{зав.}$ - тривалість завантаження та розвантаження сушильної камери. Для сушильних камер періодичної дії залежить від наступних факторів: об'єму сушильної камери, розмірів сушильних штабелів (пакетів), виду транспортних засобів. Приймається в межах від 2,0 до 6,0 годин.

Результати розрахунків тривалості камерообігу зводяться в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4.

Визначення тривалості камерообігу.

По- рода	Розміри матеріалу, мм			Складові камерообігу						$\tau_{об.}$, год.	$\tau_{об.}$, діб
	S_1	S_2	L	$\tau_{нагр.}$, год.	$\tau_{п.в.}$, год.	$\tau_{с.}$, год.	$\tau_{конд.}$, год.	$\tau_{ох.}$, год.	$\tau_{зав.}$, год.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1.5. Визначення об'єму пиломатеріалів, що завантажуються в сушильну камеру

Об'єм пиломатеріалів (заготовок), що завантажуються в сушильну камеру визначається за виразом:

$$E = \Gamma \cdot \beta_{об.} = l \cdot b \cdot h \cdot m \cdot \beta_{об.}, \text{ м}^3 \quad (1.7)$$

де: l, b, h – відповідно довжина, ширина і висота штабеля (пакета), м;
 m – кількість штабелів (пакетів) в сушильній камері, шт.;
 Γ – габаритний об'єм штабелів (пакетів), ($\Gamma = l \cdot b \cdot h \cdot m$), м^3 ;
 $\beta_{об.}$ – коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля, який залежить від породи, розмірів, виду, початкової і кінцевої вологості висушуваних пиломатеріалів:

$$\beta_{об.} = \beta_{\delta} \cdot \beta_{ш} \cdot \beta_{в} \cdot \frac{100 - Y_o}{100}, \quad (1.8)$$

де: $\beta_{\delta}; \beta_{ш}; \beta_{в}$ - коефіцієнти заповнення штабеля за довжиною, шириною і висотою (вирази для їх визначення приведені нижче);

Y_o - об'ємне всихання пиломатеріалів, визначається за формулою:

$$Y_o = \beta_v \cdot \frac{W_{т.н.} - W_{к.}}{W_{т.н.}} \%, \quad (1.9)$$

де: β_v - повне об'ємне всихання певної породи деревини (визначається згідно додатку 8), %;

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

$W_{к.}$ - кінцева вологість після сушіння, %.

Коефіцієнт заповнення штабеля за довжиною визначається за виразом:

$$\beta_{\delta} = \frac{\sum_i^n l_i}{l}, \quad (1.10)$$

де: l_i - довжина i -ої дошки (заготовки), в метрах, що вкладається в одному ряді штабеля за довжиною.

Коефіцієнт заповнення штабеля за шириною визначається за виразом:

$$\beta_{ш} = \frac{\sum_i^n b_i}{l_i} \quad (1.11)$$

де: b_i - ширина i -ої дошки (заготовки), в мм, що вкладається в одному ряді штабеля за шириною.

Коефіцієнт заповнення штабеля за висотою визначається за виразом:

$$\beta_v = \frac{S_1}{S_1 + S_{пр.}} \quad (1.12)$$

де: S_1 - товщина дошки (заготовки), мм;

$S_{пр.}$ - товщина прокладки (визначається згідно додатку 9), мм.

При укрупнених розрахунках дозволяється використовувати табличне значення коефіцієнта об'ємного заповнення штабеля (додаток 10).

1.6. Визначення продуктивності сушильної камери в умовному і фактичному матеріалі

Річна продуктивність камери при сушінні пиломатеріалів заданої специфікації (порода, вид, розмір, початкова та кінцева вологість деревини) та продуктивність камери в умовному матеріалі визначають за виразом:

$$П = \frac{T}{\tau_{об.}} \cdot E, \text{ м}^3 / \text{рік}, \quad (1.13)$$

де: T - період, за який визначається продуктивність камери, діб. При визначенні річної продуктивності сушильної камери, кількість робочих діб в році приймається, $T = 335, \text{ діб};$

$\tau_{об.}$ - тривалість камерообігу, діб (табл.1.4.);

E - об'єм пиломатеріалів (заготовок), що завантажуються в сушильну камеру, м³;

Результати розрахунків продуктивності сушильної камери для фактичного і умовного матеріалу зводяться у таблицю 1.5.

Таблиця 1.5.

Розрахунок продуктивності сушильної камери для фактичного та умовного матеріалу.

Порода висушуваного матеріалу	Розміри пиломатеріалів, (заготовок), мм			Розміри штабеля (пакета), м			Товщина прокладок, $S_{пр}$, мм	Кількість штабелів, m	Коеф. об'ємн. заповн. штаб., $\beta_{об}$	Тривалість камерообігу, $T_{об}$, діб	Продуктивність камери, Π , м ³ /рік
	S_1	S_2	L	l	b	h					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	14	15
Ум. мат.											

1.7. Перерахунок кількості фактичного матеріалу в умовний

Для визначення необхідної кількості сушильних камер з метою виконання річної програми необхідно об'єм фактичного висушуваного матеріалу однакової характеристики перевести в об'єм умовного матеріалу за наступним виразом:

$$Y_i = \Phi_i \cdot \frac{\beta_{об.ум.} \cdot \tau_{об.ф.}}{\beta_{об.ф.} \cdot \tau_{об.ум.}}, \text{ м}^3, \quad (1.14)$$

де: Φ_i - об'єм фактичного матеріалу певної характеристики, м³;

$\beta_{об.ум.}$ - коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля для умовного матеріалу ;

$\beta_{об.ф.}$ - коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля для фактичного матеріалу певної характеристики ;

$\tau_{об.ум.}$ - тривалість камерообігу умовного матеріалу;

$\tau_{об.ф.}$ - тривалість камерообігу фактичного матеріалу певної характеристики;

Загальний об'єм умовного матеріалу визначається за виразом:

$$Y_{\Sigma} = \sum_i^n Y_i, M^3, \quad (1.15)$$

де: n – кількість типорозмірів фактичного матеріалу переведеного в умовний.

Результати розрахунку об'єму умовного матеріалу зводяться у

таблицю 1.6.

Таблиця 1.6.

Перерахунок кількості фактичного матеріалу в умовний

Порода	Вид пиломатеріалу	Характеристика матеріалу					Тривалість камеро обігу для фактичного матеріалу, $\tau_{об.ф.}$, діб	Тривалість камеро обігу для умовного матеріалу, $\tau_{об.ум.}$, діб	Коефіцієнт об'ємного заповнення фактичного матеріалу, $\tau_{об.ф.}$	Коефіцієнт об'ємного заповнення умовного матеріалу, $\tau_{об.ум.}$	Об'єм матеріалу, M^3	
		Розміри, мм			Вологість, %						фактичного	умовного
		S ₁	S ₂	L	W _п	W _к						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

1.8. Визначення кількості сушильних камер

Кількість сушильних камер яка необхідна для виконання річної програми визначається за виразом:

$$n = \frac{U_{\Sigma}}{P_y}, \text{шт.}, \quad (1.16)$$

де: U_{Σ} - загальний об'єм умовного матеріалу, м³;

P_y - продуктивність сушильної камери в умовному матеріалі, м³/рік.

Розділ 2. Тепловий розрахунок

Мета теплового розрахунку - визначення кількості теплової енергії на сушіння пиломатеріалів, встановлення необхідної теплової потужності сушильної камери для розрахунку калориферів, розрахунок та вибір циркуляційної помпи, припливно-витяжних каналів і діаметрів трубопроводів.

2.1. Вибір розрахункового матеріалу

Для розрахунку теплового і циркуляційної обладнання сушильної камери за розрахунковий матеріал приймають обрізні дошки (заготовки) хвойних порід товщиною 25 мм. Якщо в завданні на проектування хвойні пиломатеріали товщиною 25 мм відсутні, то в якості розрахункового матеріалу вибирають найшвидше висушувані дошки (заготовки) з заданої специфікації, тобто ті, в яких тривалість процесу сушіння найменша. Теплове і циркуляційне обладнання, що розраховане на такий матеріал, з надлишком забезпечить сушіння інших пиломатеріалів із заданої специфікації.

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

Маса вологи, яка випаровується з 1 м³ пиломатеріалів (заготовок) визначається за формулою:

$$m_{1m^3} = \rho \frac{W_n - W_k}{100}, \text{ кг / м}^3, \quad (2.1)$$

де ρ – базисна (умовна) густина деревини (Додаток 8), кг/м³;

$W_n; W_k$ – відповідно початкова і кінцева вологість пиломатеріалів, %.

Маса вологи, яка випаровується за один камерообіг визначається за формулою:

$$m_{об.кам.} = m_{1m^3} \cdot E, \text{ кг / об.кам.}, \quad (2.2)$$

Маса вологи, яка випаровується з пиломатеріалів за секунду, визначається за формулою:

$$M_c = \frac{m_{\text{об.кам.}}}{3600 \cdot \tau_c}, \text{ кг/с}, \quad (2.3)$$

де: τ_c – тривалість сушіння пиломатеріалу вибраного в якості *розрахункового* (табл.1.3), годин.

Розрахункова маса вологи, яка випаровується з пиломатеріалів в процесі сушіння визначається за формулою:

$$M_p = M_c \cdot k, \text{ кг/с}, \quad (2.4)$$

де: k – коефіцієнт, який враховує нерівномірність сушіння, при сушінні вологим повітрям приймається: $k=1,2$, при $W_k > 12\%$, $k=1,3$, при $W_k \leq 12\%$.

2.3. Визначення параметрів сушильного агента при вході у штабель

З вибраних режимів сушіння (див. підрозділ 1.2), встановлюють параметри температури t_1 та відносної вологості ϕ_1 для пиломатеріалу вибраного в якості *розрахункового*. Для розрахунку параметрів сушильного агента при вході у штабель $(t_1; \phi_1)$ приймають параметри режиму процесу сушіння за середнім ступенем для ступеневих режимів i , як середнє арифметичне початкових і кінцевих значень режимних параметрів для безступеневих режимів.

Вологовміст (d_1 , г/кг), ентальпію (тепловміст I_1 , кДж/кг), густину (ρ_1 , кг/м³) та приведенй об'єм (V_1 , м³/кг) повітря на вході в штабель пиломатеріалів визначають за Id- діаграмою (додаток 45).

Параметри сушильного агента можна визначати теоретично.

Вологовміст повітря визначають за формулою:

$$d_1 = 622 \frac{P_n}{P_a - P_n}, \text{ г/кг}, \quad (2.5)$$

де: P_a – атмосферний тиск повітря, ($P_a = 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$);

P_n – парціальний тиск водяної пари в повітрі, $P_n = \phi_1 \cdot P_n$;

P_n – тиск насичення водяної пари при розрахунковій температурі режиму сушіння ($P_n = f(t_1)$), Па (додаток 11).

Тепловміст повітря визначається за формулою:

$$I_1 = 1,0t_1 + 0,001d_1(1,93t_1 + 2490), \quad \text{кДж} / \text{кг}, \quad (2.6)$$

Густина повітря визначається за формулою:

$$\rho_1 = \frac{349 - 132 \cdot \frac{d_1}{622 + d_1}}{273 + t_1}, \quad \text{кг} / \text{м}^3, \quad (2.7)$$

Приведений питомий об'єм визначається за формулою

$$V_{np.1} = 4,62(273 + t_1)(622 + d_1) \cdot 10^{-6}, \quad \text{м}^3 / \text{кг}, \quad (2.8)$$

2.4. Визначення об'єму і маси циркулюючого повітря в сушильній камері

Об'єм циркулюючого повітря в сушильній камері визначається за формулою:

$$V_{\text{ц}} = \omega_{\text{шт.}} \cdot F_{\text{ж.п.шт.}} \cdot C, \quad \text{м}^3 / \text{с}, \quad (2.9)$$

де: $\omega_{\text{шт.}}$ – швидкість циркуляції сушильного агента через штабель пиломатеріалів, приймається в межах (1,5...3 м/с), в залежності від марки сушильної камери ;

$F_{\text{ж.п.шт.}}$ – живий перетин штабеля (вільна площа поперечного перетину штабеля перпендикулярна напрямку руху сушильного агента), м²;

C – коефіцієнт нерівномірності швидкості циркуляції сушильного агента по об'єму штабеля, приймається: $C=1,1...1,2$ для камер з рівномірною циркуляцією, $C=1,3...1,4$ для камер в яких відсутні пристрої рівномірності циркуляції, $C=1,5...1,7$ для камер ПАП-32, НИИМОД-34.

Площа живого перетину штабеля визначається за формулою:

$$F_{\text{ж.п.шт.}} = \ell \cdot h \cdot (1 - \beta_s) \cdot n, \quad \text{м}^2, \quad (2.10)$$

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

n – кількість штабелів, які розміщені перпендикулярно до руху сушильного агента в одному ряді;

β_v – коефіцієнт заповнення штабеля по висоті.

Маса циркулюючого сушильного агента, яка потрібна для випаровування 1 кг вологи, визначається за формулою:

$$m_{\text{ц}} = \frac{V_u}{M_p \cdot V_{\text{пр.1}}}, \quad \text{кг/кг}, \quad (2.11)$$

2.5. Визначення параметрів сушильного агента при виході з штабеля

Параметри сушильного агента при виході з штабеля ($t_2, \varphi_2, d_2, \rho_2, V_{\text{пр.2}}$) визначаються графоаналітичним способом. За величиною ($m_{\text{ц}}$) знаходять вологовміст повітря на виході із штабеля:

$$d_2 = d_1 + \frac{1000}{m_{\text{ц}}}, \quad \frac{\text{г}}{\text{кг}}, \quad (2.12)$$

Після визначення вологовмісту d_2 необхідно побудувати теоретичний процес сушіння на Id- діаграмі (рис.2.1). За відомими параметрами сушильного агента при вході в штабель t_1 і φ_1 або d_1 знаходять точку 1. Враховуючи, що процес сушіння (випаровування повітрям вологи) відбувається практично з постійним тепловмістом, тобто $I_2 \approx I_1$, то на перетині ліній $I_1 = I_2 = \text{const}$ та лінії d_2 знаходять точку 2, що характеризує параметри сушильного агента при виході з штабеля ($t_2, \varphi_2, \rho_2, V_{\text{пр.2}}$).

Температуру агента сушіння після виходу з штабеля можна визначити за формулою:

$$t_2 = \frac{I_2 - 2,49 \cdot d_2}{1,0 + 0,00193 \cdot d_2}, \quad ^\circ\text{C}, \quad (2.13)$$

Аналітичним шляхом можна визначити інші параметри сушильного агента при виході з штабеля використовуючи формули 2.7, 2.8.

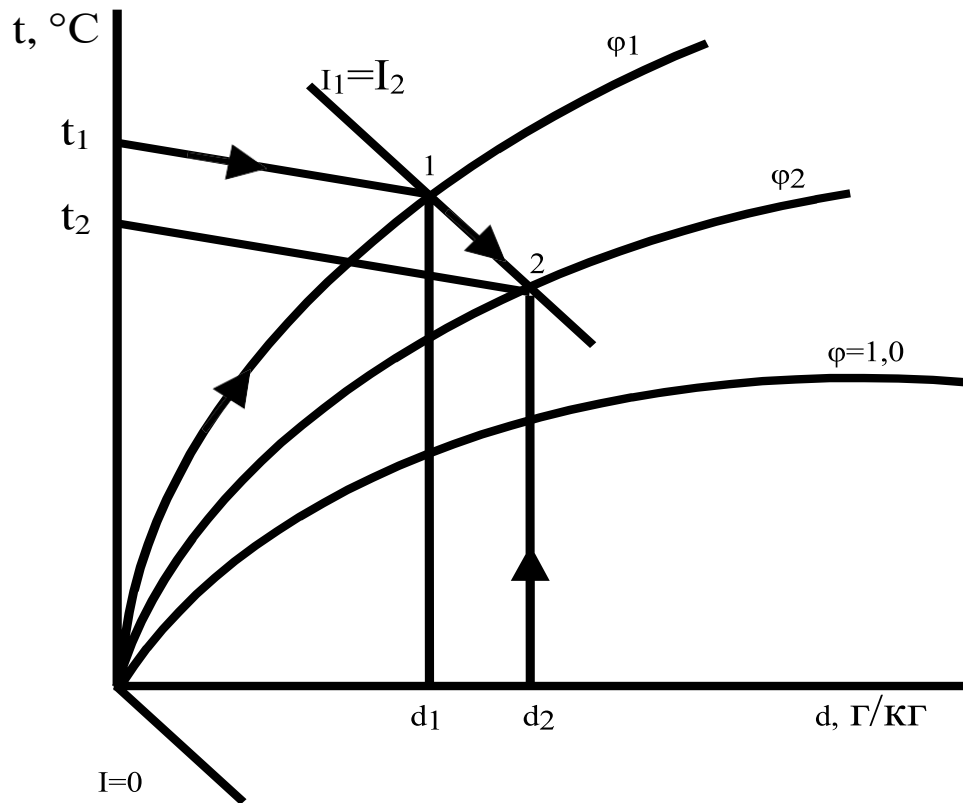


Рис. 2.1. Схема побудови зміни параметрів сушильного агента при випаровуванні вологи на I -діаграмі

2.6. Визначення об'єму свіжого і відпрацьованого сушильного агента розрахунок припливно-витяжних каналів

Маса свіжого і відпрацьованого сушильного агента на 1 кг випаровуваної вологи визначається за формулою:

$$m_0 = \frac{1000}{d_2 - d_0} \frac{\text{кг}}{\text{кг}}, \quad (2.14)$$

де: d_0 – вологовміст свіжого (припливного) повітря. Приймається для середньорічних умов $d_0=6...8$ г/кг, взимку $d_0=1...1,5$ г/кг.

Об'єм свіжого (припливного) повітря визначається за формулою:

$$V_o = m_o \cdot M_p \cdot V_{np.0}, \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (2.15)$$

де: $V_{np.0}$ – приведений об'єм свіжого повітря, приймається $V_{np.0}=0,87$ м³/кг.

Об'єм відпрацьованого повітря

$$V_{відпр.} = m_o \cdot M_p \cdot V_{пр.2}, \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (2.16)$$

де: $V_{пр.2}$ – приведений об'єм відпрацьованого сушильного агента.

Площу поперечного перетину припливних-витяжних каналів визначають за формулою:

$$f_i = \frac{V_i}{\omega_{кан.}}, \text{ м}^2, \quad (2.17)$$

де: V_i – об'єм свіжого або відпрацьованого повітря, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\omega_{кан.}$ – швидкість руху повітря в припливно-витяжних каналах, $\omega_{кан.}=2...3 \text{ м/с}$.

При використанні камер з реверсивною циркуляцією сушильного агента канали по чергову виконують функцію припливних і витяжних, тому для подальших розрахунків вибирається більший перетин. Для розрахунку розмірів припливно-витяжних каналів необхідно прийняти форму їх перетину (квадрат, прямокутник чи коло) та кількість каналів в сушильній камері.

2.7. Визначення витрат теплової енергії на сушіння пиломатеріалів

В процесі сушіння пиломатеріалів тепла енергія витрачається на:

- початковий нагрів матеріалу перед сушінням;
- випаровування вологи з деревини;
- проміжну та кондиціонуючу тепловологообробки;
- втрати тепла через огороження камери;
- втрати тепла через припливно-витяжні канали з відпрацьованим повітрям;
- нагрівання свіжого повітря, огорожень камери та обладнання, яке знаходиться в середині сушильної камери.

При виконанні курсового проекту інженерний розрахунок витрат теплової енергії здійснюється для початкового нагрівання, випаровування вологи з деревини та втрат через огороження. Компенсація інших статей витрат теплової енергії (за результатами досліджень вони сягають 30% [4]) здійснюється шляхом введення коефіцієнтів запасу.

Витрати теплової енергії при сушінні деревини визначають окремо для зимових та середньорічних умов. Для зимових умов визначається максимальна кількість теплової енергії тобто необхідна теплова потужність сушильної камери, а за середньорічними умовами – витрати теплової енергії на сушіння 1 м³ пиломатеріалів і встановлюється річна потреба в тепловій енергії.

Витрати теплової енергії на нагрівання 1 м³ пиломатеріалів в зимових умовах визначають за формулою:

$$q_{\text{нагр.1м}^3}^{\text{зим.}} = \gamma \cdot \rho_b \cdot \frac{W_n - W_{\text{сп.}}}{100} + \rho \cdot [C_{(-)} \cdot (-t_{0\text{зим.}}) + C_{(+)} \cdot t_{\text{нагр.}}], \text{ кДж} / \text{м}^3, \quad (2.18)$$

де: γ – питома теплота плавлення льоду, $\gamma=335$ кДж/кг;

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

W_n – початкова вологість пиломатеріалів, %;

$W_{\text{гр.}}$ – кількість незамерзлої води в деревині (додаток 12), %.

ρ – густина деревини при початковій вологості (додаток 13), кг/м³;

$t_{0\text{зим.}}$ – початкова температура деревини при нагріванні для зимових умов (додаток 15), °С;

$t_{\text{нагр.}}$ – розрахункова температура деревини при нагріванні, приймається рівною $t_{\text{п.с.}}$ (див. підрозділ 1.4).

$C_{(-)}$, $C_{(+)}$ – відповідно середня питома теплоємність при від’ємній та додатній температурах, кДж/(кг·°С).

Визначення питомої теплоємності (додаток 14) проводиться за середньою температурою $t_{\text{сер.}}$ і початковою вологістю деревини W_n :

- при від’ємній температурі:

$$t_{\text{сер.}}^{(-)} = \frac{t_{0\text{зим.}} + 0}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.19)$$

- при додатній температурі:

$$t_{\text{сер.}}^{(+)} = \frac{0 + t_{\text{нагр.}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.20)$$

Витрати теплової енергії на нагрівання 1 м³ пиломатеріалів у середньорічних умовах визначається за формулою:

$$q_{\text{нагр.1м}^3}^{\text{с.р.}} = \rho \cdot C_{(+)} \cdot (t_{\text{нагр.}} - t_{0\text{с.р.}}), \text{ кДж} / \text{м}^3, \quad (2.21)$$

нагр.1м3

де: $t_{0c.p.}$ – початкова температура деревини для середньорічних умов (додаток 15).

Визначення питомої теплоємності (додаток 14) проводиться за середньою температурою $t_{сер.}$ і початковою вологістю деревини $W_{п.}$:

$$t_{сер.} = \frac{t_{0c.p.} + t_{нагр.}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.22)$$

Для зимових умов теплова потужність необхідна на нагрівання всього об'єму пиломатеріалів, які завантажені в сушильну камеру визначається за формулою:

$$Q_{нагр.}^{зим.} = \frac{q_{нагр.м^3}^{зим.} \cdot E}{3600 \cdot \tau_{нагр.}^{зим.}}, \text{ кВт}, \quad (2.23)$$

де: $\tau_{нагр.}^{зим.}$ – тривалість початкового нагрівання пиломатеріалів в зимових умовах, год:

$$\tau_{нагр.}^{зим.} = \frac{(t_{п.} - t_{0зим.})}{V_{нагр.}}, \text{ год}, \quad (2.24)$$

де: $t_{п.}$ – температура початку сушіння (див. формулу 1.3), $^\circ\text{C}$;

$t_{0зим.}$ – початкова температура деревини при нагріванні для зимових умов (додаток 15), $^\circ\text{C}$;

$V_{нагр.}$ – швидкість зростання температури сушильного агента в камері при нагріванні, $^\circ\text{C}/\text{год}$. Приймається в зимових умовах:

- для хвойних і м'яких листяних порід – $4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$;

- для твердих листяних порід – $3 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$.

Питомі витрати теплової енергії на випаровування 1 кг вологи в процесі сушіння пиломатеріалів визначається за формулою:

- для зимових умов:

$$q_{вип.}^{зим.} = 1000 \cdot \frac{I_2 - I_{0зим.}}{d_2 - d_{0зим.}}, \text{ кДж / кг}, \quad (2.25)$$

- для середньорічних умов:

$$q_{вип.}^{c.p.} = 1000 \cdot \frac{I_2 - I_{0c.p.}}{d_2 - d_{0c.p.}}, \text{ кДж / кг}, \quad (2.26)$$

де: I_0 – тепловміст (ентальпія) свіжого повітря, для середньорічних умов,

$I_{0c.p.}=20$ кДж/кг, взимку, $I_{0зим.}=-15$ кДж/кг;

d_0 – вологовміст свіжого повітря, г/кг (див. формулу 2.14).

Теплова потужність сушильної камери необхідна на випаровування всієї вологи із пиломатеріалів визначається за формулою

$$Q_{вип.}^{зим.} = q_{вип.}^{зим.} \cdot M_p, \text{ кВт}, \quad (2.27)$$

Витрати теплової енергії на випаровування вологи з 1 м^3 пиломатеріалів для середньорічних умов визначають за формулою:

$$q_{вип.1\text{м}^3}^{c.p.} = q_{вип.}^{c.p.} \cdot m_{1\text{м}^3}, \text{ кДж} / \text{м}^3, \quad (2.28)$$

Втрати тепла через огороження сушильної камери визначається окремо для кожного елемента за формулою: (2.29)

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

де: $F_{ог.}$ – площа окремо взятого огороження (стіни, підлога, стеля двері) сушильної камери, м^2 ;

$k_{ог.}$ – коефіцієнт теплопередачі даного огороження, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

t_c – температура сушильного агента в камері, $^\circ\text{C}$ (див. підрозділ 1.2);

t_0 – розрахункова температура навколишнього середовища із зовнішньої сторони огороження, $^\circ\text{C}$, для зимових та середньорічних умов (додаток 15).

Коефіцієнт теплопередачі багатошарових огорожень визначається за формулою:

$$k_{ог.} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн.}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{зовн.}}}, \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}, \quad (2.30)$$

де: δ_i – товщина i -того шару огороження, м;

λ_i – теплопровідність i -того шару огороження, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, (Додаток 16);

$\alpha_{вн.}$ – коефіцієнт теплообміну внутрішньої поверхні огороження, приймається, $\alpha_{вн.}=25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

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

- для неопалюваних приміщень - $\alpha_{\text{зовн.}}=12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$;
- для опалюваних приміщень - $\alpha_{\text{зовн.}}=25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$.

Схеми поперечного перетину огорожень сушильних камер, як збірно-металевих так і в будівельних конструкціях представлені в додатку 18.

При розрахунку втрат тепла через огороження сушильної камери доцільно дотримуватися наступних рекомендацій:

- до початку розрахунків розробити план сушильного цеху, що дозволить правильно встановити температуру оточуючого середовища;
- розрахунок виконується для крайньої камери, втрати тепла через бокову стіну суміжної камери не враховуються;
- коефіцієнт теплопередачі стелі сушильної камери повинен бути меншим коефіцієнта теплопередачі бокової стіни і не перевищувати $k < 0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$;
- коефіцієнт теплопередачі підлоги приймається в 2 рази меншим, ніж для зовнішньої стіни;
- температура навколишнього середовища для підлоги приймається, як для середньорічних умов;

Розрахунок втрат тепла через огороження сушильної камери виконують для зимових та середньорічних умов і результати заносять в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.

Розрахунок витрат тепла через огороження сушильної камери

№ п/п	Назва і розміри огорожень	Площа, $F_{\text{ог.}}, \text{ м}^2$	$k, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$	$t_c, ^\circ\text{С}$	$t_0, ^\circ\text{С}$		$t_c - t_0, ^\circ\text{С}$		$Q_{\text{ог.}}, \text{ кВт}$	
					зимова	середньорічна	зимова	середньорічна	зимові	середньорічні
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Разом										

Витрати теплової енергії, як втрат тепла через огороження сушильної камери, з розрахунку на 1 м³ пиломатеріалів для середньорічних умов визначають за формулою:

$$q_{оз.1м^3}^{c.p.} = \frac{\sum Q_{оз.}^{c.p.} \cdot m_{1м^3}}{M_p}, \text{ кДж} / \text{м}^3, \quad (2.31)$$

Питомі витрати теплової енергії на сушіння 1 м³ розрахункового пиломатеріалу визначають для середньорічних умов за формулою

$$q_{суш.1м^3} = (q_{нагр.1м^3}^{c.p.} + q_{вип.1м^3}^{c.p.} + q_{оз.1м^3}^{c.p.}) \cdot C_1, \text{ кДж} / \text{м}^3, \quad (2.32)$$

де: C_1 – коефіцієнт, який враховує додаткові витрати теплової енергії на початковий прогрів камери, обладнання в середині сушильної камери, втрати тепла з відпрацьованим повітрям, тощо, $C_1=1,15\dots1,3$.

2.8. Визначення річної потреби теплової енергії сушильного цеху

Загальна кількість теплової енергії для виконання річної програми сушіння пиломатеріалів визначається за формулою:

$$Q_{річ.} = q_{суш.1м^3} \sum_{i=1}^n \left(\Phi_i \cdot \frac{\beta_{об.роз.} \cdot \tau_{об.ф.}}{\tau_{об.роз.} \cdot \beta_{об.ф.}} \right) \cdot 10^{-6}, \text{ ГДж} / \text{рік}, \quad (2.33)$$

де: Φ_i - об'єм фактичного матеріалу однакової характеристики, м³;

$\beta_{об.роз.}$ $\beta_{об.ф.}$ - коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля відповідно для матеріалу вибраного в якості розрахункового і фактичного матеріалу однакової характеристики;

$\tau_{об.роз.}$ $\tau_{об.ф.}$ - тривалість камерообігу розрахункового і фактичного матеріалу однакової характеристики.

На деревообробних підприємствах котельні, що забезпечують тепловою енергією сушильні господарства, в переважній більшості випадків, в якості палива використовують відходи у вигляді тирси, стружки, технологічної тріски

або кускові відходи. Річна кількість відходів для виробництва теплової енергії, що споживається сушильним цехом, визначається за формулою:

$$G_{річ.} = \frac{Q_{річ.}}{Q_n^p \cdot \eta}, \text{ м}^3, \quad (2.34)$$

де: Q_n^p - нижча теплотворна здатність деревини в залежності від породи і вологості, ГДж/м³ (додаток 17);

η - коефіцієнт корисної дії котла, приймається в межах 0,8...0,85;

2.9. Розрахунок теплового обладнання сушильної камери

В сучасних сушильних камерах, в якості теплового (теплообмінного) обладнання, використовуються пластинчаті біметалеві водяні (парові) калорифери (додаток 19). Основа калорифера – оребрена біметалева труба. Матеріал оребрення – алюміній або сплави на його основі, внутрішня (несуча) частина – труба з котлової або нержавіючої сталі (рідше з алюмінію). Розміри та технічна характеристика біметалевих водяних калориферів представлена в додатках 19,20. Допускається в сушильних камерах використання калориферів з чавунних ребристих труб та пластинчатих сталевих калориферів, що виробляються для систем опалення і вентиляції, як водяних так і парових (додатки 21, 22).

Методика розрахунку калорифера передбачає наступні кроки:

- визначення необхідної теплової потужності сушильної камери;
- попереднє розміщення вибраного типу калорифера на схемі камери (в першому наближенні задаються довжиною і шириною калорифера, кількістю і рядністю труб);
- розрахунок необхідної поверхні нагріву калориферів;
- визначення кількості калориферів.

Кількість теплової енергії на одиницю часу або необхідна теплова потужність калорифера сушильної камери визначається за формулою:

$$Q_k = Q_{вип.}^{зим.} + \sum_{ог.} Q_{ог.}^{зим.} \cdot C_1, \text{ кВт}, \quad (2.35)$$

де: C_1 – коефіцієнт не врахованих витрат теплової енергії, $C_1=1,15...1,3$.
Поверхню нагрівання калорифера визначають за формулою

$$F_k = \frac{Q_k \cdot C_2}{k \cdot t_m - t_c} \cdot 10^3, \text{ м}^2, \quad (2.36)$$

де: C_2 – коефіцієнт, який враховує корозію і забруднення калорифера, $C_2=1,2$;

t_m – температура теплоносія в системі тепlopостачання °С, приймається на рівні 90...95°С при використанні в якості теплоносія гарячої води;

t_c – температура сушильного агента в камері (див. підрозділ 1.1), °С;

k – коефіцієнт теплопередачі калорифера, який залежить від конструкції калорифера, швидкості циркуляції теплоносія по трубах калорифера, швидкості і густини повітря, яке циркулює через калорифер.

Коефіцієнт теплопередачі k для пластинчатих біметалевих водяних калориферів визначається за формулою:

$$k = 25,48 \cdot \omega_k \cdot \rho^{0,485} \cdot \omega_T^{0,13}, \text{ Вт/ м}^2 \cdot \text{°С}, \quad (2.37)$$

де: ω_T - швидкість руху теплоносія в трубах калорифера, $\omega_T=0,2...1,0$ м/с;

ω_k - швидкість руху сушильного агента через калорифер, м/с;

ρ - густина сушильного агента, кг/м³, приймається рівна ρ_2 .

Швидкість руху сушильного агента через калорифер визначається за формулою:

$$\omega_k = \frac{V_{\text{ц}}}{F_{\text{ж.пер.к}}}, \text{ м/с}, \quad (2.38)$$

де: $F_{\text{ж.пер.к}}$ – живий перетин калорифера (площа перетину калорифера

перпендикулярна напрямку руху сушильного агента і вільна для

його проходження), м.

Після попереднього вибору і розміщення калориферів на схемі камери площа живого перетину визначається за формулою: (2.39)

$$F_{\text{ж.пер.к}} = L \cdot B - n_{\text{п.к.}} \cdot [(l_{\text{к}} - 2 \cdot s_{\text{к}}) \cdot n_{\text{кол. тр. зов.}} \cdot (d_{\text{тр. зов.}} + \frac{2\delta \cdot h_p}{t_p})], \text{ м}^2,$$

ж.пер.к

п.к.

к

кол.

тр.

зов.

де: L, B – довжина і ширина каналу в якому попередньо розміщені біметалеві калорифери, м;

$n_{п.к.}$ – кількість попередньо розміщених в каналі калориферів, шт.;

l_k – довжина калорифера, м;

$S_{кол.х}$ – ширина вхідного і вихідного колектора калорифера, м. (додаток 20);

$n_{тр.}$ – кількість біметалевих оребрених труб в одному ряді калорифера, шт. (додаток 20);

$d_{зов.}$ – зовнішній діаметр несучої (внутрішньої) труби біметалевої оребреної труби калорифера, (додатки 19, 20), м;

δ_p, h_p, t_p – відповідно товщина, висота і крок ребер біметалевої труби (додатки 19, 20), м;

Коефіцієнт теплопередачі біметалевих водяних калориферів можна визначати за номограмою (додаток 23).

При використанні біметалевих пластинчатих калориферів систем опалення і вентиляції ПНВ 113 (ВН) (додатки 21, 22) в якості калориферів сушильних камер, площа живого перетину визначається за формулою [6]:

$$F_{ж.пер.к} = F_{кан.} - F_{пр.}, \text{ м}^2, \quad (2.40)$$

де: $F_{кан.}$ – площа перетину каналу, в якому розміщені біметалеві калорифери, м^2 ;

$F_{пр.}$ – площа проєкції біметалевих калориферів у площині, перпендикулярній потоку агента сушіння, м^2 , визначається за такою формулою:

$$F_{пр.} = (A_3 \cdot B_1 - F_{ф.п.}) \cdot n_{кал.}, \text{ м}^2, \quad (2.41)$$

де: $F_{ф.п.}$ – площа перетину калорифера по повітрю, м^2 , (додатки 21, 22);

A_3, B_1 – розміри калорифера (додатки 21, 22);

$n_{кал.}$ – кількість біметалевих калориферів, що встановлюються у камері, шт..

Необхідна кількість калориферів визначається за формулою

$$n_k = \frac{F_k}{f_k}, \text{ шт.}, \quad (2.42)$$

де: f_k – площа поверхні нагрівання одного калорифера (додатки 20, 22).

Площа поверхні нагрівання біметалевих водяних калориферів сушильних камер визначається за формулою:

$$f = (\ell - 2 \cdot s) \cdot f_{п.м} \cdot n \cdot m, \text{ м}^2, \quad (2.43)$$

к. к кол. 1п.м тр. ряд.

де: $f_{п.м.}$ – площа поверхні нагрівання одного погонного метра біметалевої труби калорифера, для спрощених розрахунків приймається 1,6 м²;

$m_{ряд.}$ – рядність калорифера (кількість рядів труб), шт.

Для встановлення в сушильній камері приймається кількість калориферів з врахуванням конструкції камери.

2.10. Розрахунок циркуляційної помпи і діаметрів трубопроводів теплової системи сушильної камери

Після розрахунку необхідної кількості калориферів розробляється принципова структурна схема теплової системи сушильної камери (додаток 25). Аксонометричний спосіб розроблення структурної схеми дозволяю встановити відмітки висот розміщення теплового обладнання і орієнтовно визначити довжину трубопроводів. Розрахунок необхідної продуктивності циркуляційної помпи виконують за формулою:

$$V = \frac{C_{м.} \cdot Q_{к.} \cdot 3600}{\rho \cdot c \cdot (t_{вх.} - t_{пр.})}, \text{ м}^3/\text{Год}, \quad (2.44)$$

пр. в вх. вих.

де: $Q_{к.}$ – теплова потужність калорифера сушильної камери, кВт;

$C_{м.}$ – коефіцієнт, що враховує втрати тепла в магістралі,
приймається: $C = 1,25$;

$\rho_{пр.}$ – приведена густина води при якій встановлені робочі характеристики циркуляційних помп, $\rho_{пр.} = 972 \text{ кг/м}^3$;

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

$t_{вх.}$ – температура теплоносія на вході в калорифер, згідно завдання;

$t_{вих.}$ – температура теплоносія на виході з калорифера, приймається на 20°С нижчою від температури теплоносія на вході в калорифер.

Крім необхідної продуктивності, помпа повинна забезпечувати тиск(напір), достатній для подолання опору трубопроводу. Для правильного вибору циркуляційної помпи потрібно визначити втрати до найбільш віддаленої точки трубопроводу (до крайнього калорифера). Перед розрахунком гідравлічного опору, необхідно визначити діаметри трубопроводів. Діаметр головноїмагістралі визначається за формулою:

$$d_{маг.} = \sqrt{1,27 \frac{n_{кам.} \cdot V_n}{3600 \cdot \omega_m} \cdot 10^3}, \quad мм, \quad (2.45)$$

де: $n_{кам.}$ – кількість сушильних камер;

ω_m - швидкість руху теплоносія (гарячої води) в трубопроводі, приймається 0,6...1,5 м/с.

Діаметр підводу до камери визначається за формулою:

$$d_{кам.} = \sqrt{1,27 \frac{V_n}{3600 \cdot \omega_m} \cdot 10^3}, \quad мм, \quad (2.46)$$

При зволоженні сушильного агента шляхом розпилення холодної води, діаметр зволожувальної труби, як правило, приймається 1/2" ($d_y=15$ мм).

Необхідний тиск (напір) циркуляційної помпи для подолання гідравлічного опору трубопроводу визначають за формулою:

$$H_n = \frac{Z_{к.} + R \cdot l_{тр.} + \sum Z_i}{\rho_{пр.} \cdot g}, \quad м, \quad (2.47)$$

де: $Z_{к.}$ – гідравлічний опір калорифера (додатки 20, 22), Па;

R - опір прямої труби, для сталевих труб приймається 120...140 Па/м;

$l_{тр.}$ - довжина трубопроводу, м. В розрахунках необхідно враховувати як

довжину трубопроводу подачі теплоносія до калорифера, так і довжину зворотної нитки.

Z_i - опір елементів трубопроводу (вентилі, фільтри, трьохходові та зворотні клапани). Гідравлічний опір елементів приведений в додатку 25.

g - прискорення земного тяжіння, m/c^2 .

За визначеними продуктивністю і тиском (напором) підбирається необхідна циркуляційна помпа (додатки 28, 29, 30, 32, 34, 36) і визначається її встановлена потужність (додатки 27, 31, 33, 35).

Розділ 3. Аеродинамічний розрахунок

Мета аеродинамічного розрахунку – вибір вентиляторів на базі визначених опорів ділянок циркуляції сушильного агента в камері, розрахунок їх кількості і потужності приводу електродвигунів.

3.1 Розрахунок опору ділянок кільця циркуляції сушильного агента

В сучасних сушильних камерах сушильний агент циркулює по замкнутому кільцю, при цьому тиск (напір) який розвиває вентилятор необхідний тільки для подолання опорів руху агента сушіння, в зв'язку з цим його приймають рівним статичному і розраховують за формулою:

$$H_{cm.} = \sum \Delta h_{cm.i} = \frac{\rho \cdot \omega_i^2}{2} \left(\frac{\xi \cdot l}{d_e} + \Psi_i \right), Pa, \quad (3.1)$$

де: $\sum \Delta h_{cm.i}$ — сума опорів всіх ділянок кільця циркуляції сушильного агента, Па.

Складовою частиною рівняння 3.1 $\frac{\xi \cdot l}{d_e}$ можна знехтувати оскільки

співвідношення довжини каналу до еквівалентного діаметра на всіх ділянках сушильної камери менше одиниці, а коефіцієнт тертя сушильного агента достінок каналів сушильної камери на два-три порядки менший коефіцієнта місцевого опору. Виключення складає розрахунок опору руху повітря через штабель.

ρ — густина сушильного агента, кг/м³ (див. підрозділ 2.5);

ω_i — швидкість циркуляції сушильного агента на кожній ділянці, м/с;

ξ — коефіцієнт тертя повітря до стінок каналів (пиломатеріалів і прокладок) при проходженні через штабель. Значення коефіцієнта залежить від еквівалентного діаметра прямокутного каналу та шорсткості поверхні і точності виготовлення пиломатеріалів за товщиною [7]. Для інженерних розрахунків приймається:

- для ламелей з точністю випилювання за товщиною $\pm 0,5$ мм, $\xi=0,07$;

- для пиломатеріалів і заготовок випиляних на стрічкових верстатах з точністю випилювання за товщиною $\pm 1,0$ мм, $\xi=0,12$;

- для пиломатеріалів і заготовок випиляних на лісопильних рамах і кругло пильних верстатах з точністю випилювання за товщиною $\pm 2,0$ мм, $\xi=0,15$;

l — довжина каналу, м, приймається рівною ширині штабеля;

d_e — діаметр круглого або еквівалентний діаметр прямокутного повітропроводу, м; (еквівалентний діаметр прямокутного повітропроводу з сторонами перетину a і b , м: $d_e = 2ab/(a + b)$). Для штабеля: a – товщина прокладки, м; b – відстань між прокладками штабеля, м.

ψ_i — коефіцієнт місцевого опору i -ої ділянки, (для осьового вентилятора $\psi=0,8$, для інших ділянок визначається за додатками (36; 37; 38; 39).

В залежності від вибраної конструкції сушильної камери встановлюють схему циркуляції сушильного агента з послідовною нумерацією всіх ділянок. Для спрощення розрахунків подібні ділянки об'єднуються (рис.3.1)

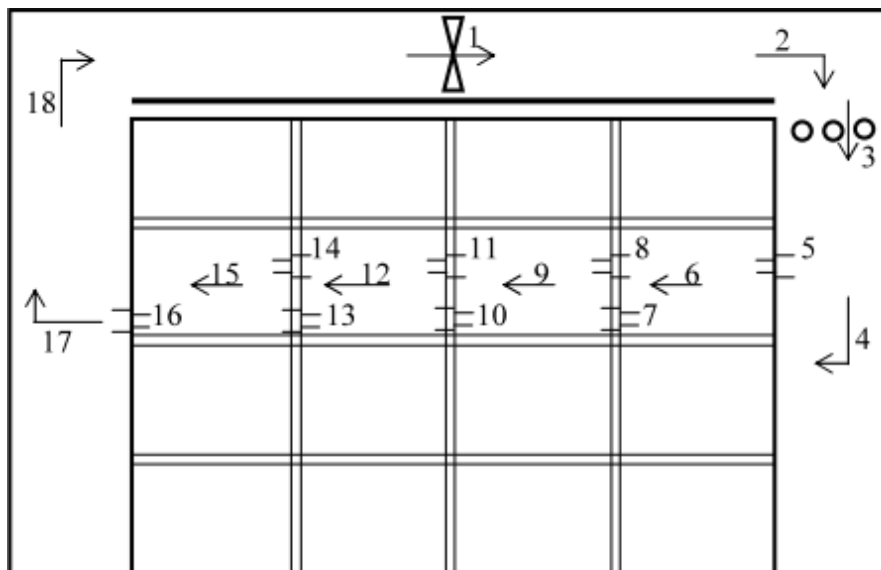


Рис. 3.1. Схема руху сушильного агента в камері з поперечно- вертикальною циркуляцією:

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

Для визначення опору на кожній ділянці ($\Delta h_{cm.i}$) необхідно визначити швидкість циркуляції сушильного агента на певній ділянці:

$$\omega_i = \frac{V_{ц.}}{f_i}, \text{ м / с}, \quad (3.2)$$

де: $V_{ц.}$ – об'єм циркулюючого повітря в сушильній камері, $\text{м}^3/\text{с}$ (див. підрозділ 2.4);

f_i – площа живого перетину (вільного для проходження сушильного агента) i -ої ділянки в площині, перпендикулярній напрямку руху сушильного агента, м^2 . Площа живого перетину на ділянці вентиляторів визначається за формулою:

$$f_{ж.пер.в.} = \frac{\pi \cdot D_{в.}^2}{4} \cdot n_{в.}, \text{ м}^2, \quad (3.3)$$

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

$n_{в.}$ – попередньо прийнята кількість вентиляторів в камері, шт.

Статичний опір руху агента сушіння через біметалеві калорифери визначається за наступними залежностями [8;16]:

- для двохрядних пластинчатих біметалевих водяних калориферів сушильних камер:

$$\Delta h_{к.} = 8,0 \cdot \omega_{к.} \cdot \rho^{1,72}, \text{ Па}, \quad (3.4)$$

Статичний опір руху агента сушіння через біметалеві калорифери сушильної камери можна визначати за діаграмою, (додаток 45).

– для двохрядних калориферів систем опалення і вентиляції які можуть використовуватися в якості калориферів сушильних камер ПНВ113-200 (ВН2)

$$\Delta h_{к.} = 6,94 \cdot \omega_{к.} \cdot \rho^{1,716}, \text{ Па}, \quad (3.5)$$

де: $\omega_{к.}$ - швидкість руху сушильного агента через калорифер (див.формулу 2.38);

Визначення опорів руху сушильного агента виконують для кожної ділянки і результати розрахунків заносять в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Визначення опорів руху сушильного агента на ділянках:

№ Ділянки	Назва ділянки	Коефіцієнт тертя, ξ	Еквівалентний діаметр, d_e , м	Площа жив перер. ділянок, $F_{ж.пер}$, m^2	Швидкість агента сушіння на ділянці, w_i м/с	Коеф. місц. опору, ψ	Статичний опір на відп. ділянці, Δh_i , Па
1	2	3	4	5	6	7	8
Разом: $H_{ст.} = \sum \Delta h_{ст.i}$							

- густина сушильного агента, $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$ кг/м³;

- об'єм циркулюючого повітря в сушильній камері, $V_{ц} = \underline{\hspace{2cm}}$ м³/с;

- товщина прокладок, $a = \underline{\hspace{2cm}}$ м;

- відстань між прокладками, $b = \underline{\hspace{2cm}}$ м.

3.2. Вибір вентилятора і розрахунок потужності електродвигуна

Характеристики вентиляторів приведені для повітря з параметрами: температура: $t=20^{\circ}C$; відносна вологість: $\varphi=0,5$; густина: $\rho=1,2$ кг/м³. Якщо густина сушильного агента (ρ) відрізняється від величини ($\rho=1,2$ кг/м³), то вентилятор підбирають за приведеним тиском, який визначається за формулою:

$$N_{пр.} = \frac{H_{ст.} \cdot 1,2}{\rho}, \text{ Па}, \quad (3.6)$$

За приведеним тиском H_{np} , Па, згідно характеристик вентиляторів (додатки 40; 41) вибирають вентилятор (номер або діаметр вентилятора, частоту обертання) і визначають його продуктивність, V_v , м³/с. Кількість вентиляторів визначають за формулою:

$$n_v = \frac{V_{ц.}}{V_v}, \text{шт}, \quad (3.7)$$

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

$$N_v = \frac{H_{np} \cdot V_v \cdot 10^{-3}}{\eta_v \cdot \eta_n}, \text{кВт}, \quad (3.8)$$

де: η_v – коефіцієнт корисної дії вентилятора, вибирають за характеристикою (додаток 42);

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).

Для вибору електродвигуна визначають встановлену потужність за наступною формулою:

$$N_{вст.} = N_v \cdot K_з, \text{кВт}, \quad (3.9)$$

де: $K_з$ – коефіцієнт запасу потужності на пусковий момент (додаток 33).

Вибір електродвигуна виконують за додатками (43;44).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Андрашек Й.В., Ковальчук О.В. Порівняльна характеристика енерговитрат через огороження сушильних камер. Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України.- вип.34.,2008. – 160 с.
2. Андрашек Й.В., Щупаківський Р.Б. Енергетична стратегія на деревообробному підприємстві. Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.4. – 324 с.
3. Білей П.В., Теоретичні основи теплової обробки і сушіння деревини. Коломия: Вік, 2005. -360 с.
4. Білей П.В., Павлюст В.М. Сушіння і захист деревини. Підручник. – Львів, Ліга. Прес, 2008.-312 с.
5. Гербей В.М., Озаркив І.М., Зарева Ю.Л. та ін. Основи проектування сушильних цехів у деревообробній промисловості – Львів: Олісплюс, 1996. – 192 с.
6. Губер Ю.М., Копинець З.П. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія сушіння та захисту деревини». – Львів: РВЦ УкрДЛТУ, 2005. – 48 с.
7. Каталог производственного оборудования систем кондиционирования воздуха, вентиляции и воздушного отопления. ЗАО Интеркондиционер. Харьков. Выпуск 1. Редакция 2007г. – 247с.
8. Керівні технічні матеріали з технології камерного сушіння пиломатеріалів. За редакцією професора Білея П.В. –Львів.: РВВ УкрДЛТУ, 2003. -72 с.
9. Проспекти фірм: A-M-S-elektronik, ГОРЛУШ КО, Eisenmann, Hildebrand, Giper, Katres, Incomac, Nardy, Panto, Siemens, Tamel, Vanicek, Valmet.
10. LonginGlijer. Suszenie i parowanie drewna. – Warszawa.: -Wies Jutrall, 2005. – 131р.

ДОДАТКИ

Додаток 2. Значення коефіцієнта A_p , що враховує породу пилопродукції.

Порода пилопродукції	A_p
Хвойні породи	
Модрина	2,30
Сосна	1,00
Ялина (смерека)	0,92
Ялиця	0,90
Листяні породи	
Акація	2,55
Вільха	1,10
Горіх грецький	2,05
Береза	1,12
Бук	1,70
В_яз	1,75
Граб	2,75
Груша	1,30
Дуб	2,60
Клен	1,50
Липа	0,82
Осика	0,87
Тополя	0,70
Явір	1,80
Ясен	2,05

Додаток 3. Значення коефіцієнтів A_{t1} ; A_{t2} , що враховують різницю температур на початку і в кінці процесу сушіння.

Різниця температур, °C	Коефіцієнти	
	A_{t1}	A_{t2}
+15	0,82	0,87
+10	0,87	0,92
+5	0,93	0,96
0	1,00	1,00
- 5	1,07	1,05
-10	1,15	1,09
-15	1,25	1,16
-20	1,36	1,23
-25	1,45	1,28
-30	1,55	1,35
-35	1,59	1,48
-40	1,65	1,62

Додаток 4. Значення коефіцієнта $A_{k.c.}$, що враховує категорію режиму сушіння.

Група порід	Категорія режиму	Значення коефіцієнта $A_{k.c.}$, при товщині пилопродукції			
		<25	>26<40	>40<65	>65<100
Хвойні	М_ягкий	1,10	1,08	1,08	1,07
	Нормальний	0,90	0,93	0,98	1,00
	Форсований	0,70	0,73	0,77	0,80
М,,яглолистяні	М_ягкий	1,20	1,17	1,15	1,12
	Нормальний	1,15	1,14	1,12	1,10
	Форсований	0,72	0,75	0,77	0,80
Твердолистяні	М_ягкий	1,30	1,20	1,15	1,10
	Нормальний	1,15	1,12	1,10	1,08
	Форсований	0,75	0,81	0,85	0,87

Додаток 5. Значення коефіцієнта A_v , що враховує швидкість циркуляції сушильного агента.

Швидкість циркуляції, м/с	K_v	Швидкість циркуляції, м/с	K_v
0,5	1,55	2,5	0,81
1,0	1,18	3,0	0,76
1,5	1,00	3,5	0,71
2,0	0,89	4,0	0,67

Додаток 6. Значення коефіцієнта $A_{в.п.}$, що враховує вид пилопродукції.

Вид пилопродукції	$A_{в.п.}$
Обрізна дошка довжиною більше 2 м	1,0
Необрізна дошка довжиною більше 2 м	1,2
Обрізна дошка довжиною менше 2 м	0,8
Необрізна дошка довжиною менше 2 м	0,95
Заготовка (фриза) довжиною більше 1 м	0,85
Заготовка (фриза) довжиною менше 1 м	0,7
Ламельні заготовки (товщина менше 10 мм)	0,65

Додаток 7. Значення коефіцієнта $A_{к.в.}$, що враховує кінцеву вологість пилопродукції.

Кінцева вологість пилопродукції, %	7,0	8,0	12,0	18,0
$A_{к.в.}$	1,03	1,00	0,85	0,65

Додаток 8. Базисна (умовна) густина деревини та показники всихання [8].

Порода	Базисна (умовна), густина, ρ_b , кг/м ³	Повне всихання, %			
		танген-тальне, β_t	радіальне, β_r	аксіальне, β_a	об'ємне, β_v
1	2	3	4	5	6
Береза	520	9,36	5,20	0,52	14,56
Бук	560	10,08	5,60	0,56	15,68
Верба	380	6,84	3,80	0,38	10,64
Вільха	430	7,74	4,30	0,43	12,04
В'яз	535	9,63	5,35	0,54	14,98
Горіх	490	8,82	4,90	0,49	13,72
Граб	640	11,52	6,40	0,64	17,92
Груша	585	10,53	5,85	0,58	16,38
Дуб	570	10,26	5,70	0,57	15,96
Клен	570	10,26	5,70	0,57	15,96
Липа	400	7,20	4,00	0,40	11,20

Додаток 8, продовження.

1	2	3	4	5	6
Модрина	540	9,72	5,40	0,54	14,12
Осика	410	7,38	4,10	0,41	11,48
Сосна	415	7,47	4,15	0,42	11,62
Тополя	375	6,75	3,75	0,38	10,50
Ясен	560	10,08	5,60	0,56	15,68
Ялина	365	6,57	3,65	0,36	10,22
Ялиця	350	6,30	3,50	0,35	9,80

Додаток 9. Розміри міжрядових прокладок при формуванні сушильних штабелів.

Товщина пиломатеріалів, S_1 , мм	Розміри прокладок і відстань між прокладками, мм					
	<i>хвойні породи</i>			<i>листяні породи</i>		
	2	3	4	5	6	7
<i>1</i>	10	15	<250	10	15	<300
<i>19...28</i>	20	25	<400	20	25	<300
<i>30...50</i>	25	32	<600	25	32	<500
<i>>50</i>	32	40	<1000	32	40	<1000

Додаток 10. Значення коефіцієнта об'ємного заповнення штабеля при $\beta_d=0,85$.

Номінальна товщина пиломатеріалів, S_1 , мм	Спосіб укладання								
	З шпациями				Без шпаций				
	Обрізні		Необрізні		Обрізні			Необрізні	
	Товщина прокладок, $S_{пр}$, мм								
	22	25	22	25	22	25	32	22	25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	0,191	0,176	0,126	0,116	0,264	0,244	0,206	0,176	0,162
16	0,216	0,201	0,143	0,133	0,300	0,278	0,237	0,200	0,185
19	0,238	0,222	0,158	0,147	0,330	0,307	0,265	0,220	0,205
22	0,257	0,241	0,170	0,159	0,356	0,333	0,290	0,237	0,222
25	0,273	0,257	0,181	0,170	0,378	0,356	0,312	0,252	0,237
32	0,304	0,288	0,201	0,191	0,422	0,399	0,356	0,281	0,266
40	0,331	0,316	0,219	0,209	0,459	0,438	0,395	0,306	0,292
45	0,345	0,330	0,228	0,219	0,478	0,458	0,416	0,319	0,305
50	0,357	0,342	0,236	0,227	0,494	0,474	0,434	0,329	0,316
60	0,376	0,362	0,249	0,243	0,521	0,502	0,464	0,347	0,335
70	0,391	0,379	0,259	0,250	0,541	0,525	0,488	0,361	0,350
75	0,397	0,385	0,263	0,255	0,550	0,533	0,499	0,367	0,356
90	0,413	0,402	0,273	0,266	0,572	0,557	0,525	0,381	0,371
100	0,421	0,411	0,279	0,272	0,583	0,569	0,539	0,389	0,379

Додаток 11. Залежність тиску насичення водяної пари від температури $P_n=f(t)$

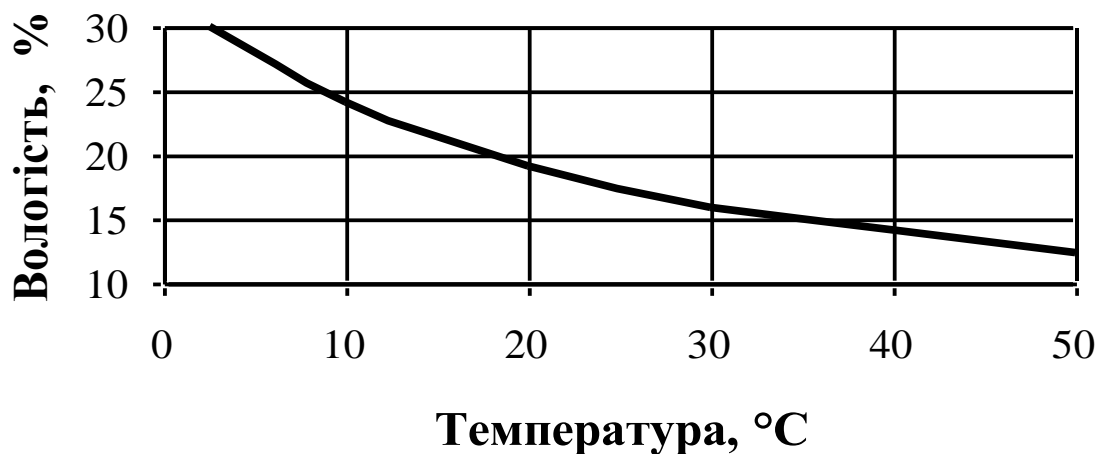
Температура t , °C	Тиск P_n , Па	Температура t , °C	Тиск P_n , Па
1	2	3	4
0	327,84	52	13613,2
2	705,27	54	14998,7
4	813,26	56	16505,3
6	934,59	58	18145,1
8	1073,24	60	19918,3
10	1227,89	62	21838,1
12	1402,55	64	23904,6
14	1598,53	66	26144,4
16	1817,18	68	28557,6
18	2063,82	70	31157,4

Додаток 11, продовження

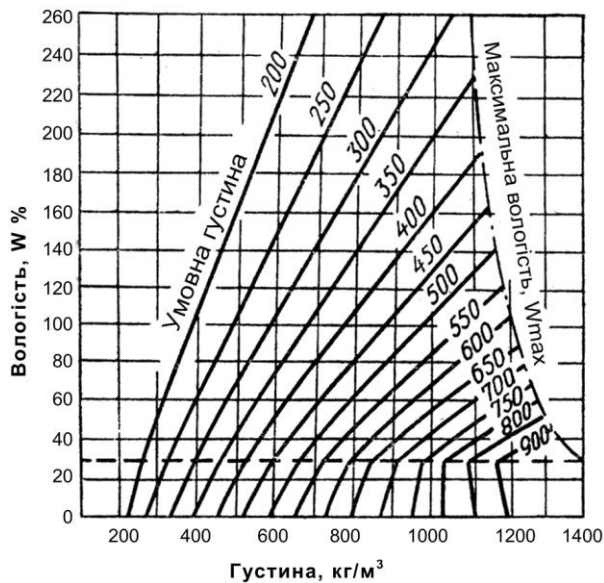
1	2	3	4
20	2338,47	72	33943,8
22	2649,77	74	36956,9
24	2983,75	76	40187,3
26	3361,05	78	43636,3
28	3779,68	80	47342,6
30	4242,31	82	51315,6
32	4754,26	84	55568,6
34	5319,55	86	60144,9
36	5940,83	88	64941,1
38	6619,44	90	70100,7
40	7375,37	92	75593,6
42	8199,30	94	81446,4
44	9104,50	100	101822,4
46	10086,80	110	143255,5
48	11160,38	120	198506,2
50	12333,60	130	263074,9

Примітка. Для проміжних значень температури тиск насичення знаходять методом інтерполяції.

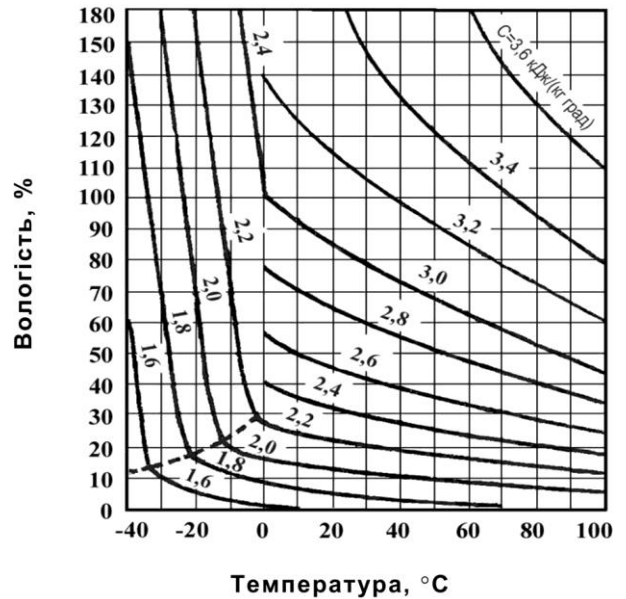
Додаток 12. Графік відносного вмісту незамерзлої води в деревині



Додаток 13. Діаграма густини
деревини



Додаток 14. Діаграма питомої
теплоємності деревини



Додаток 15. Кліматичні дані

Назва міста	Розрах. температура для опалення, °С	Середня річна температура, °С	Назва міста	Розрах. температура для опалення, °С	Середня річна температура, °С
Вінниця	-20	6,9	Ужгород	-18	9,2
Дніпропетровськ	-20	6,9	Харків	-25	6,7
Донецьк	-24	6,8	Херсон	-16	9,5
Житомир	-20	6,7	Хмельницький	-22	7,0
Запоріжжя	-19	6,6	Хуст	-19	9,0
Івано-Франківськ	-21	7,1	Черкаси	-20	6,9
Керч	-16	10,2	Чернівці	-19	8,0
Київ	-20	6,9	Чернігів	-23	6,6
Кіровоград	-19	9,1	Ялта	-9	13,0
Луганськ	-25	6,9	Алма-Ата	-25	7,3
Луцьк	-23	7,0	Архангельськ	-32	0,2
Львів	-22	7,0	Баку	-4	13,9
Миколаїв	-16	9,3	Єреван	-19	11,3
Одеса	-16	9,3	Мінськ	-25	5,3
Полтава	-21	6,6	Москва	-25	3,6
Рівне	-23	7,0	Санкт-Петербург	-25	4,1
Севастополь	-10	12,0	Ташкент	-15	13,2
Сімферополь	-12	10,5	Тбілісі	-7	12,6
Суми	-22	8,0	Уфа	-29	2,6
Тернопіль	-21	7,0			

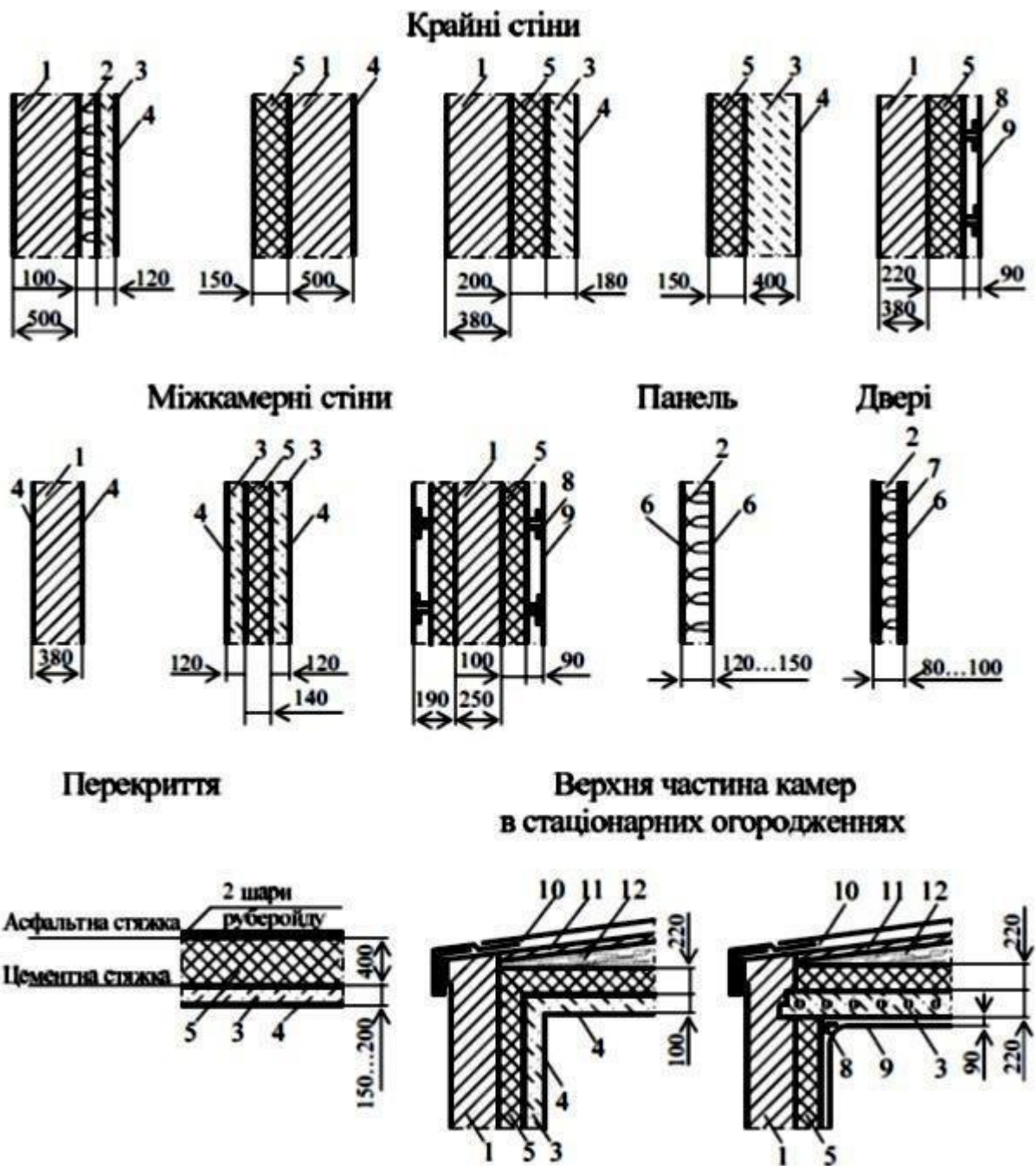
Додаток 16. Теплопровідність будівельних матеріалів [4, 8]

Матеріал	Густина ρ , кг/м ³	Коеф. теплопровідності λ , Вт/(м·°С)
Азбест	400	0,12
Азбоцементні плити	500	0,13
Алюміній	2700	240,00
Бетони:		
– зі щебенем або гравієм	2400	1,45
– з цегляним щебенем	2000	1,05
– залізобетон	2400	1,60
– пінобетон	1000	0,40
–//-	300	0,13
– шлакобетон (на котельних шлаках)	1600	0,76
–//-	1000	0,41
Вата мінеральна	200	0,07
Скловата	200	0,07
Войлок будівельний	150	0,06
Картон азбестовий	900	0,22
Пінопласт ПВХ	190	0,05
Руберойд, пергамент, толь	600	0,17
Сталь будівельна	7850	58,00
Цегляна кладка	1800	0,80
Шлак паливний	1000	0,29
Шлакова цегла	1400	0,58
Штукатурка цементно-пісочна	1800	0,90
Штукатурка гіпсова (суха)	1000	0,23

Додаток 17. Енергетична цінність деревини різних порід [20]

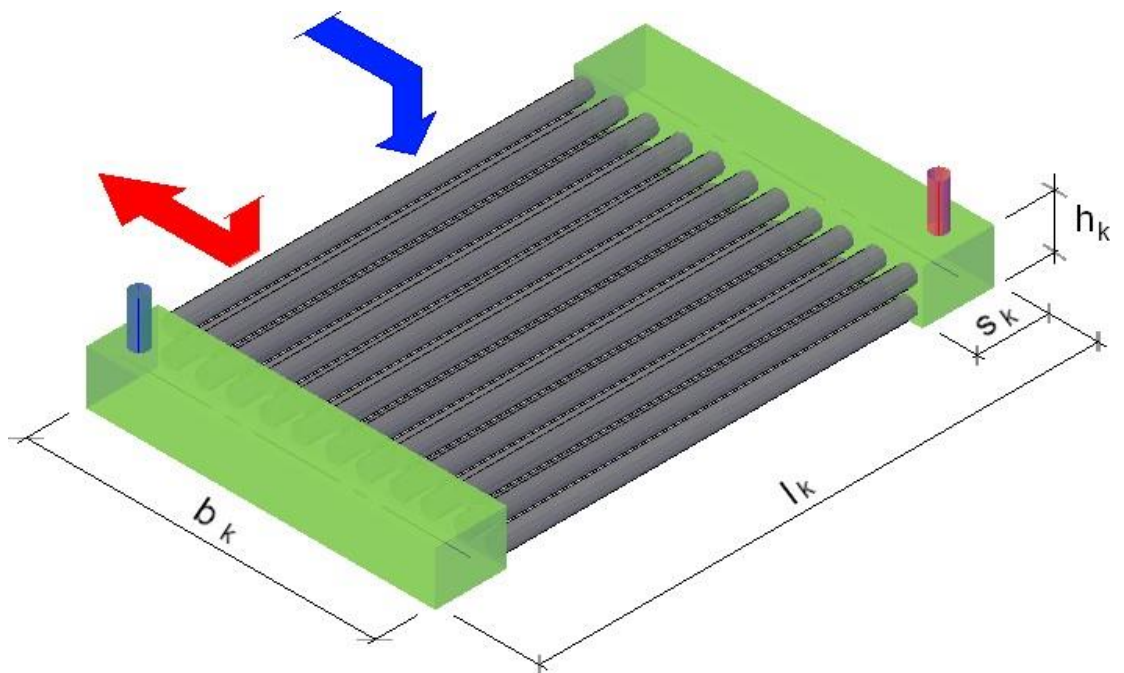
Нижча теплотворна здатність деревини, ГДж/м ³						
Вологість, %	бук, дуб	береза	осика, тополя	модрина	сосна, вільха	ялина, ялиця
0	10,83	9,69	6,65	8,74	7,98	7,60
15	10,59	9,47	6,50	8,55	7,80	7,43
20	10,49	9,38	6,44	8,46	7,73	7,36
25	10,37	9,28	6,37	8,37	7,64	7,28
30	10,24	9,17	6,29	8,27	7,55	7,19
35	10,09	9,03	6,20	8,15	7,44	7,08
40	9,92	8,87	6,09	8,00	7,31	6,96
45	9,71	8,69	5,96	7,84	7,16	6,81
50	9,46	8,47	5,81	7,64	6,97	6,64
55	9,17	8,19	5,62	7,39	6,75	6,43
60	8,78	7,85	5,39	7,08	6,47	6,16

Додаток 18. Варіанти конструкції багатошарових огорожень стаціонарних та збірнометалевих сушильних камер [6]



- 1 – цегла; 2 – теплоізоляція (вата мінеральна); 3 – залізобетон; 4 – склотканина; 5 – пінобетон; 6, 9 – алюмінієва обшивка; 7 – азбест; 8 – каркас; 10 – обшивка зовнішня; 11 – плита залізобетонна; 12 – шлак

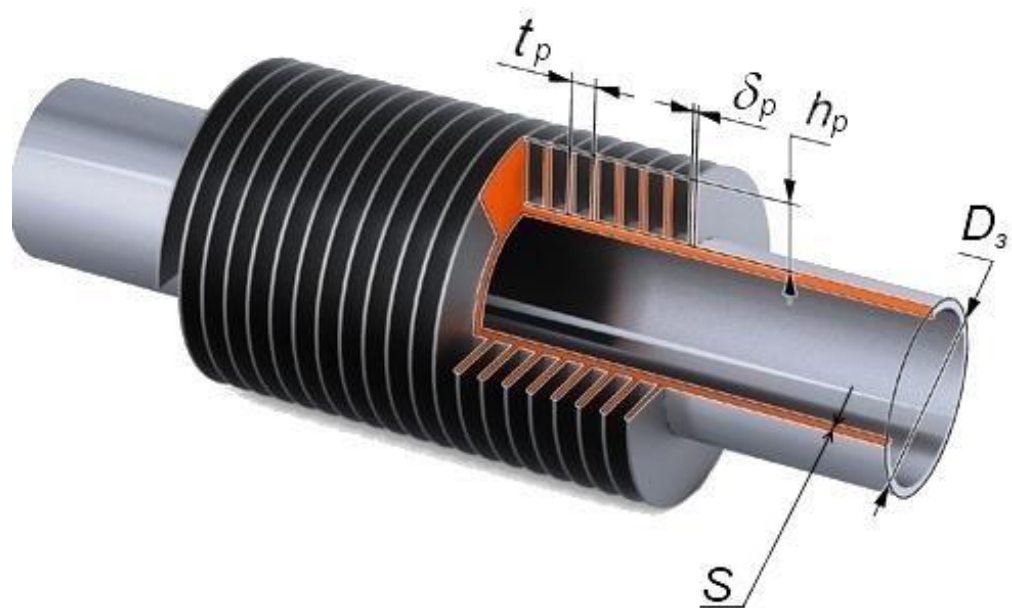
Додаток 19. Конструкція біметалевих водяних калориферів



b_k - ширина калорифера, м; l_k - довжина калорифера, м;

h_k - висота (товщина) калорифера, м; s_k - ширина колектора, мм.

Оребрена труба



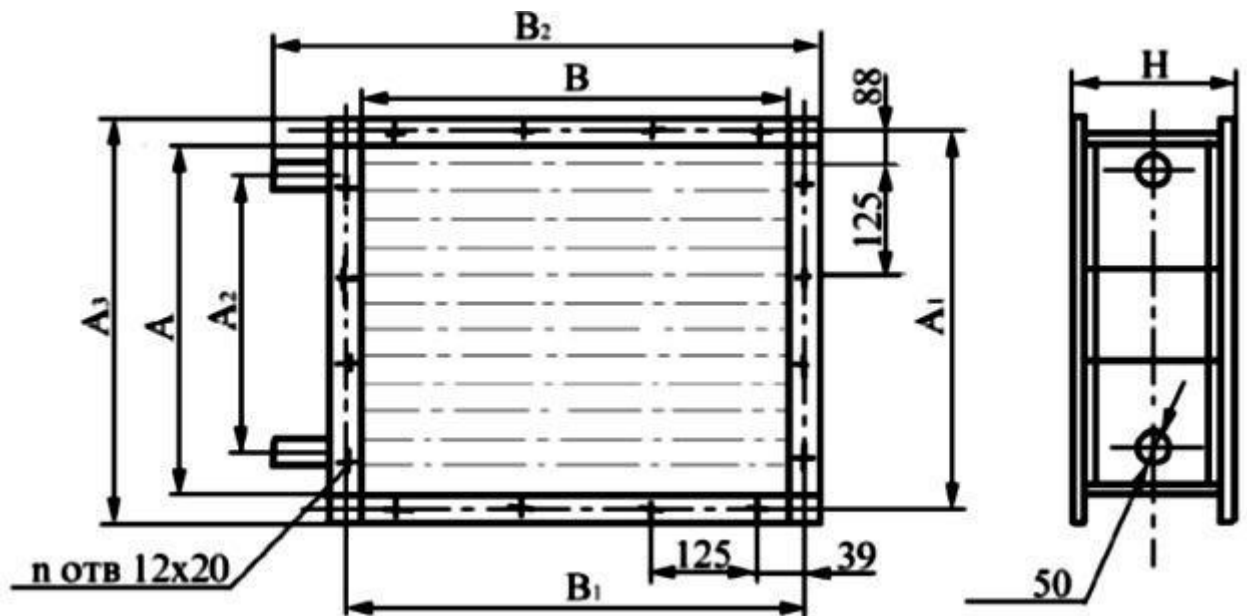
$d_{з.ов.}$ - зовнішній діаметр несучої (внутрішньої) труби, мм; h_p - висота ребра, мм;
 δ_p - товщина ребра, мм; t_p - крок ребер, мм; S -товщина стінки несучої труби, мм.

Додаток 20. Розміри та технічна характеристика біметалевих водяних калориферів для сушильних камер (параметри оребреної труби: зовнішній діаметр несучої труби - $d_{\text{зов.}}=26$ мм; висота ребра - $h_p=15$ мм; товщина ребра - $\delta_p=0,3$ мм; крок ребер - $t_p=2,5$ мм)

Розміри калорифера, $l_k, x, b_k, x, h_k, \text{ м}$	Кількість труб в одному ряді, $n_{\text{тр. шт.}}$	Ширина колектора, $S_{\text{кол.}}, \text{ мм}$	Площа поверхні нагрівання, $F, \text{ м}^2$	Гідрравлічний опір, Па, при швидкості руху теплоносія в трубах калорифера, м/с				
				0,15	0,3	0,6	1,0	
Двохрядні калорифери								
3,0x1,2x0,12	19	120	204,79	2226,8	8907,1	35628,5	98968,0	
3,0x1,1x0,12	17	120	186,98	1992,4	7969,5	31878,1	88550,0	
3,0x1,0 x0,12	16	120	167,95	1875,2	7500,7	30002,9	83341,0	
3,0x0,9 x0,12	14	110	152,46	1640,8	6563,1	26252,6	72924,0	
3,0x0,8 x0,12	12	110	134,52	1406,4	5625,5	22502,2	62506,0	
3,0x0,7 x0,12	11	100	117,43	1289,2	5156,8	20627,0	57297,0	
3,0x0,6 x0,12	9	100	99,36	1054,8	4219,2	16876,6	46880,0	
2,5x1,2x0,12	19	110	169,17	1855,7	7422,6	29690,4	82473,0	
2,5x1,1x0,12	17	110	154,46	1660,3	6641,3	26565,1	73792,0	
2,5x1,0x0,12	16	100	140,98	1562,7	6250,6	25002,4	69451,0	
2,5x0,9x0,12	14	100	126,14	1367,3	5469,3	21877,1	60770,0	
2,5x0,8x0,12	12	90	112,26	1172,0	4688,0	18751,8	52088,0	
2,5x0,7x0,12	11	90	97,30	1074,3	4297,3	17189,2	47748,0	
2,5x0,6x0,12	9	90	82,32	879,0	5316,0	14063,9	39066,0	
2,0x1,2x0,12	19	110	132,07	1484,5	5938,1	23752,3	65979,0	
2,0x1,1x0,12	17	110	120,59	1328,3	5313,0	21252,1	59034,0	
2,0x1,0x0,12	16	100	110,33	1250,1	5000,5	20002,0	55561,0	
2,0x0,9x0,12	14	100	98,71	1093,9	4375,4	17501,7	48616,0	
2,0x0,8x0,12	12	90	87,59	937,6	3750,4	15001,5	41671,0	
2,0x0,7x0,12	11	90	76,33	859,5	3437,8	13751,3	38198,0	
2,0x0,6x0,12	9	90	64,58	703,2	2812,8	11251,1	31253,0	
1,7x1,0x0,12	16	100	91,94	1062,6	4250,4	17001,7	47227,0	
1,7x0,9x0,12	14	100	82,26	929,8	3719,1	14876,5	41323,0	
1,7x0,8x0,12	12	90	73,55	797,0	3187,8	12751,2	35420,0	
1,7x0,7x0,12	11	90	63,75	730,5	2922,2	11688,6	32468,0	
1,7x0,6x0,12	9	80	54,65	597,5	2390,9	9563,4	26565,0	
1,2x0,8x0,12	12	80	53,42	562,6	2250,2	9000,9	25002,0	
1,2x0,7x0,12	11	80	46,30	515,7	2062,7	8250,8	22919,0	

Додаток 21. Розміри біметалевих водяних калориферів ПНВ 113 (ВН)

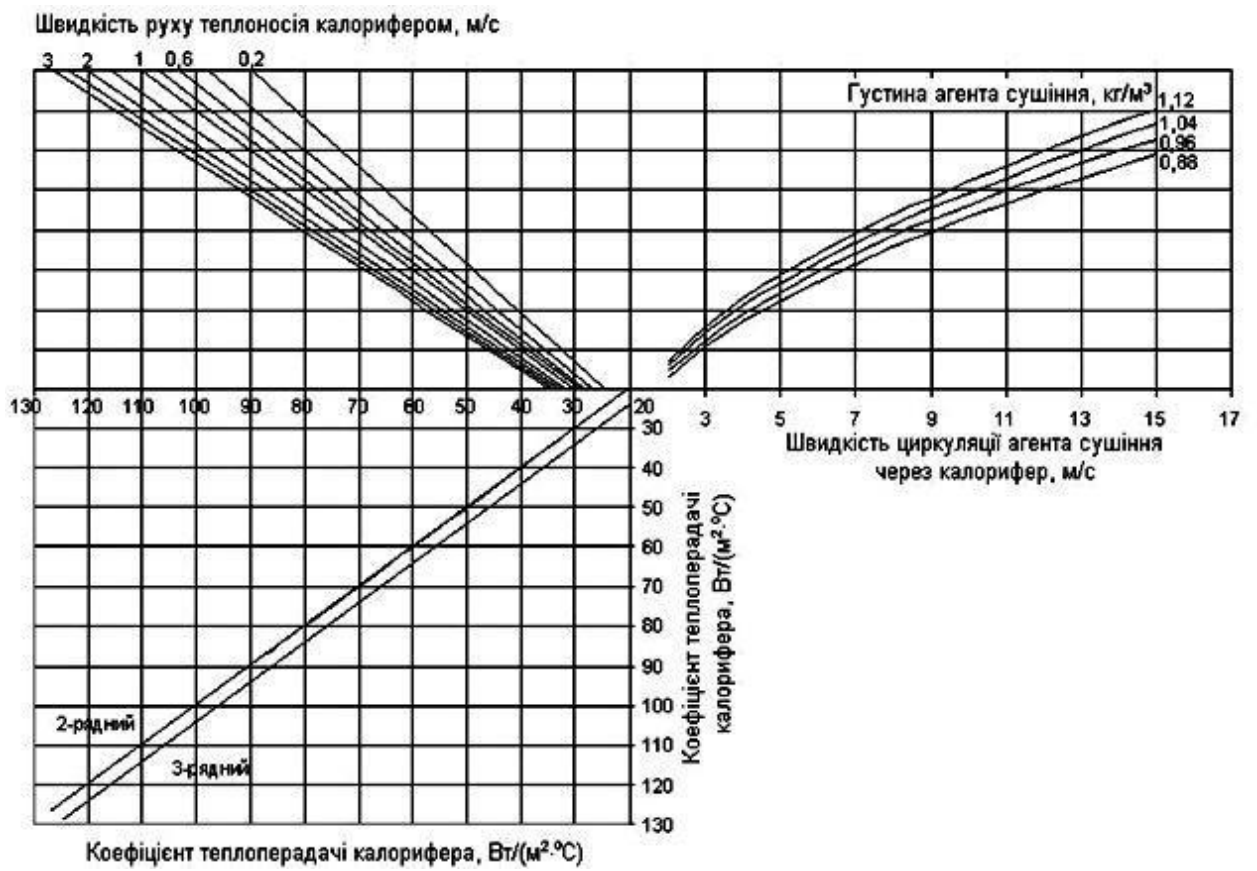
№ калорифера	Розміри, мм							Кільк. трубок у калориф., шт.
	A	A ₁	A ₂	A ₃	B	B ₁	B ₂	
02-01м (06)	503	551	424	583	530	578	710	18
03-01 (07)	503	551	424	583	655	703	835	20
04-01 (08)	503	551	424	583	780	828	960	22
05-01м (09)	503	551	424	583	905	953	1085	24
06-01 (10)	503	551	424	583	1155	1203	1335	28
10-01 (11)	1003	1051	914	1083	1655	1703	1835	44
12-01 (12)	1503	1551	1414	1083	1655	1703	1835	52



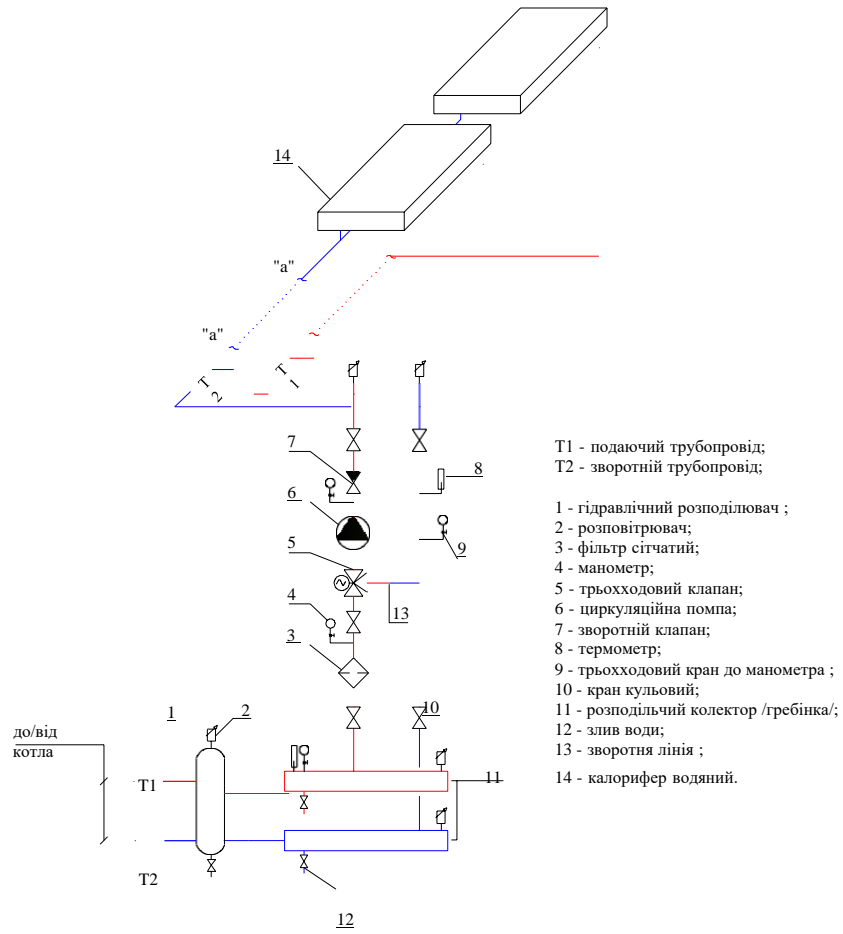
**Додаток 22. Технічні характеристики біметалевих водяних калориферів
ПНВ 113 (ВН)**

Марка калорифера	Площа поверхні, F м ²	Площа перет. по повітрю, $F_{ф.н}$ м ²	Площа прох. теплоносія, F_w м ²	Продуктивність			Витрата теплоносія G_w кг/год		Гідравлічний опір		Коеф. гідравліч. опору, B
				по теплу, Q кВт		по повітрю, Z_n м ³ /год	95/75	150/70	95/75	150/70	
				95/75	150/70						
<i>Двохрядні калорифери</i>											
ПНВ113-202-01м (ВН2-06)	10,0	0,267	0,00102	35,4	40,3	2500	1205,7	428,4	997,4	126,8	8380
ПНВ113-203-01 (ВН2-07)	12,4	0,329	0,00102	45,2	51,5	3150	1539,1	546,8	1753,6	222,3	9017
ПНВ113-204-01 (ВН2-08)	14,8	0,392	0,00102	57,4	65,3	4000	1953,1	694,1	3017,0	382,3	9655
ПНВ113-205-01м (ВН2-09)	17,16	0,455	0,00102	71,2	81,0	5000	2422,2	860,7	4957,0	622,8	10292
ПНВ113-206-01 (ВН2-10)	21,9	0,581	0,00102	92,5	105,3	6300	3146,6	1118,9	9390,0	1184,5	11567
ПНВ113-210-01 (ВН2-11)	61,7	1,660	0,00203	256,0	291,9	16000	8707,7	3103,5	30838,1	3924,6	19642
ПНВ113-212-01 (ВН2-12)	92,6	2,488	0,00305	394,0	449,2	25000	13404,2	4775,4	47702,2	6042,8	28934
<i>Трьохрядні калорифери</i>											
ПНВ113-302-01м (ВН3-06)	13,8	0,267	0,00140	44,1	50,3	2500	1499,0	534,3	1033,5	130,0	10549
ПНВ113-303-01 (ВН3-07)	17,07	0,329	0,00140	56,7	64,7	3150	1929,0	688,0	1807,9	232,0	11187
ПНВ113-304-01 (ВН3-08)	20,3	0,392	0,00140	71,7	82,1	4000	2438,6	869,7	3063,4	391,7	11824
ПНВ113-305-01м (ВН3-09)	23,6	0,455	0,00140	89,1	101,6	5000	3029,0	1080,1	4977,6	630,9	12462
ПНВ113-306-01 (ВН3-10)	30,1	0,581	0,00140	115,7	132,1	6300	3936,0	1404,8	9259,3	1179,3	13737
ПНВ113-310-01 (ВН3-11)	84,9	1,660	0,00280	318,3	364,5	16000	10828,0	3875,3	36945,8	4722,5	28934
ПНВ113-312-01 (ВН3-12)	131,2	2,488	0,00432	502,0	575,1	25000	17078,3	6114,3	64788,3	8283,9	48566
<i>Чотирьохрядні калорифери</i>											
ПНВ113-402-01м (ВН4-06)	18,42	0,267	0,00187	53,9	61,8	2500	1834,3	656,6	1038,5	133,8	12608
ПНВ113-403-01 (ВН4-07)	22,77	0,329	0,00187	69,3	79,5	3150	2358,3	845,1	1793,7	230,8	13245
ПНВ113-404-01 (ВН4-08)	27,1	0,392	0,00187	87,8	100,7	4000	2987,4	1070,4	3027,7	387,2	13883
ПНВ113-405-01м (ВН4-09)	31,5	0,455	0,00187	109,2	125,2	5000	3714,6	1330,7	4884,5	628,2	14520
ПНВ113-406-01 (ВН4-10)	40,15	0,581	0,00187	141,7	162,6	6300	4820,9	1729,1	8955,9	1151,5	15795
ПНВ113-410-01 (ВН4-11)	113,2	1,660	0,00373	387,4	446,0	16000	13178,7	4741,4	39007,6	5041,2	36626

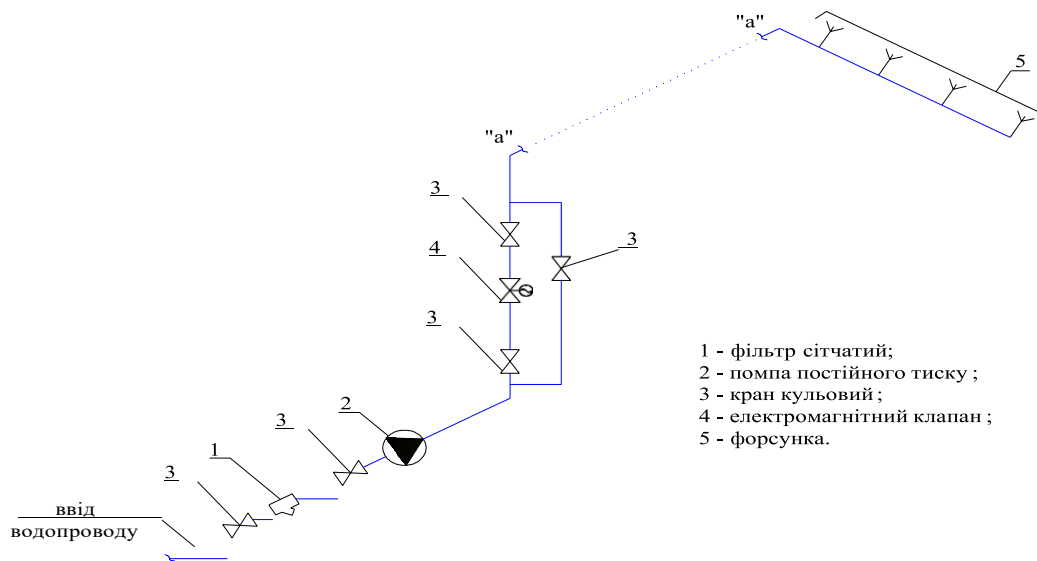
Додаток 23. Номограма для визначення коефіцієнта теплопередачі біметалевого водяного калорифера



Додаток 24. Принципова схема теплопостачання сушильної камери



Додаток 24 а. Принципова схема зволожувальної системи сушильної камери



Додаток 25. Опір елементів теплової мережі

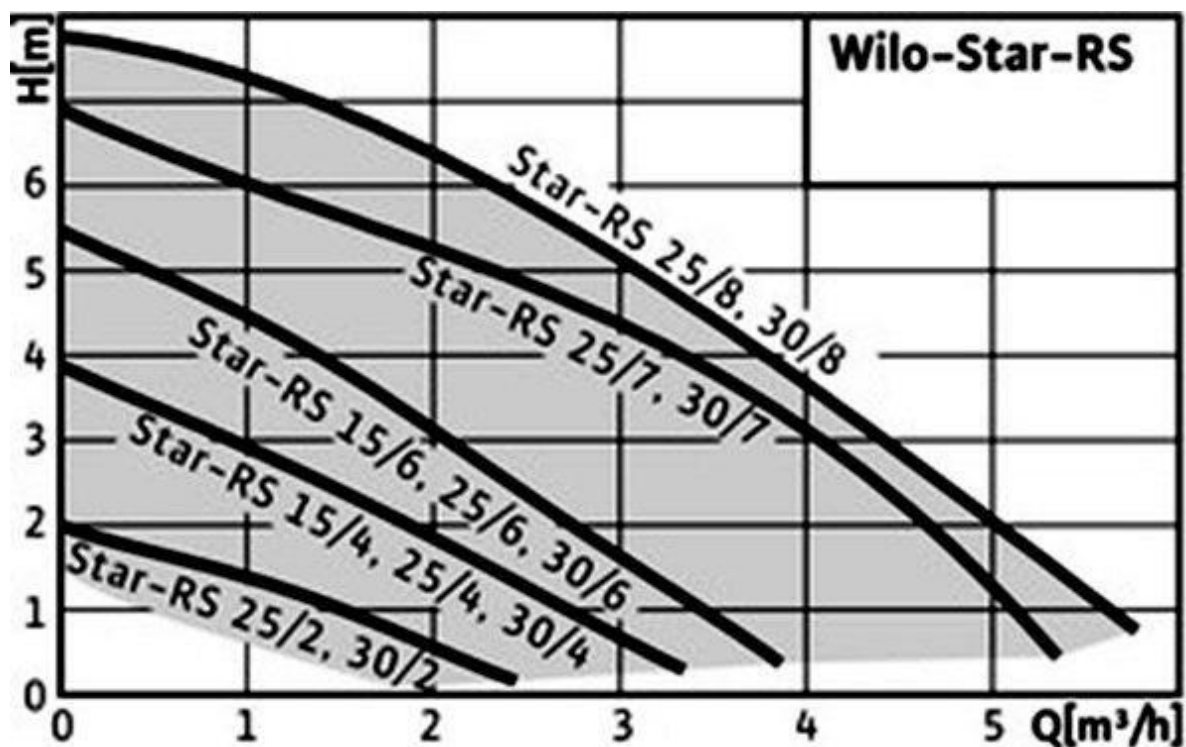
Елементи теплової мережі	Гідравлічний опір, Па, при діаметрі трубопроводу, мм/"				
	25/1"	32/1 ¹ / ₄ "	40/1 ¹ / ₂ "	50/2"	65/2 ¹ / ₂ "
Швидкість руху теплоносія 0,4-0,8 м/с					
Кульовий кран	700	850	900	1000	1300
Сітчатий фільтр	10800	11800	12800	13000	14000
Зворотний клапан	4500	5200	6400	6700	7000
Трьохходовий клапан	9500	10200	12400	13100	13700
Трійник	2600	3100	3800	4300	5100
Поворот 90°	1100	1200	1400	1600	2000
Швидкість руху теплоносія 0,9-1,2 м/с					
Кульовий кран	900	1000	1100	1300	1600
Сітчатий фільтр	11300	12400	13500	14000	16000
Зворотний клапан	5400	6200	7000	7300	8000
Трьохходовий клапан	10400	11200	13100	14500	15800
Трійник	4500	5800	6700	7700	8400
Поворот 90°	1700	2300	2700	3200	3900
Швидкість руху теплоносія 1,3-1,6 м/с					
Кульовий кран	1100	1300	1400	1600	2000
Сітчатий фільтр	12000	14000	15000	16000	17000
Зворотний клапан	6200	7100	7600	8100	8700
Трьохходовий клапан	12700	14100	16800	18400	20000
Трійник	6200	7700	9100	10800	12400
Поворот 90°	2500	3400	4100	5500	6700

Примітка: Приведені середньозважені дані орієнтовного характеру

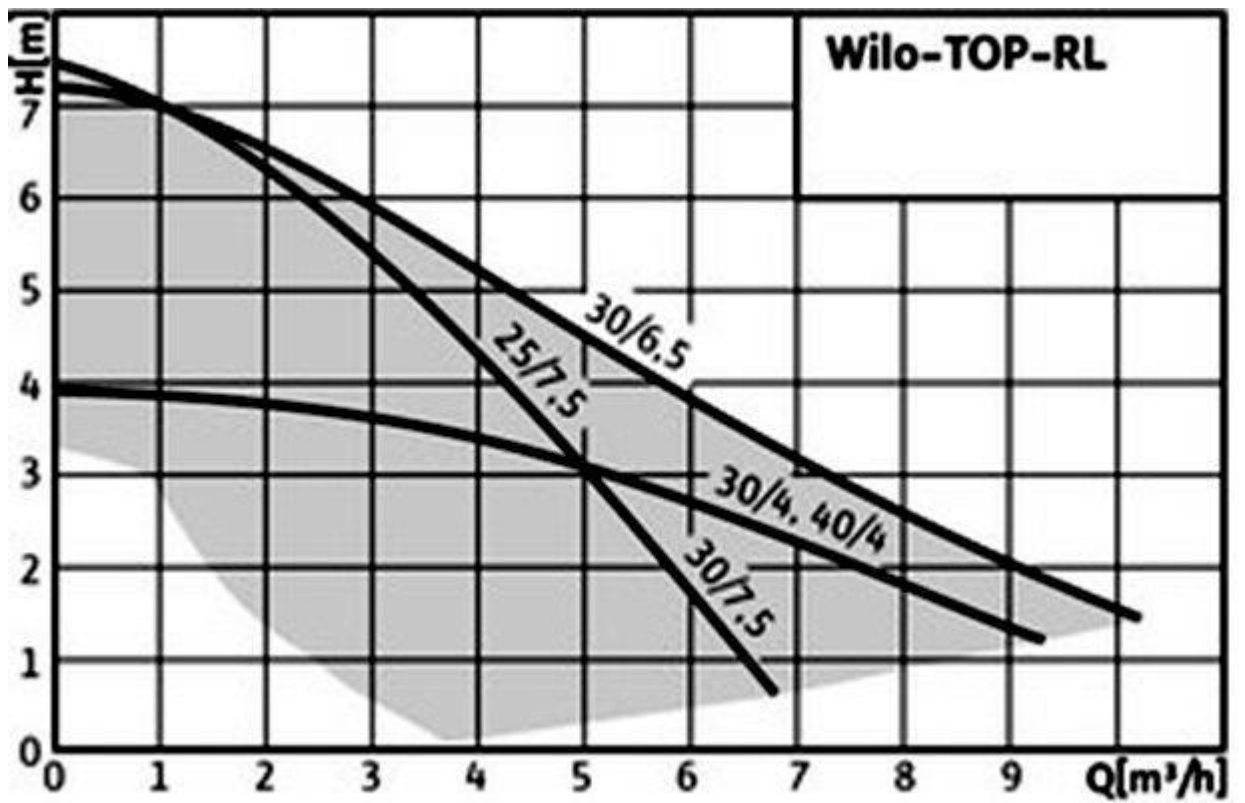
Додаток 26. Технічна характеристика циркуляційних pomp Wilo
(температура теплоносія до +110°С)

Марка	Діаметр під'єднання (Р-різьба, Ф-фланець) мм/ "	Максимальна продуктивність, м ³ /год	Максимальний напір, м	Напруга живлення, В	Потужність, кВт
Star-RS 25/4	Р 25/ 1"	3,5	4,0	220	0,03-0,06
Star-RS 30/7	Р 30/ 1 ¹ / ₄ "	5,0	7,0	220	0,05-0,14
TOP-RL 30/4	Р 30/ 1 ¹ / ₄ "	9,0	4,0	220	0,08-0,18
TOP-RL 30/7,5	Р 30/ 1 ¹ / ₄ "	6,5	7,5	220	0,12-0,20
Top-S 30/7	Ф/Р 30/ 1 ¹ / ₄ "	7,5	7,0	400	0,10-0,20
Top-S 30/10	Ф/Р 30/ 1 ¹ / ₄ "	10,0	11,5	400	0,18-0,40
Top-S 40/4	Ф/Р 40/ 1 ¹ / ₂ "	14,0	4,5	400	0,12-0,20
TOP-S 40/7	Ф/Р 40/ 1 ¹ / ₂ "	14,5	7,0	400	0,25-0,40
TOP-S 50/7	Ф 50/ 2"	28,0	7,0	400	0,40-0,65
TOP-S 65/7	Ф65/ 2 ¹ / ₂ "	32,0	7,0	400	0,45-0,85

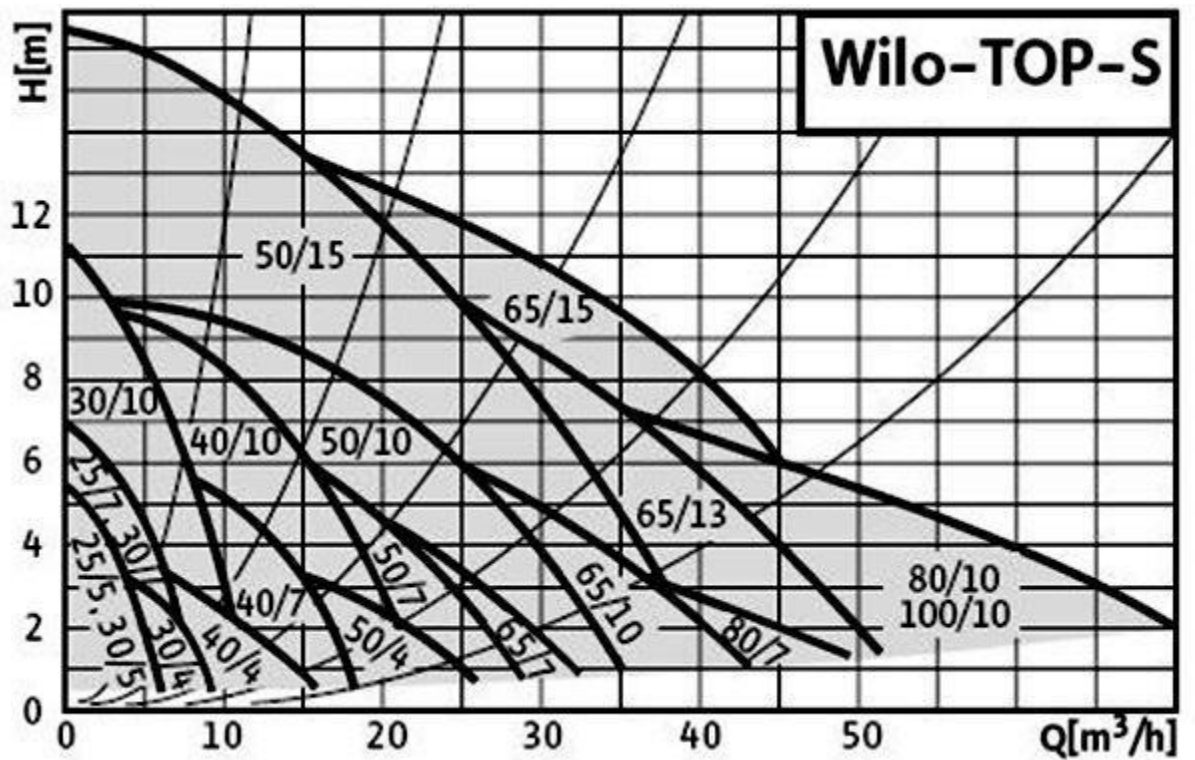
Додаток 27. Робочі характеристики циркуляційних pomp WILO - Star-RS



Додаток 28. Робочі характеристики циркуляційних pomp WILO - TOP-RL



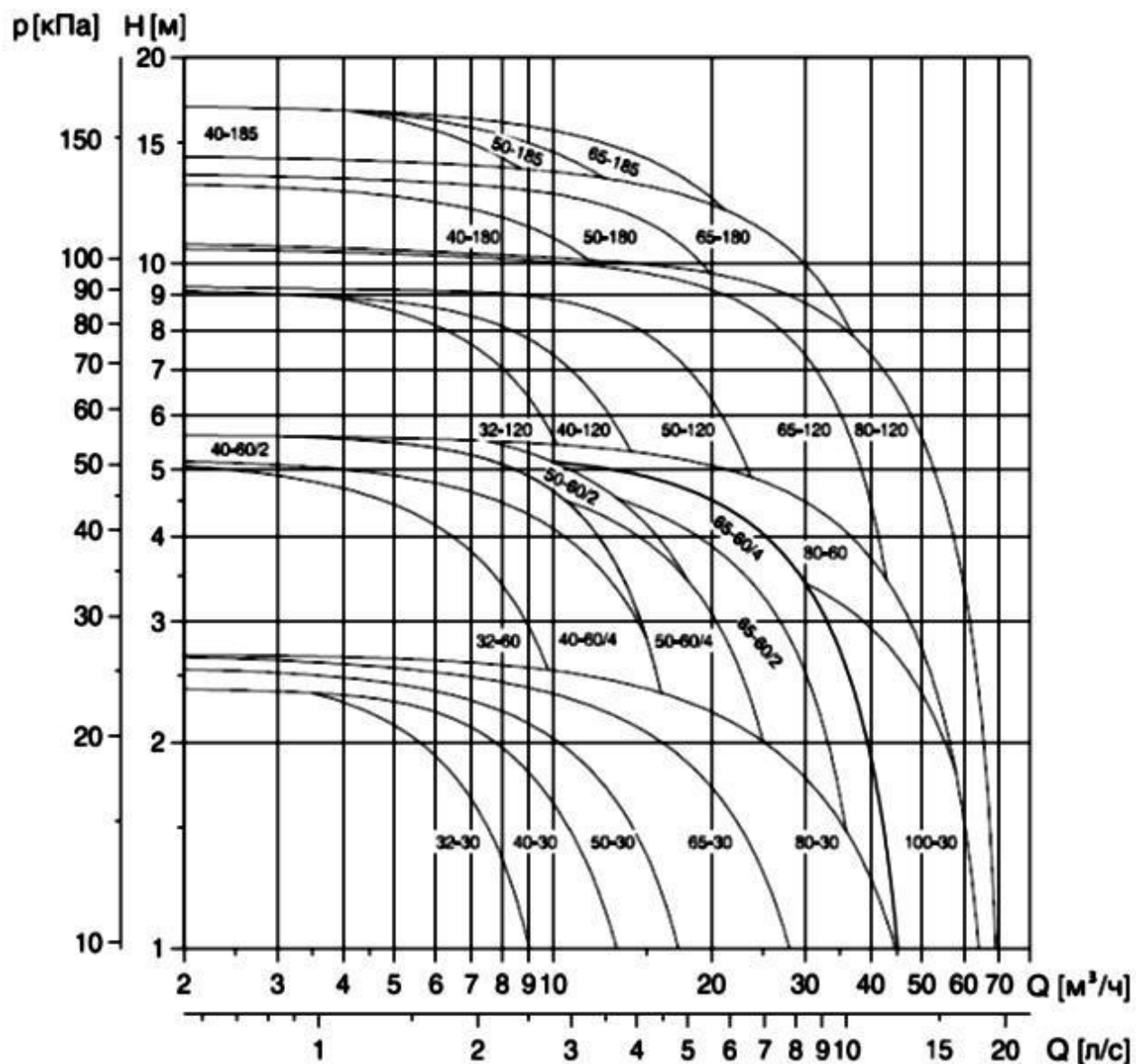
Додаток 29. Робочі характеристики циркуляційних pomp WILO - TOP-S



Додаток 30. Технічна характеристика циркуляційних pomp **GRUNDFOS**
серія 200 (температура теплоносія до +120°С)

Марка	Діаметр під'єднання (Р-різьба, Ф-фланець) мм/ "	Максимальна продуктивність, м ³ /год	Максимальний напір, м	Напруга живлення, В	Потужність, кВт
UPS 32-30	Р/Ф 30/ 1 ¹ /"	3,0	3,0	220	0,06-0,115
UPS 32-60	Р/Ф 30/ 1.25"	6,5	6,0	400	0,11-0,185
UPS 32-120	Р/Ф 30/ 1.25"	10,0	12,0	400	0,22-0,40
UPS 40-30	Ф 40/ 1.75"	14,0	3,0	220	0,07-0,14
UPS 40-60	Ф 40/ 1.75"	18,0	6,0	400	0,15-0,32
UPS 40-120	Ф 40/ 1.75"	10,0	12,0	400	0,28-0,46
UPS 50-60	Ф 50/ 2.0"	14,0	6,0	400	0,28-0,43
UPS 50-120	Ф 50/ 2.0"	14,5	12,0	400	0,55-0,72
UPS 65-60	Ф 65/ 2.75"	28,0	6,0	400	0,40-0,66
UPS 65-120	Ф65/ 2.75"	32,0	12,0	400	0,75-1,15

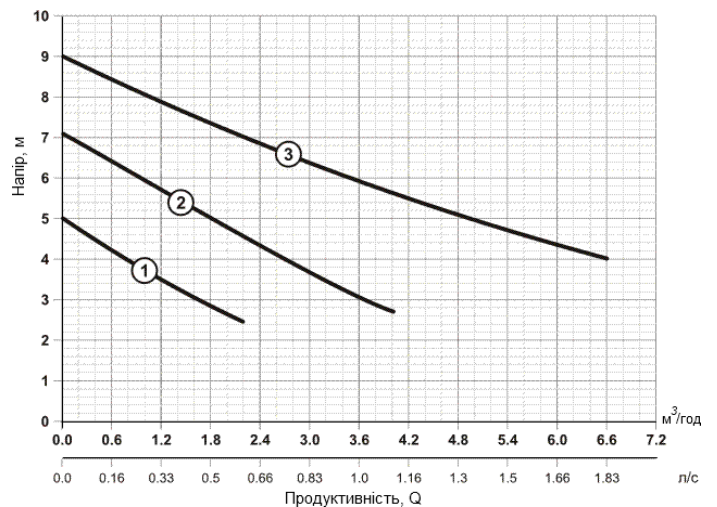
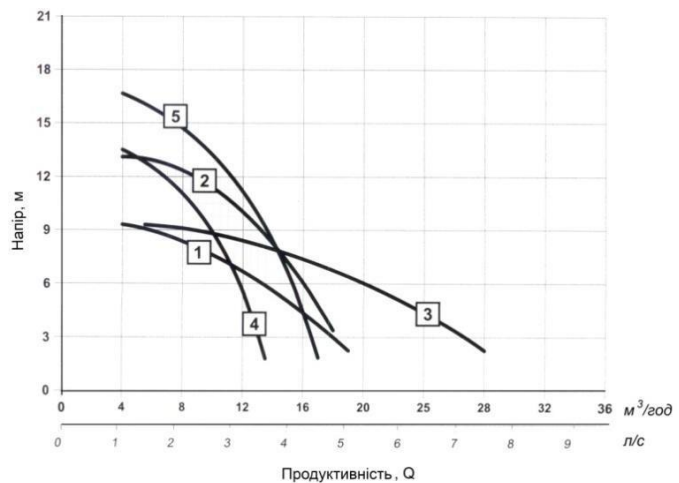
Додаток 31. Робочі характеристики циркуляційних pomp GRUNDFOS-UPS
серія 200



Додаток 32. Технічна характеристика циркуляційних pomp **SPRUT** серія GPD (температура теплоносія до +110°С)

Марка	Діаметр під'єднання (Р-різьба, Ф-фланець) мм/ "	Максимальна продуктивність, м ³ /год	Максимальний напір, м	Напруга живлення, В	Потужність, кВт
LRS 25-8S (1-3)	P 32/ 1.5"	6,6	8,4	220	0,165
GPD 8-8-400 (1)	Ф 32/ 1.25"	19,0	9,0	220/400	0,4
GPD 8-12,5-600 (2)	Ф 40/1.75"	18,0	13,75	220/400	0,6
GPD 12,5-8-600 (3)	Ф 50/2"	28,0	9,2	220/400	0,6
GPD 13-14-550 (4)	Ф 50/2"	13,5	13,0	220/400	0,55
GPD 16-17-750 (5)	Ф 50/2"	17,0	16,5	220/400	0,75

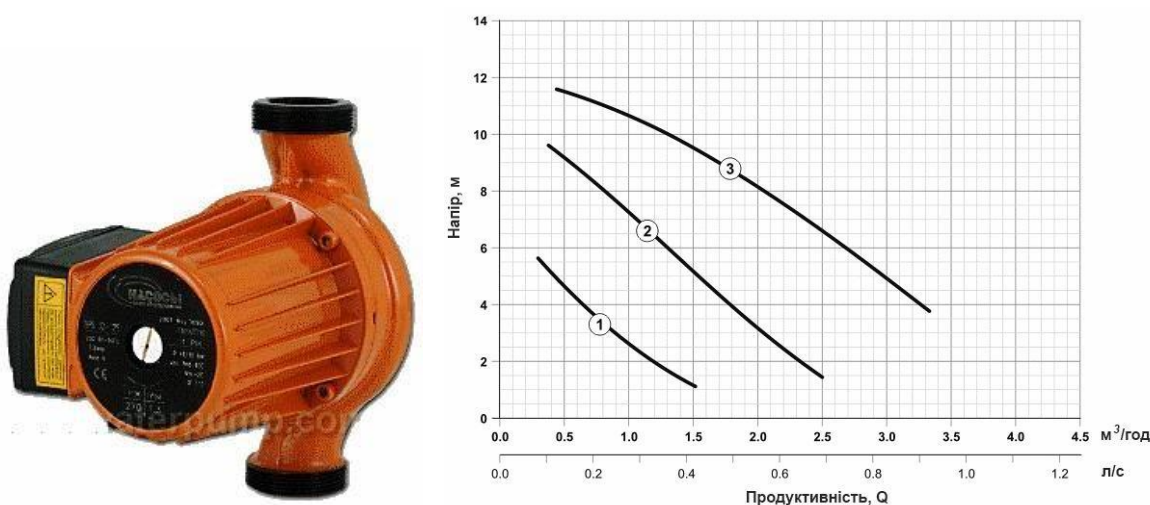
Додаток 33. Робочі характеристики циркуляційних pomp **SPRUT**



Додаток 34. Технічна характеристика циркуляційних pomp **НАСОСЫ+** серія GPD (температура теплоносія до +110°С)

Марка	Діаметр під'єднання (Р-різьба, Ф-фланець) мм/ "	Максимальна продуктивність, м ³ /год	Максимальний напір, м	Напруга живлення, В	Потужність, кВт
BPS 32-12S	Р 50/ 2"	3,3	12	220	0,270

Додаток 35. Робочі характеристики циркуляційних pomp **НАСОСЫ+**



Додаток 36. Коефіцієнт місцевого опору Ψ для коліна (поворот потоку без заокруглень) [16]

Кут повороту, град.	90	120	135	150
Коефіцієнт місцевого опору Ψ	1,10	0,55	0,25	0,20

Додаток 37. Коефіцієнт місцевого опору Ψ для раптового звуження потоку (вхід в штабель). Визначається за швидкістю в меншій перетині [16]

f/F^*	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Коефіцієнт місцевого опору Ψ	0,29	0,25	0,18	0,13	0,08	0,04	0,01	0,00

Примітка: * f – площа звуженої частини каналу; F – площа розширеної частини каналу.

Додаток 38. Коефіцієнт місцевого опору Ψ для раптового розширення потоку (вихід з штабеля). Визначається за швидкістю в меншому перетині [16]

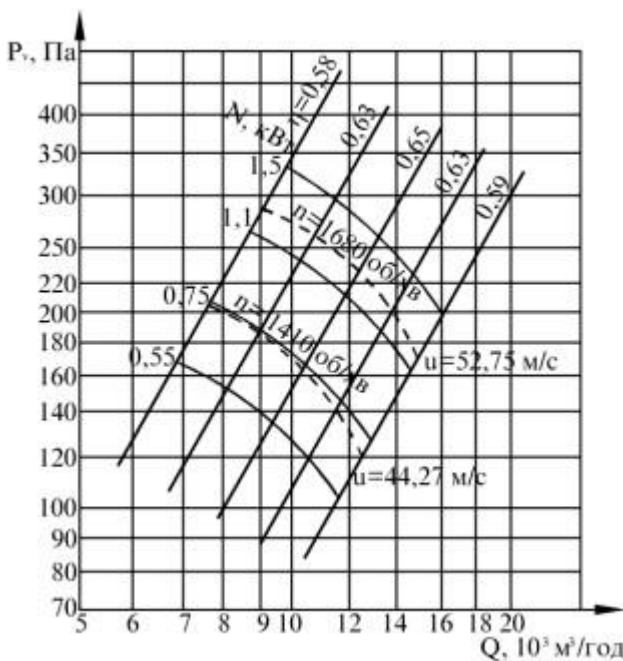
f/F^*	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Коефіцієнт місцевого опору Ψ	0,81	0,64	0,48	0,36	0,25	0,16	0,10	0,01

Примітка: * f – площа звуженої частини каналу; F – площа розширеної частини каналу.

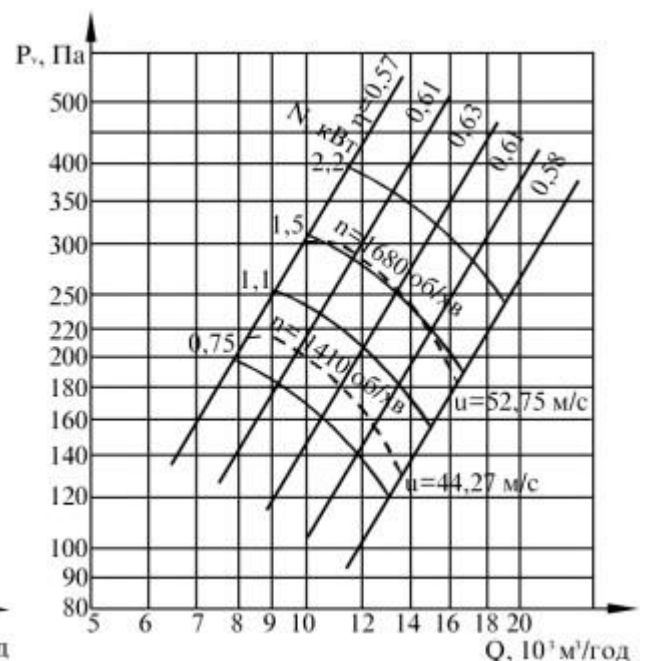
Додаток 39. Коефіцієнт місцевого опору Ψ для штабеля шириною 1,1...1,4 м [5;7;16]

Товщина прокладок, мм	Коефіцієнт місцевого опору Ψ при товщині дощок, мм							
	8	16	19	22	25	32	40	50
10	9,1							
20		8,8	10,2	11,4	12,2			
25					11,5	15,2	20,0	26,0
32						12,0	16,0	20,0

Додаток 40. Аеродинамічні характеристики осьових вентиляторів серії ВО [11]

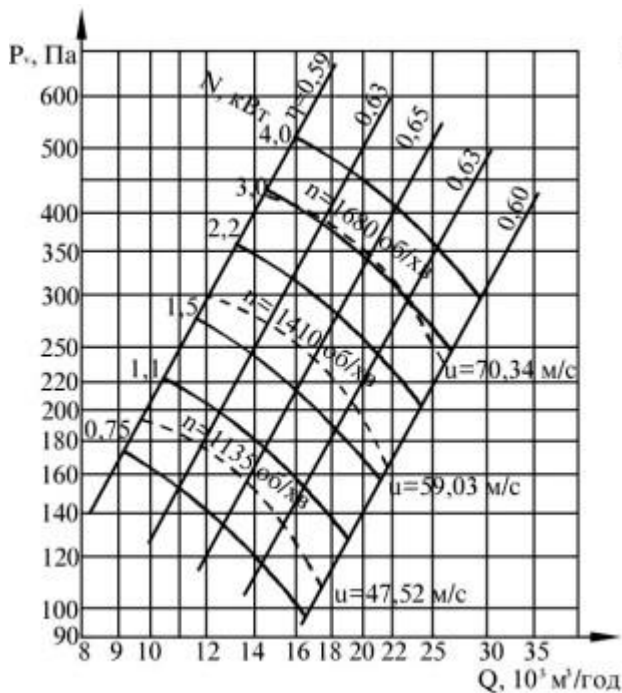


ВО №6Р (Q=27°)

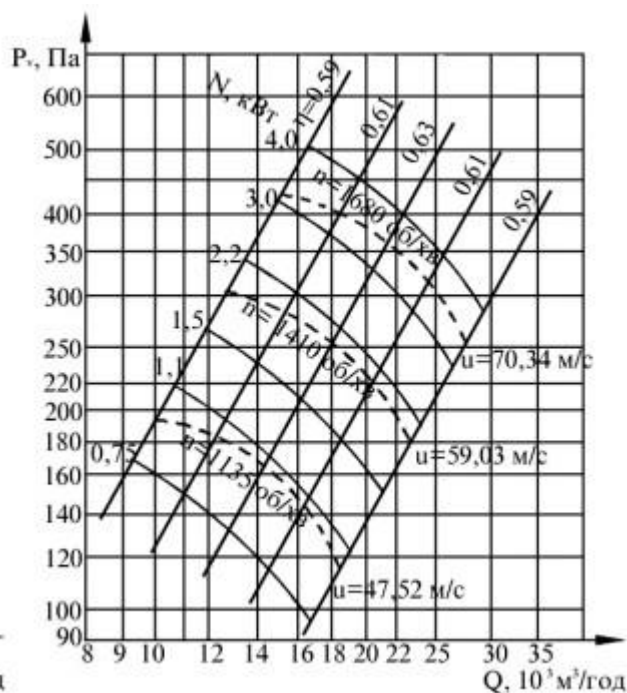


ВО №6Р (Q=32°)

Додаток 40, продовження.

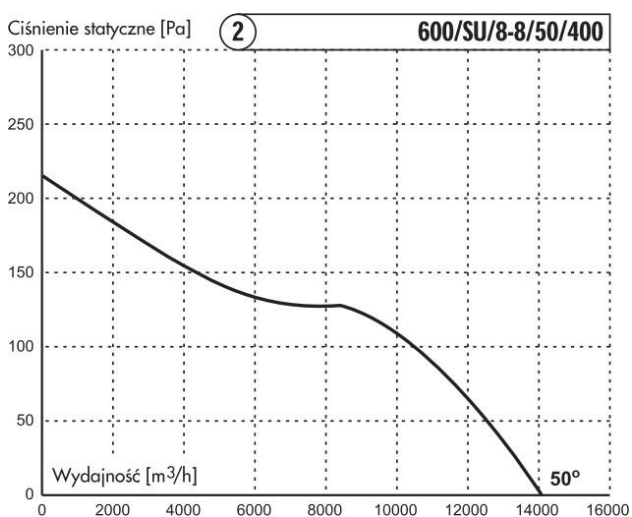


ВО №8P (Q=27°)

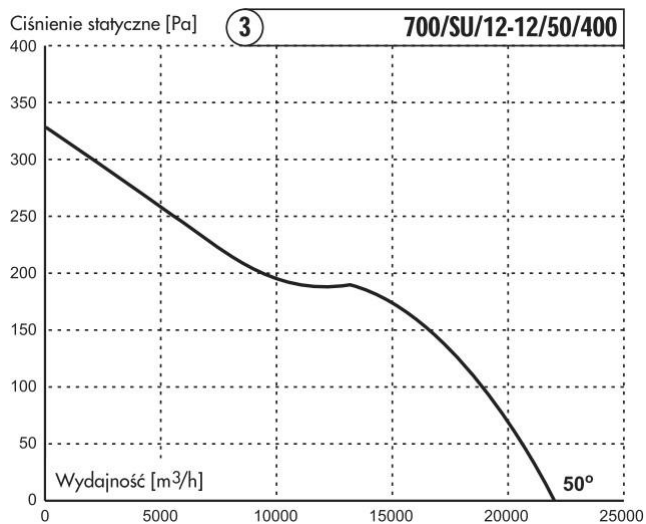


ВО №8P (Q=32°)

Додаток 41. Аеродинамічні характеристики осьових вентиляторів Deltafan [11]

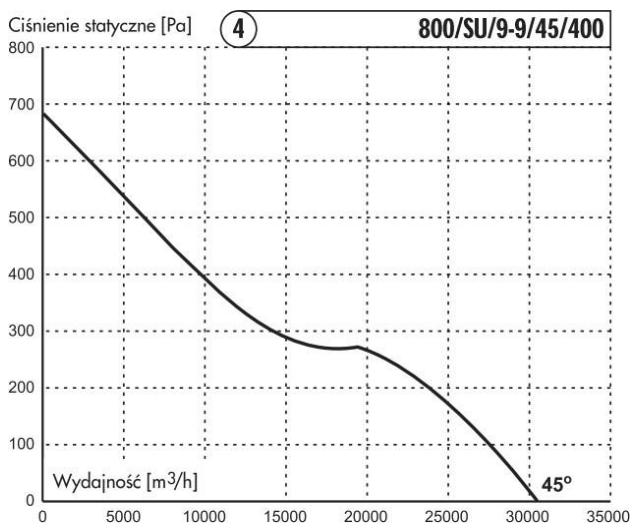
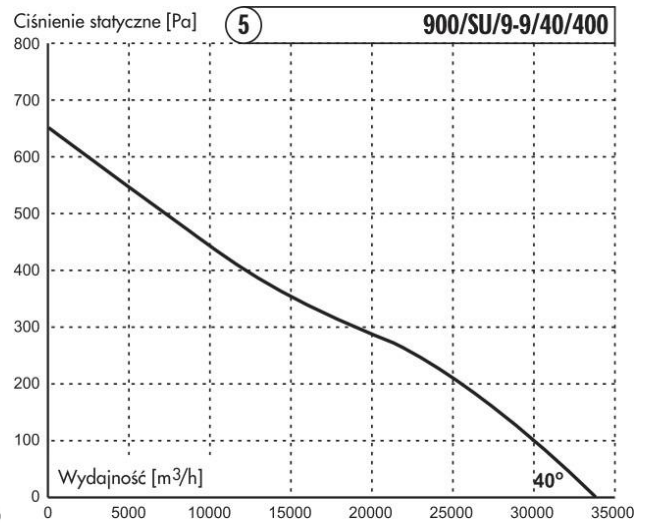


WR №6 (8-8; n=1450 хв⁻¹)



WR №7P (12-12; n=1450 хв⁻¹)

Додаток 41, продовження.

WR №8 (9-9;n=1450 хв⁻¹)WR №9P (9-9;n=1450 хв⁻¹)Додаток 42. Значення коефіцієнта запасу двигуна K_з для вентиляторів

Потужність електродвигуна, кВт	Відцентровий	Осьовий
До 0,5	1,5	1,2
Від 0,5 до 1,0	1,3	1,15
Від 1,0 до 2,0	1,2	1,1
Від 2,0 до 5,0	1,15	1,05
Більше 5,0	1,1	1,05

Додаток 43. Технічні характеристики електродвигунів фірми SIEMENS (Німеччина). Ступінь захисту IP 55, клас ізоляції FF.

Тип двигуна	Потужність, кВт	Частота обертання, хв ⁻¹	ККД, %	cosφ	I, (A)	I _{пуск./} Іном.	Маховий момент ротора, J, кг/м ²
4-х полюсний, синхронна частота обертання 1500 хв ⁻¹							
1LA7083-4AA	0,75	1395	72	0,81	1,86	4,2	0,0018
1LA7090-4AA	1,1	1415	77	0,81	2,55	4,6	0,0028
1LA7096-4AA	1,5	1420	79	0,81	3,4	5,3	0,0035
1LA7106-4AA	2,2	1420	82	0,82	4,7	5,6	0,0048
1LA7107-4AA	3,0	1420	83	0,82	6,4	5,6	0,0058
1LA7113-4AA	4,0	1440	85	0,83	8,2	6,0	0,0110
1LA7130-4AA	5,5	1445	86	0,81	11,4	6,3	0,0180
1LA7133-4AA	7,5	1455	87	0,82	15,2	6,7	0,0240

Додаток 44. Технічні характеристики електродвигунів фірми Tamei s.a. (Польща)

ступінь захисту IP 55, клас ізоляції F

Тип двигуна	Потужність, кВт	Частота обертання, хв ⁻¹	Струм статора А при напрузі 380 В			ККД, %	cosφ	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Маховий момент ротора М, кгс·м ² *
			220 В	380 В	400 В						
Синхронна частота обертання 1500 хв ⁻¹											
Sg80-4A	0,55	1390	2,75	1,60	1,50	70	0,75	4,0	2,2	2,4	0,0013
Sg80-4B	0,75	1385	3,4	1,95	1,90	74	0,78	4,3	2,3	2,6	0,0019
Sg90S-4	1,1	1415	4,9	2,8	2,7	76,2	0,80	4,7	2,1	2,4	0,0032
Sg90L-4	1,5	1420	6,3	3,6	3,4	78,5	0,80	5,3	2,4	2,7	0,0038
Sg100L-4A	2,2	1420	8,7	5,0	4,8	81	0,82	5,5	2,2	2,6	0,0067
Sg100L-4B	3,0	1415	11,8	6,8	6,5	82,7	0,81	6,0	2,6	3,0	0,0079
Sg112M-4	4,0	1445	14,8	8,6	8,1	84,5	0,84	7,2	2,3	2,7	0,0197
Sg132S-4	5,5	1450	19,7	11,4	10,9	86	0,85	7,0	2,3	2,9	0,0260
Sg132M-4	7,5	1455	26,2	15,1	14,4	87,5	0,86	7,5	2,4	3,1	0,0350
2Sg160M-4	11,0	1460	37,5	21,7	20,6	88,5	0,87	7,5	2,3	2,5	0,0600
Sg160L-4	15,0	1460	49,1	28,5	27,0	90	0,89	7,6	2,3	2,8	0,0740
Sg180M-4	18,5	1460	58,6	33,9	32,2	91	0,91	7,7	2,0	2,6	0,1200
Sg180L-4	22,0	1455	69,0	39,9	37,9	91	0,92	8,1	2,3	2,9	0,2320

Додаток 45. Діаграма визначення аеродинамічного опору при проходженні сушильного агента через калорифер.

