**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**
Факультет інженерних систем та екології
Кафедра теплогазопостачання і вентиляції

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ БАКАЛАВРА

на тему:

«Теплопостачання виробничого цеху з індивідуальним джерелом теплової енергії в м. Рівне»

Присяжнюк Олександр Миколайович

Київ 2026р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології

Кафедра теплогазопостачання і вентиляції

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри
Предун К.М.
„___” _____2026 року

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ БАКАЛАВРА

«Теплопостачання виробничого цеху з індивідуальним джерелом теплової енергії в м. Рівне»

*Я як здобувач вищої освіти КНУБА розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.*

Здобувач Присяжнюк Олександр Миколайович

192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Теплогазопостачання і вентиляція

Група ТВ-22-2

Керівник Сенчук М.П.

Доцент, кандидат технічних наук .

Рецензент .

*Ідентичність підтверджую*

Київ 2026р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: інженерних систем та екології_____
Випускова кафедра: Теплогазопостачання і вентиляції_____
Ступінь вищої освіти: Бакалавр_____
Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»_____
Освітня програма: Теплогазопостачання і вентиляція_____

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Предун К.М.
„___”_____2026 року

**З А В Д А Н Н Я**
**ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
**ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ БАКАЛАВРА**

Присяжнюка Олександра Миколайовича

1. Тема роботи «Теплопостачання виробничого цеху з індивідуальним джерелом теплової енергії в м. Рівне»
затверджена наказом ректора КНУБА № ___від «__»_____2026 року
2. Керівник роботи: Сенчук Михайло Петрович, кандидат технічних наук, доцент
3. Термін подання здобувачем роботи до захисту 24 червня 2026 р.____
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р. 1. Вихідні дані до проєктування
Р. 2. Теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій
Р. 3. Тепловий режим будівель
Р. 4. Проєктування систем опалення приміщень
Р. 5. Проєктування індивідуальної котельні на біопаливі
Р. 6. Технології та організації монтажу інженерних систем
Р. 7. Охорона праці та навколишнього середовища

*Закінчення Завдання*

5. Графічний матеріал за розділами

Р. 4. Проєктування системи опалення виробничих приміщень

Р. 5. Проєктування індивідуальної котельні на біопаливі

Р. 6. Технології та організація монтажу інженерних систем

6. Консультанти розділів кваліфікаційної випускної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Перевірив | |
|---|---|---|---|
| | | дата | підпис |
| Розділи 1-6. | Сенчук М.П., доцент | | |
| Розділ 7. | Клімова І.В., доцент | | |

7. Календарний план виконання роботи:

| Види робіт та їх зміст | Дата виконання |
|---|---|
| Розділ 1. Вихідні дані до проєктування | |
| Розділ 2. Теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій | |
| Розділ 3. Тепловий режим будівель | |
| Розділ 4. Проєктування систем опалення приміщень | |
| Розділ 5. Проєктування індивідуальної котельні на біопаливі | |
| Розділ 6. Технології та організації монтажу інженерних систем | |
| Розділ 7. Охорона праці та навколишнього середовища | |
| Остаточне оформлення роботи | |
| Направлення роботи для перевірки на плагіат | |
| Попередній захист роботи на випусковій кафедрі | |
| Направлення роботи на рецензування | |

8. Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри _____ Предун К.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Сенчук М.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Здобувач _____ Присяжнюк О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали

| **РЕЗЮМЕ (SUMMARY)**<br>*до кваліфікаційної випускної роботи здобувача:* | *Присяжнюк Олександр Миколайович*<br>*Prysiazhniuk Oleksandr*<br>*(ПІБ здобувача українською та англійською)* |
|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| *ЗВО* | Київський національний університет будівництва і архітектури | | |
| *Тема*<br>*(українською та англійською)* | Теплопостачання виробничого цеху з індивідуальним джерелом теплової енергії в м. Рівне<br>Heat supply to a production workshop with it`s own heat source in Rivne | | |
| *Освітній ступінь* | Бакалавр | | |
| *Факультет* | Факультет інженерних систем та екології | | |
| *Випускова кафедра* | Теплогазопостачання і вентиляції | | |
| *Спеціальність* | 192 Будівництво та цивільна інженерія | | |
| *Освітня програма* | Теплогапостачання і вентиляція | | |
| *Керівник* | Сенчук Михайло Петрович | | |
| *Обсяг роботи:* | *пояснювальна записка, стор.* | *розділів* | *креслень формату А1* |
| | 113 | 7 | 5 |
| *Розділ 1* | Вихідні дані до проєктування | | |
| *Розділ 2* | Теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій | | |
| *Розділ 3* | Тепловий режим будівель | | |
| *Розділ 4* | Проєктування систем опалення приміщень | | |
| *Розділ 5.* | Проєктування індивідуальної котельні на біопаливі | | |
| *Розділ 6.* | Технології та організації монтажу інженерних систем | | |
| *Розділ 7.* | Охорона праці та навколишнього середовища | | |
| *Висновки по роботі:* | У дипломній роботі запроєктовано та розраховано енергоефективні системи водяного опалення, вентиляції та пилоочищення для виробничих приміщень підприємства. Забезпечено поділ системи опалення на шість окремих технологічних гілок. Для приміщень із високим виділенням пилу та ризиком займання впроваджено опалювальні регістри з гладких труб, а в зонах із великими теплонадлишками передбачено чергове опалення. Розроблено схему індивідуального теплового пункту (ІТП) з підмішувально-циркуляційними насосами та автоматичним погодозалежним регулюванням. Виконано повний гідравлічний розрахунок мереж, підібрано уніфікований типорозмір циклону для очищення відхідних газів, а також обґрунтовано комплекс заходів з охорони праці та екологічної безпеки об'єкта. | | |

| | |
|---|---|
| *Ключові слова:*<br><br>*Keywords:* | СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ, ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ТЕПЛОВИЙ ПУНКТ, ПОГОДОЗАЛЕЖНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, РЕГІСТРИ З ГЛАДКИХ ТРУБ, ЧЕРГОВЕ ОПАЛЕННЯ, ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ЦИКЛОН, ОХОРОНА ПРАЦІ.<br>HEATING SYSTEM, INDIVIDUAL HEATING POINT, WEATHER-COMPENSATED CONTROL, SMOOTH-PIPE REGISTERS, STANDBY HEATING, HYDRAULIC CALCULATION, CYCLONE, OCCUPATIONAL SAFETY. |

Здобувач: Присяжнюк О.М./ /

Керівник: Сенчук М.П./ /

“_____” ___20____

ЗМІСТ

Вступ……... 8
Розділ 1. Вихідні дані до проєктування…….. 10
1.1 Характеристика об'єкту будівництва……..……..... 11
1.2 Об'ємно-планувальні характеристики будівлі……. 11
1.3 Розрахункові параметри зовнішнього повітря……..... 12
1.4 Розрахункові параметри внітрішнього повітря……..... 12
Розділ 2. Теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій…… 14
2.1 Підбір огороджувальних конструкцій……... 15
2.2 Розрахунок теплозасвоєння підлоги на грунті……. 20
2.3 Розрахунок повітропроникності стін і вікон…… 21
Розділ 3. Теловий режим приміщень……... 25
3.1 Розрахунок тепловтрат приміщень через стіни двері та вікна…… 26
3.1.1 Розрахунок трансмісійних тепловтрат через огороджувальні конструкції……. 26
3.1.2 Розрахунок витрати теплоти на нагрівання вентиляційного повітря, обладнання, виробів і матеріалів……... 29
3.2. Розрахунок теплонадходжень приміщень…… 31
Розділ 4. Проєктування систем опалення приміщень…… 40
4.1 Розрахунок теплової потужності систем опалення…….. 41
4.2 Проєктні рішення по водяній двотрубній системі…… 42
4.3 Проєктні рішення по комбінованій системі……... 44
4.4 Гідравлічний розрахунок розподільних трубопроводів системи опалення…….. 47
4.5 Розрахунок та підбір опалювальних приладів…… 51
Розділ 5. Проєктування індивідуальної котельні на біопаливі……. 56
5.1 Вихідні дані для проєктування котельні……... 57
5.2 Проєктні рішення по котельні…… 59
5.3 Матеріальний баланс спалювання деревних пелет……..... 65
5.4 Розрахунок і підбір циклону……..... 68

Розділ 6. Технології та організації монтажу інженерних систем…….. 73
6.1 Технологія монтажу систем опалення виробничих приміщень…….. 74
6.1.1 Підготовчі роботи до монтажу систем опалення виробниць приміщень…….. 74
6.1.2 Особливості монтажу системи опалення……... 77
6.1.3 Монтаж вузла обв'язки циркуляційного насосу…… 79
6.2 Організація монтажу систем опалення виробничих приміщень……. 84
6.2.1 Календарне планування виконання монтажних робіт…….. 85
6.2.2 Організація будівельної готовності об'єкту до початку монтажних робіт…… 89
Розділ 7. Охорона праці та навколишнього середовища…….. 91
7.1 Дослідження та оцінка ймовірних небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища……. 92
7.2 Заходи профілактики виявлення факторів…… 95
7.2.1 Загальні вимоги безпеки…….. 95
7.2.2 Міри профілактики потенційно небезпечних і шкідливих чинників.. 96
7.2.3 Падіння матеріалів і конструкцій з висоти…… 97
7.2.4 Падіння людини з висоти…… 98
7.2.5 Падіння людини через слизьку підлогу……..... 98
7.2.6 Ураження робочих електричним струмом……. 99
7.2.7 Виробничий шум і вібрація……. 99
7.2.8 Відлітання частинок матеріалів…….. 100
7.2.9 Пожежна безпека…….. 101
7.2.10 Хімічна токсичність та опіки……. 101
7.2.11 Підвищена вологість у приміщеннях…… 102
7.2.12 Недостатнє освітлення приміщень і робочих місць…… 103
7.2.13 Інфрачервоні опалювальні системи…….. 104
Список літератури……. 105
Додаток А. Тепловтрати приміщень…… 110
Додаток Б. Тепловий баланс приміщення……... 113

# ВСТУП

На сьогодні однією з ключових задач сучасного промислового будівництва є забезпечення нормативного мікроклімату, безпеки праці, а також висока енергоефективність інженерних систем. Ці критерії є визначальними при проєктуванні та модернізації комплексів опалення, вентиляції та автономного теплопостачання для об'єктів виробничого призначення.

У даній роботі розглядається проєктування і здійснюється розрахунок сучасних систем мікроклімату та інфраструктури теплопостачання в одноповерховому промисловому корпусі (механічному цеху) в місті Рівне. Важливим аспектом є те, що виробнича будівля має значну висоту приміщень (7 м), тому для ефективного обігріву робочих зон використовується комбінована система: поєднання фонового опалення з гладких труб (регістрів) та локального інфрачервоного нагріву. Автономне теплозабезпечення об'єкта реалізовано від індивідуальної прибудованої котельні на базі автоматизованого котла «Крігер» потужністю 300 кВт, що функціонує на екологічних деревних пелетах, що є найбільш прийнятним для досягнення енергонезалежності подібних підприємств серед наявних альтернатив.

Метою даної роботи є розробка енергоефективної, надійної та технічно обґрунтованої системи опалення та автономного теплопостачання промислового цеху, що повністю відповідає чинним будівельним нормам, санітарно-гігієнічним вимогам і забезпечує комфортні умови для роботи персоналу. У процесі роботи виконані детальні теплотехнічні розрахунки зовнішніх огороджувальних конструкцій, обчислено тепловтрати і теплонадходження приміщень, складено теплові баланси приміщень з урахуванням зміни їх теплового режиму (робочий і черговий), підібрано основне й допоміжне обладнання індивідуальної котельні, а також комплексно враховано вимоги охорони праці, пожежної безпеки та екологічного захисту повітряного басейну.

Результатом роботи є комплексне інженерне рішення, яке дозволяє досягти стабільного підтримання необхідного рівня температурного режиму приміщень в робочий і неробочий час, раціонального використання енергоресурсів і ефективної роботи теплотехнічного обладнання.

# РОЗДІЛ 1

# ВИХІДНІ ДАНІ ДО ПРОЄКТУВАННЯ

## 1.1. Характеристика об’єкту будівництва

Проєктований об'єкт — одноповерховий промисловий корпус, розташований у місті Рівне (I кліматичний район України). Розрахункова температура зовнішнього повітря для проєктування інженерних мереж опалення та теплопостачання в зимовий період становить -21°С [1, 4].

***Географічні характеристики розташування будівлі***

Місто: Рівне

Кліматична зона: I

Географічна широта: 50° 38`

Барометричний тиск : 970

Орієнтація фронтальної зовнішньої стіни: Пн

## 1.2. Об'ємно-планувальні характеристики будівлі

*Таблиця 1.1*

**Характеристики виробничих приміщень**

| Приміщення | Орієнтація стін | Довжина, м | Ширина, м | Висота, м | Площа заскленого пройому, м$^2$; | Площа (внутрішня) | Об’єм, м$^3$ | Кількість робітників |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Токарне відділення | Пн | 24,55 | 0,3 | 7,5 | 13,44 (4) | 293,42 | 2200,67 | 20 |
| | Зх | 12,55 | 0,3 | | | | | |
| Збірне відділення | Пн | 17,8 | 0,3 | 7,5 | 13,44 (3) | 323,97 | 2429,775 | 23 |
| | Сх | 6 | 0,3 | | | | | |
| Нікелювальне відділення | Зх | 9,2 | 0,3 | 4,5 | 13,44 (1) | 110,07 | 495,34 | 2 |
| | Пд | 12,55 | 0,3 | 4,5 | | | | |
| Намотувальне відділення | Пд | 6 | 0,3 | 4,5 | 13,44 (1) | 53,07 | 238,815 | 6 |

*Продовження таблиці 1.1*

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Просоч. І шліф. відділення | Пд | 12 | 0,3 | 4,5 | 13,44 (2) | 107,97 | 485,865 | 6 |
| Фарбувальне відділення | Пд | 12 | 0,3 | 4,5 | 13,44 (2) | 107,97 | 485,865 | 2 |
| Зварювальне відділення | Пд | 6,6 | 0,3 | 4,5 | 13,44 (1) | 55,18 | 248,29 | 5 |
| | Сх | 9,2 | 0,3 | 4,5 | | | | |

## 1.3. Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Кліматичні дані заданого району будівництва визначаємо за [4]. Значення розрахункових параметрів заносимо в таблицю 1.2. Коефіцієнт забезпеченості визначається згідно [1].

*Таблиця 1.2*

**Розрахункові параметри зовнішнього повітря**

| Період року | Коефіцієнт забезпеченістю, $k_{заб}$ | Розрахункова температура зовнішнього повітря, $t_{ext}$, ºС | Ентальпія зовнішнього повітря, $I_{ext}$, кДж/кг | Відносна вологість, $\varphi_{ext}$, % | Швидкість вітру, v , м/с |
|---|---|---|---|---|---|
| Холодний | 0,92 | -21 | 69,5 | 75 | 4,8 |

## 1.4. Розрахункові параметри внутрішнього повітря

При проектуванні систем вентиляції в промислових будівлях розрахункові параметри внутрішнього повітря визначаємо [1, 6]. Значення розрахункових параметрів заносимо в табл. 1.3 [5].

*Таблиця 1.3*

**Розрахункові параметри внутрішнього повітря**

| Приміщення | Період року | Категорія робіт | Категорія приміщення | Температура внутрішнього повітря, $t_{wz}$, °С | Відносна вологість, φ, % | Швидкість повітря , v , м/с |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Токарне відділення | хп | IIб | Г | 18 | 75 | 0,4 |
| Збірне відділення | хп | IIб | Г | 18 | 75 | 0,4 |
| Нікелювальне відділення | хп | IIа | В | 20 | 75 | 0,3 |
| Намотувальне відділення | хп | IIа | Г | 20 | 75 | 0,3 |
| Просоч. І шліф. відділення | хп | IIа | Г | 20 | 75 | 0,3 |
| Фарбувальне відділення | Хп | IIб | В | 18 | 75 | 0,4 |
| Зварювальне відділення | Хп | IIа | Г | 20 | 75 | 0,3 |
| Склад матеріалів | Хп | Iб | Д | 10 | 75 | 0,2 |
| Склад готової продукції | хп | Iб | Д | 10 | 75 | 0,2 |

При виборі параметрів внутрішнього повітря потрібно враховувати наступне: для районів будівництва з зовнішньою температурою повітря 25°С і нижче допустима температура внутрішнього повітря в теплий період приймається не більше 27°С.

# РОЗДІЛ 2

# ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

## 2.1. Підбір огороджувальних конструкцій

Для зовнішніх огороджувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд, температури повітря в яких відрізняються на 4˚С та більше, обов'язкове виконання умов [2, 3, 7]:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{qmin}$$

$$\Delta t_{пр} \leq \Delta t_{сг}$$

$$\tau_{вmin} > t_{min},$$

де: $R_{\Sigma пр}$- приведений опір теплопередачі огороджувальної конструкції (для термічно однорідних огороджувальних конструкцій дорівнює опору теплопередачі), м$^2$·К/Вт; $R_{qmin}$- мінімально допустиме значення опору теплопередачі конструкції, м$^2$·К/Вт. Значення для промислових будівель залежно від кліматичної зони; $\Delta t_{пр}$- температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, ˚С; $\Delta t_{сг}$- допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, ˚С; $\tau_{вmin}$- мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огороджувальній конструкції, ˚С; $t_{min}$- мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, ˚С.

Вологісний режим приміщень в холодний період року в залежності від відносної вологості та температури внутрішнього повітря встановлюється за даними [2, 7]. При $t_{вн} < 12$˚С і відносній вологості $60 \leq \varphi \leq 75$ приймається нормальний режим експлуатації приміщень. Огороджуючі конструкції слід підбирати у відповідності з умовами їх експлуатації, котрі визначаються в залежності від вологісного режиму приміщень і зони вологості.

За вимогами [2, 7] опір теплопередачі огороджувальних конструкцій $R_{заг}$ повинен бути не менше нормативного $R_{qmin}$.

Необхідний опір теплопередачі внутрішніх конструкцій (перекриття, стін, перегородок) між приміщаннями з нормованою температурою повітря слід визначати при різниці розрахункових температур повітря в цих приміщеннях більше 4ºС.

*1) Зовнішні стіни (ЗС):*

Коефіцієнти тепловіддачі огороджувальних конструкцій: $\alpha_в$=8,7 Вт/(м$^2$К) $\alpha_з$=23 Вт/(м$^2$К)

Значення мінімально допустимого опору теплопередачі огороджувальної конструкції промислових будівель: $R_{qmin}$ = 1,7 м$^2$К/Вт

Зовнішні стіни складаються з таких шарів:

1) Залізобетон : $\rho_з$= 2500 кг/м$^3$ $\delta_з$= 0,38 м $\lambda_з$= 2,04 Вт/мК $s_з$=18,95 Вт/м$^2$К;

2) Утеплювач- плити пінополістерольні: $\rho_п$= 35 кг/м$^3$, $\lambda_п$= 0,045 Вт/мК, $s_п$=0,46 Вт/м$^2$К;

3) Розчин вапняно-піщаний: $\rho_ш$= 1600 кг/м$^3$, $\delta_ш$= 0,02 м, $\lambda_ш$= 0,81 Вт/мК, $s_ш$=9,76 Вт/м$^2$К.

Визначаємо теплову інерцію зовнішньої стіни за даною формулою:

$$D = \sum_{i=1}^{n} R_i \cdot s_{ip} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \cdot s_{ip} = \frac{0{,}22}{2{,}04} \cdot 18{,}95 + \frac{0{,}02}{0{,}81} \cdot 9{,}76 = 2{,}28 > 1{,}5$$

Визначаємо необхідну товщину утеплювача за формулою:

$$\delta_{ут,min} = \lambda_{ут} \cdot \left(R_{\text{qmin}} - \frac{1}{\alpha_{вн}} - \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_з}\right) = 0{,}045 \cdot \left(1{,}7 - \frac{1}{8{,}7} - \left(\frac{0{,}22}{2{,}04} + \frac{0{,}02}{0{,}81}\right) - \frac{1}{23}\right) = 0{,}0634 \text{ м}$$

Приймаємо товщину утеплювача 65 мм.

Приведений опір теплопередачі становить :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_з} + \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} + \frac{\delta_з}{\lambda_з} + \frac{\delta_ш}{\lambda_ш} + \frac{1}{\alpha_{вн}} = \frac{1}{23} + \frac{0{,}065}{0{,}045} + \frac{0{,}22}{2{,}04} + \frac{0{,}02}{0{,}81} + \frac{1}{8{,}7} = 1{,}74 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} > 1{,}7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Звідси коефіцієнт теплопередачі рівний :

$$U = \frac{1}{R_\Sigma} = \frac{1}{1{,}74} = 0{,}575 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

*2) Безгорищне покриття:*

Коефіцієнти тепловіддачі огороджувальних конструкцій: $\alpha_в$=10 Вт/(м$^2$К) $\alpha_з$=23 Вт/(м$^2$К)

Значення мінімально допустимого опору теплопередачі огороджувальної конструкції промислових будівель: $R_{qmin}$ = 1,7 м$^2$К/Вт

Безгорищне покриття складається з таких шарів як:

1) Залізобетон : $\rho_з$= 2500 кг/м$^3$ $\delta_з$= 0,22 м $\lambda_з$= 2,04 Вт/мК $s_з$=18,95 Вт/м$^2$К;

2) Утеплювач- плити пінополістерольні: $\rho_п$= 35 кг/м$^3$, $\lambda_п$= 0,045 Вт/мК, $s_п$=0,46 Вт/м$^2$К;

3) Розчин цементно-піщаний: $\rho_ш$= 1600 кг/м$^3$, $\delta_ш$= 0,03 м, $\lambda_ш$= 0,81 Вт/мК, $s_ш$=9,76 Вт/м$^2$К;

4) Бітум: $\rho_б$= 1200 кг/м$^3$, $\delta_б$= 0,003 м, $\lambda_б$= 0,22 Вт/мК, $s_б$=5,69 Вт/м$^2$К;

5) Руберoїд: $\rho_р$= 1000 кг/м$^3$, $\delta_р$= 0,1 м, $\lambda_р$= 0,17 Вт/мК, $s_р$=3,53 Вт/м$^2$К;

Визначаємо теплову інерцію покриття за даною формулою:

$$D = \sum_{i=1}^{n} R_i \cdot s_{ip} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \cdot s_{ip} = \frac{0{,}22}{2{,}04} \cdot 18{,}95 + \frac{0{,}03}{0{,}81} \cdot 9{,}76 + \frac{0{,}003}{0{,}22} \cdot 5{,}69 + \frac{0{,}1}{0{,}17} \cdot 3{,}53 = 4{,}56 > 1{,}5$$

Визначаємо необхідну товщину утеплювача за формулою:

$$\delta_{ут,min} = \lambda_{ут} \cdot \left(R_{\text{qmin}} - \frac{1}{\alpha_{вн}} - \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_з}\right) = 0{,}045 \cdot \left(1{,}7 - \frac{1}{10} - \left(\frac{0{,}22}{2{,}04} + \frac{0{,}03}{0{,}81} + \frac{0{,}003}{0{,}22} + \frac{0{,}1}{0{,}17}\right) - \frac{1}{23}\right) = 0{,}036 \text{ м}$$

Приймаю товщину утеплювача 40 мм.

Приведений опір теплопередачі становить :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_з} + \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} + \frac{\delta_з}{\lambda_з} + \frac{\delta_ш}{\lambda_ш} + \frac{\delta_б}{\lambda_б} + \frac{\delta_р}{\lambda_р} + \frac{1}{\alpha_{вн}} = \frac{1}{23} + \frac{0{,}04}{0{,}045} + \frac{0{,}22}{2{,}04} + \frac{0{,}03}{0{,}81} + \frac{0{,}003}{0{,}22} + \frac{0{,}1}{0{,}17} + \frac{1}{10} = 1{,}78 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} > 1{,}7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Звідси коефіцієнт теплопередачі рівний :

$$U = \frac{1}{R_\Sigma} = \frac{1}{1{,}78} = 0{,}56 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

*3) Підлога (ПП):*

Підлога складається з таких шарів як:

1) Утеплювач- плити пінополістерольні: $\rho_п$= 35 кг/м$^3$, $\lambda_п$= 0,045 Вт/мК, $s_п$=0,46 Вт/м$^2$К;

2) Бетон КЛВ-15 : $\rho_з$= 2400 кг/м$^3$ $\delta_з$= 0,1 м $\lambda_з$= 1,86 Вт/мК $s_з$=17,88 Вт/м$^2$К;

3) Бетон КЛВ-7,5 : $\rho_з$= 2400 кг/м$^3$ $\delta_з$= 0,1 м $\lambda_з$= 1,86 Вт/мК $s_з$=17,88 Вт/м$^2$К;

4) Ущільнений щебнем ґрунт:

$\rho_з$= 350 кг/м$^3$ $\delta_з$= 0,1 м $\lambda_з$= 0,19 Вт/мК $s_з$= 2 Вт/м$^2$К.

Теплопередачу огороджувальних конструкцій, що контактують з ґрунтом, визначають згідно з EN ISO 13370, зокрема коефіцієнт теплопередачі плити перекриття підлоги, $U_{equiv,k}$, Вт/(м$^2$·°С), розраховують залежно від характерного параметру $B'$, м [4].

Характеристичний параметр $B'$ визначаємо для підлоги виробничої будівлі як відношення загальної площі будівлі до половини зовнішнього периметру (ПП) підлоги (див. рис.1), для будівлі в цілому. При цьому вважаємо, що теплопровідність ґрунту дорівнює $\lambda_g$ = 2,0 Вт/м·°С, а ефект бокової теплоізоляції не враховуємо.

$$B' = \frac{A}{0{,}5 \cdot P} = \frac{1275{,}5}{0{,}5 \cdot 162} = 15{,}75$$

Так, за характеристичним параметром $B'$ коефіцієнт теплопередачі плити перекриття підлоги першого поверху визначається за даними, які наведені на рис.1:

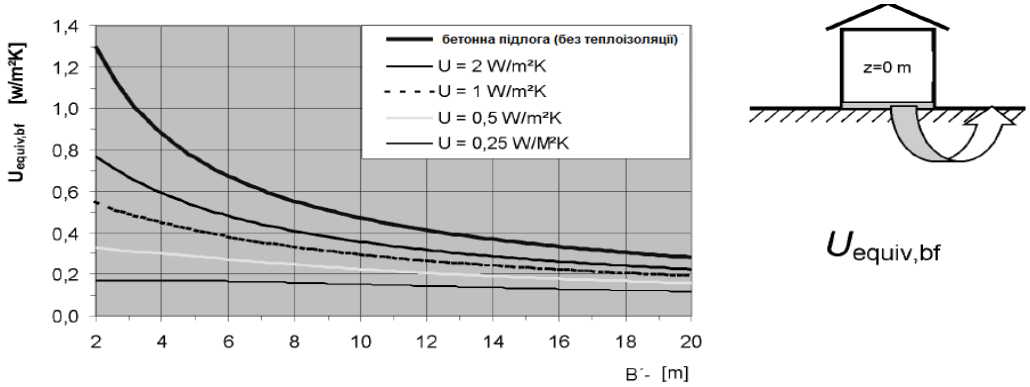



Рис.2.1 Коефіцієнт теплопередачі плити перекриття підлоги першого поверху, що розташована на поверхні землі

Коефіцієнт теплопередачі огороджувальних конструкцій $U_k$, Вт/(м$^2$·К) дорівнює:

$$U_k = 0{,}35$$

Показники конструкцій зовнішніх і внутрішніх огороджень, які беруться для будівництва, повинні забезпечувати умови експлуатації нашої будівлі відповідно до нормативних вимог по теплозасвоєнню поверхнею підлоги, вологісному стану зовнішніх огороджувальних конструкцій та повітропроникності.

*4) Вікна (В):*

Коефіцієнти тепловіддачі для огороджувальної конструкції становлять:

$\alpha_в$=8 Вт/(м$^2$К) $\alpha_з$=23 Вт/(м$^2$К)

Значення мінімально допустимого опору теплопередачі для огороджувальної конструкції промислової будівлі: $R_{qmin}$ = 0,45 м$^2$К/Вт

Беремо вікна з двокамерними склопакетами 4М$_1$-8-4М$_1$-8-4М$_1$ [9]:

Звідси коефіцієнт теплопередачі рівний :

$$U = \frac{1}{R_\Sigma} = \frac{1}{0{,}45} = 2{,}22\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

*5) Ворота:*

Коефіцієнти тепловіддачі для огороджувальної конструкції становлять:

$\alpha_в$=8,7 Вт/(м$^2$К) $\alpha_з$=23 Вт/(м$^2$К)

Значення мінімально допустимого опору теплопередачі для огороджувальної конструкції промислової будівлі: $R_{qmin}$ = 0,6 м$^2$К/Вт

Ворота складаються з таких матеріалів:

1) Сталь: $\rho_с$= 7850 кг/м$^3$ $\delta_с$= 0,001 м $\lambda_с$= 58 Вт/мК $s_с$=126,5 Вт/м$^2$К;

2) Утеплювач- плити пінополістерольні: $\rho_п$= 35 кг/м$^3$, $\lambda_п$= 0,045 Вт/мК, $s_п$=0,46 Вт/м$^2$К;

3) Сталь: $\rho_с$= 7850 кг/м$^3$ $\delta_с$= 0,001 м $\lambda_с$= 58 Вт/мК $s_с$=126,5 Вт/м$^2$К;

Приведений опір теплопередачі становить :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_з} + \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} + \frac{\delta_с}{\lambda_с} + \frac{1}{\alpha_{вн}} = \frac{1}{23} + \frac{0{,}02}{0{,}045} + \frac{0{,}002}{58} + \frac{1}{8{,}7} = 0{,}603\ \frac{\text{м}^2\cdot\text{К}}{\text{Вт}} > 0{,}6\frac{\text{м}^2\cdot\text{К}}{\text{Вт}}$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі рівний :

$$U = \frac{1}{R_\Sigma} = \frac{1}{0{,}603} = 1{,}66\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

*6. Внутрішні стіни :*

Коефіцієнт тепловіддачі огороджувальних конструкцій:

$\alpha_в$=8,7 Вт/(м$^2$К)

Залізобетонна перегородка 80 мм

1) Залізобетон : $\rho_з$= 2500 кг/м$^3$ $\delta_з$= 0,08 м $\lambda_з$= 2,04 Вт/мК $s_з$=18,95 Вт/м$^2$К;

$R_{qmin} = R^{вс}_{потр} = \frac{Q_{в1}-Q_{в2}}{\alpha_{в1}\Delta T_{сг}} = \frac{18-10}{8,7\cdot 7,0} = 0,131 \frac{м^2\cdot К}{Вт}$ – для приміщення 102

$R_\Sigma = \frac{1}{h_{si}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,08}{2,04} = 0,154$

$R_к = 0,154 \frac{м^2\cdot К}{Вт}$ – фактичний опір внутрішньої стіни $\delta_з$= 0,08 м

$R_к = 0,262 \frac{м^2\cdot К}{Вт}$ – фактичний опір внутрішньої стіни $\delta_з$= 0,3 м

$$R_к \geq R^{вс}_{qmin}$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі для стіни $\delta_з$= 0,08 м рівний :

$$U = \frac{1}{R^{вс}_{qmin}} = \frac{1}{0,154} = 6,49 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Звідси коефіцієнт теплопередачі для стіни $\delta_з$= 0,3 м рівний :

$$U = \frac{1}{R^{вс}_{qmin}} = \frac{1}{0,262} = 3,82 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

## 2.2. Розрахунок теплозасвоєння підлоги на грунті [3, 9]

Теплова інерція бетону:

$$D_{пп} = R_{пп} \cdot s_{пп} = \frac{0,2}{1,86} \cdot 17,88 = 1,92 \geq 0,5$$

Визначаємо теплозасвоєння внутрішньої поверхні за формулою:

$$У_{пп} = 2 \cdot s_{пп} = 2 \cdot 17,88 = 35,86 \geq 17 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Оскільки умова не дотримується кладемо на робочих місцях плити з жорсткого пінополістиролу.

Теплова інерція жорсткого пінополістиролу:

$$D_{\text{пп}} = R_{\text{пп}} \cdot s_{\text{пп}} = \frac{0{,}05}{0{,}045} \cdot 0{,}46 = 0{,}51 \geq 0{,}5$$

Визначаємо теплозасвоєння внутрішньої поверхні за формулою:

$$\text{У}_{\text{пп}} = 2 \cdot s_{\text{пп}} = 2 \cdot 0{,}46 = 0{,}92 < 17 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

### 2.3. Розрахунок повітропроникності стін і вікон

За розподілом теплового напору повітря можна розподілити будівлю на таких дві зони: нижня (зона припливного повітря) і верхню (зона видалення повітря), що розділені нейтральною площиною, де тепловий опір дорівнює нулю.

Мета розрахунку: перевірити непрозорі та світлопрозорі огороджувальні констукції промислової споруди на відповідність таких умов:

$$R_g \geq R_{g.н},$$

де $R_g$ – опір повітропроникності огороджувальної конструкції, м$^2$·год·Па/кг; $R_{g\,н}$ – необхідний опір повітропроникності, (м$^2$ ·год ·Па)/кг.

1. Визначаємо розрахункову суму тисків ΔР, Па, за даною формулою:

$$\Delta P = \Delta P_{T.г} + \Delta P_{в}, \qquad (2.1)$$

де $\Delta P_{Т.г}$- термогравітаційний напір, Па; $\Delta P_{в}$- вітровий напір, Па;

- Термогравітаційний тиск визначається за формулою:

$$\Delta P_{T.г} = (H - h_i)(\gamma_з - \gamma_в) = (4{,}5 - 2{,}25)(13{,}74 - 11{,}86) = 4{,}23 \text{ Па},$$

де $H$ – висота будівлі (від рівня підлоги першого поверху до верху карнизу, виходу витяжної шахти або центру витяжних отворів ліхтаря), м; $h_i$ – висота від рівня підлоги першого поверху до середини огороджувальної конструкції $i$-го поверху, для якої виконуємо розрахунок, м; $\gamma_з$, $\gamma_в$ – питома вага відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, Н/м$^3$:

$$\gamma_з = \frac{3463}{273 + t_з} = \frac{3463}{273 - 21} = 13{,}74 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$$

$$\gamma_в = \frac{3463}{273 + t_в} = \frac{3463}{273 + 19} = 11{,}86 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$$

- Вітровий тиск визначаємо за даною формулою:

$$\Delta P_{\text{в}} = 0{,}03 \cdot \vartheta^2 \cdot \gamma_{\text{з}} \cdot \beta_{\text{v}} = 0{,}03 \cdot 5{,}8^2 \cdot 13{,}74 \cdot 0{,}65 = 9{,}01 \text{ Па},$$

де *v*– максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами за січень, м/с, повторюваність яких складає 16 % та більше [4];

$\beta_v$ – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря за висотою будівлі, який береться за табл.3 [5].

Тоді, $\Delta P = 4{,}23 + 9{,}01 = 13{,}24$ Па

2. Визначаємо опори паропроникності $R_{g\,\text{н}}^{\text{н.к}}$ та $R_{g\,\text{н}}^{\text{с.к}}$ :

- для непрозорих огороджувальних конструкцій :

$$R_{g\,\text{н}}^{\text{н.к}} = \frac{\Delta P}{G^{\text{н}}} = \frac{13{,}24}{1} = 13{,}24 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}},$$

де $G_{\text{н}}$– допустима повітропроникність огороджувальної конструкції, для зовнішніх непрозорих конструкцій $G_{\text{н}}$= 1 кг/(м$^2$·год), таб.7 [4].

- для світлопрозорих огороджувальних конструкцій :

$$R_{g\,\text{н}}^{\text{н.к}} = \frac{(\frac{\Delta P}{\Delta P_0})^{2/3}}{G^{\text{н}}} = \frac{(\frac{13{,}24}{10})^{2/3}}{10} = 0{,}12 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}},$$

де $G_{\text{н}}$– допустима повітропроникність огороджувальної конструкції, для зовнішніх світлопрозорих конструкцій $G_{\text{н}}$= 10 кг/(м$^2$·год), табл.7 [3];

$\Delta p_{\text{о}}$ = 10 Па – різниця тисків на поверхнях огороджень, за якої визначається масова повітропроникність світлопрозорих конструкцій під час випробувань.

3. Визначаємо дійсні опори повітропроникності для непрозорих огороджувальних конструкцій за дод.Т табл. Т2 [4]:

1) Залізобетон : $\delta_{\text{з}}$= 0,38 м $R_g$ =196078 (м$^2$ ·год ·Па)/кг

2) Утеплювач- плити пінополістерольні: $\delta_{\text{з}}$= 0,07 м $R_g$ =787,4 (м$^2$ ·год ·Па)/кг

3) Розчин вапняно-піщаний: $\delta_{\text{ш}}$= 0,02 м $R_g$ =1428,6 (м$^2$ ·год ·Па)/кг

Отже, для непрозорих огороджувальних конструкцій:

$$R_g = R_{g1} + R_{g2} + R_{g3} = 196078 + 787{,}4 + 1428{,}6 = 198294 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$$

$$R_{g\,\text{н}}^{\text{н.к}} = 13{,}24 \leq R_g = 198294 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$$

Висновок: непрозорі частини огороджувальних конструкцій відповідають умовам повітропроникності.

4. Визначаємо опори повітропроникності для світлопрозорих огороджень для типу скління 4М1-16-4М1-16-4М1 це подвійне скління у роздільних рамах і ущільненням прокладками з напівшерстяного шнура $G_{с.к}$= 7,69 кг/м$^3$ при $\Delta p_o$=10 Па:

$$R_g = \frac{(\frac{\Delta P}{\Delta P_0})^{2/3}}{G^{н}} = \frac{(\frac{13,24}{10})^{2/3}}{7,69} = 0,157 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{кг}$$

$$R_{g\,н}^{н.к} = 0,12 \leq R_g = 0,157 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{кг}$$

Висновок: світлопрозорі частини огороджувальних конструкцій відповідають умовам повітропроникності.

Результати розрахунків підбору огороджувальних конструкцій наведено в табл. 2.1

*Таблиця 2.1*

**Результати підбору огороджувальних конструкцій**

| Найменування огороджувальної конструкції | Опір теплопередачі, $R$ м$^2$К / Вт, теплова інерція $D$ | | | | Коефіцієнт теплопередачі $U_k$, Вт/(м$^2$°К) | Опис конструкцій |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_{qmin}$ | $D_{mn}$ | $R_k$ | $D_k$ | | |
| Зовнішня стіна $q$≤23 Вт/м$^3$ | 1,7 | 1,5 | 1,74 | 2,28 | 0,575 | Залізобетон густиною 2500 кг/м$^3$ товщиною 0,38 м; утеплювач з плит пінополістерольних густиною 35 кг/м$^3$ товщиною 0,07м; розчин вапняно-піщаний густиною 1600 кг/м$^3$ товщиною 0,02 |
| Безгорищне покриття $q$≤23 Вт/м$^3$ | 1,7 | 1,5 | 1,78 | 4,56 | 0,56 | Залізобетон густиною 2500 кг/м$^3$ товщиною 0,220 м; утеплювач з плит пінополістерольних густиною 15 кг/м$^3$ товщиною 0,04м; розчин цементно-піщаний густиною 1600 кг/м$^3$ товщиною 0,03 м; бітум густиною 1000 кг/м$^3$ товщиною 0,001 м; руберoїд густиною 600 кг/м$^3$ товщиною 0,1 м. |

*Продовження таблиці 2.1*

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Вікна | 0,45 | - | 0,45 | - | 2,222 | Вікна з двокамерними склопакетами 4М1-8-4М1-8-4М1 |
| Внутрішні стіни | 0,131 | - | 0,154 | - | 6,49 | Залізобетонна перегородка 80 мм густиною 2500 кг/м$^3$ |
| | | | 0,262 | | 3,82 | |
| Ворота | 0,6 | - | 0,603 | - | 1,66 | Сталеві ворота з утеплювачем |
| Підлога | | $Y_{maxп}$ | $D_п$ | $Y_п$ | $U_k$, Вт/(м$^2$°С) | |
| У виробничих приміщеннях | | 17 | 1,92 | 35,86 | 0,35 | Бетон КЛ В 15 товщиною 0,1 м; Бетон КЛ В 7,5 товщиною 0,1 м |
| На робочих місцях виробничих приміщень | | 17 | 0,51 | 0,92 | - | Дерев'янний настил густиною 60 кг/м$^3$ товщиною 0,04 м; Бетон КЛ В 15 товщиною 0,1 м; Бетон КЛ В 7,5 товщиною 0,1 м |

# РОЗДІЛ 3
# ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ПРИМІЩЕНЬ

### 3.1. Розрахунок тепловтрат приміщень через стіни, двері та вікна

Тепловий режим у будівлі залежить від звичайного балансу: скільки тепла приміщення втрачає і скільки отримує для підтримання комфортної температури. Цей баланс складається з таких чинників [1,3,9-11,12,13,15]:

– Втрати тепла через зовнішні стіни, вікна та дах, які безпосередньо виходять на вулицю.

– Перехід тепла до сусідніх кімнат, де за розрахунком підтримується нижча температура.

– Утікання тепла через неопалювані зони будівлі (наприклад, склад або тамбур).

– Втрати тепла через конструкцію підлоги прямо в масив ґрунту.

– Витрати енергії на підігрів свіжого повітря, яке потрапляє всередину через щілини або систему вентиляції.

– Запас потужності для швидкого прогрівання, якщо опалення працює з перервами, а не постійно.

– Тепло на зігрівання матеріалів, обладнання чи транспорту, які завезли в цех холодними.

– Внутрішні теплонадходження — корисне тепло, яке безкоштовно виділяється від працюючих верстатів, світильників, гарячих трубопроводів та людей.

#### 3.1.1. Трансмісійні тепловтрати

Розрахункові теплові втрати приміщення за рахунок теплопередачі через будівельні огородження $\Phi_{T,i}$, Вт, з урахуванням основних можливих варіантів влаштування приміщення визначають за формулою:

$$\Phi_{T,i} = \left(H_{T,ie} + H_{T,ij} + H_{T,iue} + H_{T,ig}\right) \cdot \left(\theta_{int,i} - \theta_e\right), \quad (3.1)$$

де $H_{T,ie}$ – характеристика трансмісійних тепловтрат через огороджувальні конструкції приміщення назовні, Вт/°С; $H_{T,ij}$ – характеристика трансмісійних тепловтрат опалюваного приміщення через огороджувальної конструкції суміжного опалюваного приміщення із іншою розрахунковою температурою, Вт/°С; $H_{T,ine}$ – характеристика трансмісійних тепловтрат опалюваного приміщення через неопалюване приміщення ззовні, Вт/°С; $H_{T,ig}$ – характеристика трансмісійних тепловтрат через огороджувальні конструкції до ґрунту, Вт/°С; $\theta_{int,i}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря ([1], дод. А, табл. А1), °С;
$\theta_e$ – температура зовнішнього повітря, °С.

“Розрахункову температуру внутрішнього повітря в холодний період року в опалюваних виробничих приміщеннях упродовж періоду їх невикористання (черговий режим роботи) приймають нижчою від нормованої температури не більше ніж на 4 °С від нормованої температури, але не нижче ніж 5 °С у виробничих приміщеннях” [1].

Відновлення нормованої температури слід забезпечувати до початку експлуатації приміщення або до початку роботи.

Розрахункову температуру повітря, $\theta_{int,i}$, °С, у приміщеннях заввишки понад 4 м можна визначити за формулами:

- Визначаємо внутрішню температуру повітря у верхній зоні приміщення, ˚С:

$$\theta_{int,i}^{\text{вз}} = \theta_{int,i}^{\text{рз}} + grad(t) \cdot \left(h_{\text{пр}} - 2\right), \qquad (3.2)$$

де $\theta_{int,i}^{\text{рз}}$ – внутрішня температура повітря в робочій зоні приміщення, яка дорівнює розрахунковій температурі внутрішнього повітря,˚С; $h_{\text{пр}}$ – висота приміщення (від підлоги до стелі), м; grad(t) - підвищення внутрішньої температури повітря вище робочої зони, ˚С /м, на 1 м висоти визначається за даною формулою:

$$grad(t) = 0{,}02 \cdot \theta_{int,i}^{\text{рз}} \qquad (3.3)$$

У розрахунках зростання витрат теплоти у висотних приміщеннях враховуємо коефіцієнтом на висоту приміщення, $f_{h,i}$.

***Характеристика трансмісійних тепловтрат приміщення через зовнішні огородження***

Розрахунок величини тепловтрат опалюваного приміщення через зовнішні будівельні конструкції (вікна, стіни, стелю, двері та лінійні теплові мости) на вулицю виконується за формулою:

$$H_{T,ie} = \Sigma_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \Sigma_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l \, , \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}, \qquad (3.4)$$

де $A_k$ – площа теплопередачі *k*-ї будівельної конструкції огороджень приміщення, м$^2$; $U_k$ – коефіцієнт передачі теплоти від внутрішнього повітря через *k*-ту будівельну конструкцію огородження приміщення до зовнішнього середовища, Вт/(м$^2$·°К); $\psi_l$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі *l*-го елементу лінійного теплового мосту в конструкції будівельного огородження згідно з ДСТУ EN ISO 10211:2022 «Теплові мости в будівництві. Теплові потоки та температури поверхні». Вт/(м·°К); $l_l$ –довжина лінійного теплового мосту в конструкції будівельного огородження, м; $e_k$, $e_l$ – поправочні коефіцієнти, на додаткові тепловтрати, що враховують випромінюючі властивості поверхні огородження, з урахуванням впливу мікрокліматичних умов, типу ізоляційних матеріалів, їх вологості, швидкості вітру і температури зовнішнього повітря [3, 11].

***Характеристика трансмісійних тепловтрат приміщення через огороджувальні конструкції, що контактують із ґрунтом***

Характеристика трансмісійних тепловтрат через огороджувальні конструкції приміщення до масиву землі $H_{T,ig}$ визначається за формулою:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\Sigma_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_w \, , \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}, \qquad (3.5)$$

де $f_{g1}$ = 1,45 – поправочний коефіцієнт, який враховує річні коливання температури ґрунту (за відсутності національних даних); $G_w$ – корегувальний коефіцієнт, який враховує вплив ґрунтових вод (при рівні грунтових вод нижче плити перекриття підлоги $h_{г.в}$>1,0 м $G_w$=1,0; при $h_{г.в}$≤1,0 м. $G_w$=1,15); $f_{g2}$ – поправочний коефіцієнт на можливе зниження зовнішньої температури, що враховує різницю між середнім коливанням і розрахунковим значенням температури зовнішнього повітря і визначається за формулою:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{me}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \qquad (3.6)$$

де $\theta_{me}$ – середньорічна температура зовнішнього повітря, °С.

### 3.1.2. Розрахунок витрати теплоти на нагрівання вентиляційного повітря, обладнання, виробів і матеріалів

Розрахункові теплові втрати приміщення на нагрівання вентиляційного повітря в опалювальних приміщеннях $\boldsymbol{\Phi_{V,i}}$, Вт, розраховують за даною формулою:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)\ , \text{Вт}, \tag{3.7}$$

де $\boldsymbol{H_{V,i}}$ – характеристика вентиляційних тепловтрат приміщення, Вт/°С.

Розрахункове значення характеристики тепловтрат опалювального приміщення при нагріванні зовнішнього вентиляційного повітря, який поступає до нього за рахунок вентиляції (провітрювання, інфільтрації, тощо):

$$H_{V,i} = V_i^c \cdot \rho \cdot c_p\ , \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}, \tag{3.8}$$

де $\boldsymbol{\rho}$ – густина повітря при розрахунковій температурі приміщення, кг/м$^3$; $\boldsymbol{c_p}$ – питома теплоємність повітря при розрахунковій температурі приміщення, кДж/(кг·К); $\boldsymbol{V^c_i}$ – об'ємна витрата повітря, яке надходить до опалювального приміщення, м$^3$/год, що розраховується залежно від організації повітрообміну в приміщенні.

За умови відсутності організованої подачі припливного повітря в приміщення при визначенні об'ємної витрати повітря $\boldsymbol{V_i}$ за розрахункову величину приймаємо більше значення між інфільтраційним і санітарно-гігієнічним повітрообмінами:

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}), \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \tag{3.9}$$

Згідно із санітарно-гігієнічими нормами, мінімальні об'єми подачі свіжого повітря для виробничих приміщень розраховують наступним чином:

- для основного робочого режиму (коли персонал безперервно перебуває на місцях понад дві години): у цехах із можливістю природного провітрювання подають 30 м$^3$/(люд·год), а в закритих залах без природного провітрювання – 60 м$^3$/(люд·год);
- для чергового (економного) режиму роботи вентиляції: радять приймати мінімальну витрату зовнішнього повітря в межах від 0,1 дм$^3$/(с·м$^2$) до 0,2 дм$^3$/(с·м$^2$) площі підлоги.

Розрахунки наведено в табл. 3.2 ( тепловтрати ), додаток А .

***Витрати теплоти на нагрівання матеріалів і виробів, обладнання та транспортних засобів***

Такі витрати теплоти необхідно враховувати в випадку потрапляння транспортних засобів, виробів, матеріалів тощо у приміщення, які потрапляють ззовні або з іншого приміщення де нижча температура.

*Витрата теплоти на нагрівання матеріалів і виробів*, $Ф_{Q\text{нм}}$, Вт, які ввозяться у приміщення ззовні, розраховують за формулою:

$$\Phi_{Q\text{нм}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \cdot (\theta_{int.i} - t_{\text{зм}}) \cdot \beta_{\text{н}}, \qquad (3.10)$$

де $G_{\text{м}}$ – маса однорідних матеріалів та виробів, які надходять у приміщення протягом години, кг/год; $c_{\text{м}}$ – питома теплоємність матеріалу (для металу- 0,46), кДж/(кг·$^0$С); $\beta_{\text{н}}$ – коефіцієнт, що враховує загальну частку кількості теплоти, яка отримується матеріалом за кожну наступну годину перебування у приміщенні (приймаємо рівною 1); $t_{\text{зм}}$ -зовнішня температура матеріалу, для металу – $t_{\text{зм}} = t_{\text{з}}$, $^0$С.

- *Нікелювальне відділення:*

  $\Phi_{q\text{нм}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{зм}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 0{,}278 \cdot 550 \cdot 0{,}46 \cdot (26 + 21) \cdot 1 =$ 3305,7 Вт

- *Токарне відділення:*

  $\Phi_{q\text{нм}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{зм}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 0{,}278 \cdot 150 \cdot 0{,}46 \cdot (17 + 21) \cdot 1 =$ 728,916 Вт

- *Просочувальне і шліфувальне відділення:*

  $\Phi_{q\text{нм}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{зм}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 0{,}278 \cdot 25 \cdot 0{,}46 \cdot (19 + 21) \cdot 1 =$ 127,88 Вт

*Витрата теплоти для нагрівання обладнання, матеріалів тощо* $Ф_{Q\text{обл}}$, Вт, при змінні теплового режиму в приміщенні (підвищення внутрішньої температури повітря при переході з чергового режиму до робочого):

$$\Phi_{Q\text{обл}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{обл}} \cdot c_{\text{обл}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{вч}}) \cdot \beta_{\text{н}}, \qquad (3.11)$$

де $G_{\text{обл}}$ – маса обладнання, кг; $c_{\text{обл}}$ – середня питома теплоємність матеріалу обладнання, кДж/(кг·$^0$С); $\theta_{int.i}$ – розрахункова внутрішня температура повітря під

час роботи основної системи опалення, °С; $\theta_{вч}$ – розрахункова внутрішня температура повітря під час роботи чергової системи опалення, °С; $\beta_н = 1$.

Витрата теплоти на нагрівання обладнання, матеріалів тощо $Ф_{Qобл}$ при переході з чергового режиму на робочий по приміщенням, який дорівнює теплонадходженням при остиганні їх за зниження внутрішньої температури, що підтримувалася за робочого режиму, на 4 °С до рівня внутрішньої температури чергового режиму використання приміщень.

Розрахунок наведено в п. 2.3.4

Дані занесено в табл. 3.4

*Витрата теплоти для нагрівання транспорту*, $Ф_{тп}$, Вт, що заїхав ззовні у приміщення. Під час перебування транспорту в приміщенні менше однієї години кількість асимільованої теплоти береться пропорційно фактичному:

$$Ф_{Qтп} = \frac{278 \cdot q_{тп} \cdot \beta_н \cdot \tau}{60}, \quad (3.12)$$

де $q_{тп}$ = 11,3 МДж при $t_з$ = - 21 °С – витрата теплоти для нагрівання транспорту від температури $t_з$ до $t_в$ (за довідковими даними, ГАЗ 69 [13]), Вт; $\tau$ – час, протягом якого транспорт перебуває у приміщенні (хвилин).

- *Токарне відділення:*

$$Ф_{Qтп} = \frac{278 \cdot q_{тп} \cdot \beta_н \cdot \tau}{60} = \frac{278 \cdot 11{,}3 \cdot 0{,}5 \cdot 30}{60} = 785 \text{ Вт}$$

- *Збірне відділення:*

$$Ф_{Qтп} = \frac{278 \cdot q_{тп} \cdot \beta_н \cdot \tau}{60} = \frac{278 \cdot 11{,}3 \cdot 0{,}5 \cdot 30}{60} = 785 \text{ Вт}$$

## 3.2 Розрахунок теплонадходжень приміщень

Головне завдання вентиляції полягає в нейтралізації та видаленні шкідливих речовин, що потрапляють у приміщення. Основними чинниками, які забруднюють повітря в робочій зоні, є надлишкове тепло, волога (водяна пара), гази та пил.

Розрахунок теплонадходжень по приміщенням наведено в таблиці 3.3.1

***Теплонадходження від людей :***

1) Повна кількість теплоти :

$$Q_{лhf} = q_{hf} \cdot n_{,} \quad (3.13)$$

де $q_{hf}$ – повні питомі теплонадходження від однієї людини (табл. 4.1) [3], залежить від категорії роботи ; n – кількість людей в приміщенні.

- *Токарне відділення:*

  холодний період: $Q_{лhf}^{хп} = q_{hf} \cdot n = 208 \cdot 20 = 4160$ Вт

- *Збірне відділення:*

  холодний період: $Q_{лhf}^{хп} = q_{hf} \cdot n = 208 \cdot 23 = 4784$ Вт

- *Зварювальне відділення:*

  холодний період: $Q_{лhf}^{хп} = q_{hf} \cdot n = 1040$ Вт

- *Фарбувальне відділення:*

  холодний період: $Q_{лhf}^{хп} = q_{hf} \cdot n = 416$ Вт

- *Просочувальне і шліфувальне відділення:*

  холодний період: $Q_{лhf}^{хп} = q_{hf} \cdot n = 1248$ Вт

- *Намотувальне відділення:*

  холодний період: $Q_{лhf}^{хп} = q_{hf} \cdot n = 1248$ Вт

- *Нікелювальне відділення:*

  холодний період: $Q_{лhf}^{хп} = q_{hf} \cdot n = 416$ Вт

- *Склад матеріалів:*

  холодний період: $Q_{лhf}^{хп} = q_{hf} \cdot n = 157$ Вт

- *Склад готової продукції:*

  холодний період: $Q_{лhf}^{хп} = q_{hf} \cdot n = 157$ Вт

***Теплонадходження від джерел штучного освітлення***

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв}, \quad (3.14)$$

де $E_{осв}$ - освітленість робочих поверхонь, лк, [3]; $F_{п}$- площа підлоги, м$^2$,табл.1.1 $E_{осв}$ = 170; $q_{осв}$ - питомі тепловиділення від світлодіодних ламп, Вт/(м$^2$·лк)

$q_{осв}$ = 0,1 Вт/(м$^2$·лк) , табл.2.5 [3]; $\eta_{осв}$ - частка теплоти, яка надходить в приміщення: $\eta_{осв}$ =0,85 від світлодіодних ламп; $\eta_{осв}$ =0,55 – для люмінесцентних світильників.

- *Токарне відділення:*

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} = 170 \cdot 293{,}42 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}85 = 4239{,}92 \text{ Вт}$$

- *Збірне відділення:*

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} = 150 \cdot 324 \cdot 0{,}058 \cdot 0{,}55 = 1550{,}4 \text{ Вт}$$

- *Зварювальне відділення:*

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} = 797{,}35 \text{ Вт}$$

- *Фарбувальне відділення:*

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} = 1560{,}17 \text{ Вт}$$

- *Просочувальне і шліфувальне відділення:*

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} = 1560{,}17 \text{ Вт}$$

- *Намотувальне відділення:*

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} = 766{,}86 \text{ Вт}$$

- *Нікелювальне відділення:*

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} = 1590{,}51 \text{ Вт}$$

- *Склад готової продукції:*

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} = 1021{,}32 \text{ Вт}$$

- *Склад матеріалів:*

$$Q_{осв} = E_{осв} \cdot F_{п} \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} = 546{,}54 \text{ Вт}$$

Розрахунки наведені в таблиці 3.3.1

***Теплонадходження від устаткування з електродвигунами:***

$$Q_{ст} = 1000 \cdot N \cdot (1 - k_{п} \cdot \eta + k_{т} \cdot k_{п} \cdot \eta) \cdot k_{с}\,, \qquad (3.15)$$

де N- номінальна встановлена напруженість електродвигуна, кВт; $k_{п}$-коефіцієнт повноти загрузки електродвигуна ($k_{п}$= 1 при завантаженні від 1 до 0,5); η- ККД електродвигуна, табл.2.11 [3]; $k_{т}$-коефіцієнт переходу теплоти в приміщення ; $k_{с}$-коефіцієнт попиту на електроенергію

Загальна потужність електродвигунів встановленого обладнення механічного устаткування для таких приміщень як:

- *Токарне відділення:*

*Токарно виткорізний верстат, 6 шт ( N =1,5 кВт )*

*Вертикально-обробний верстат з ЧПК, 2 шт ( N =15 кВт )*

*Точило, 2 шт ( N =2,2 кВт )*

*Токарний верстат з ЧПК, 4 шт ( N =12 кВт )*

*Верстат свердильний, 4 шт ( N =1,5 кВт )*

*Стрічкопильний верстат, 2 шт ( N =1,5 кВт )*

*Пристрій для лазерної обробки, 1 шт ( N =6,0 кВт )*

$$Q_{ст} = 1000 \cdot N \cdot (1 - k_п \cdot \eta + k_т \cdot k_п \cdot \eta) \cdot k_с = 1000 \cdot 112{,}4 \cdot (1 - 1 \cdot 0{,}81 + 0{,}9 \cdot 1 \cdot 0{,}81) \cdot 0{,}4 = 41318{,}24 \text{ Вт}$$

- *Збірне відділення:*

*Конвеєр збірний , 2 шт ( N =2,0 кВт )*

*Верстат настільно-свердлильний, 2 шт ( N =0,4 кВт )*

*Верстат для пакування, 6 шт ( N =1,0 кВт )*

*Прес К-281-А, 1 шт ( N =3,5 кВт )*

*Приспособлення для гнуття, 1 шт ( N =0,8 кВт )*

*Стіл ВТК (котролю), 2 шт ( N =0,7 кВт)*

$$Q_{ст} = 1000 \cdot N \cdot (1 - k_п \cdot \eta + k_т \cdot k_п \cdot \eta) \cdot k_с = 1000 \cdot 16{,}5 \cdot (1 - 0{,}90 \cdot 0{,}80 + 1{,}0 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}80) \cdot 0{,}20 = 3300 \text{ Вт}$$

- *Зварювальне відділення :*

*Інверторний напівавтомат (MIG/MAG) , 3 шт ( N =8,5 кВт )*

*Верстат для зачищення швів , 1 шт ( N =2,5 кВт )*

$$Q_{ст} = 1000 \cdot N \cdot (1 - k_п \cdot \eta + k_т \cdot k_п \cdot \eta) \cdot k_с = 10292{,}8 \text{ Вт}$$

- *Фарбувальне відділення:*

*Конвекційна камера, 1 шт ( N =25,0 кВт )*

*Фарбувальна камера, 1 шт ( N =5,0 кВт )*

*Гвинтовий компресор, 1 шт ( N =12,0 кВт )*

$$Q_{ст} = 1000 \cdot N \cdot (1 - k_п \cdot \eta + k_т \cdot k_п \cdot \eta) \cdot k_с = 15439{,}2 \text{ Вт}$$

- *Просочувальне і шліфувальне відділення:*

*Пиловловлювальна установка (циклон) , 1 шт ( N =3,0 кВт )*

*Стрічково-шліфувальний верстат, 4 шт ( N =2,5 кВт )*

*Галтувальний барабан, 1 шт ( N =1,5 кВт )*

*Стенд випробувальний, 2 шт ( N =2,0 кВт )*

*Конвекційна камера, 1 шт ( N =25 кВт )*

*Ванна просочувальна металева, 2 шт ( N =4,5 кВт)*

$$Q_{\text{ст}} = 1000 \cdot N \cdot (1 - k_{\text{п}} \cdot \eta + k_{\text{т}} \cdot k_{\text{п}} \cdot \eta) \cdot k_{\text{с}} = 19299 \text{ Вт},$$

- *Намотувальне відділення:*

*Намотувальний верстат, 6 шт ( N =1,5 кВт )*

$$Q_{\text{ст}} = 1000 \cdot N \cdot (1 - k_{\text{п}} \cdot \eta + k_{\text{т}} \cdot k_{\text{п}} \cdot \eta) \cdot k_{\text{с}} = 3308{,}4 \text{ Вт},$$

- *Нікелювальне відділення:*

*Лабараторний стіл , 1 шт ( N =1,0 кВт )*

*Стіл для очищення води, 1 шт ( N =1,5 кВт )*

*Промивна ванна з барботажем, 1 шт ( N =2,2 кВт )*

*Ванна хімічного обезжирювання, 1 шт ( N =5,0 кВт )*

*Барабан для нікелювання, 1 шт ( N =1 кВт )*

*Ванна гарячої промивки, 1 шт ( N =9 кВт)*

*Соленоїдний випрямлювач, 2 шт ( N =20 кВт)*

$$Q_{\text{ст}} = 1000 \cdot N \cdot (1 - k_{\text{п}} \cdot \eta + k_{\text{т}} \cdot k_{\text{п}} \cdot \eta) \cdot k_{\text{с}} = 21945{,}72 \text{ Вт},$$

Розрахунки занесено до таблиці 3.3.1

***Теплонадходження від остигання обладнання, матеріалів тощо*** $\Phi_{Q\text{обл}}$, Вт, при зміні теплового режиму приміщення (зниження внутрішньої температури повітря при зміні з робочого на черговий режим):

$$\Phi_{Q\text{обл}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{обл}} \cdot c_{\text{обл}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{вч}}) \cdot \beta_{\text{н}}, \qquad (3.16)$$

де $G_{\text{обл}}$ – маса обладнання, кг; $c_{\text{обл}}$ – середня питома теплоємність матеріалу обладнання, кДж/(кг·$^0$С); $\theta_{int.i}$ – розрахункова внутрішня температура повітря під час роботи основної системи опалення, $^o$С; $\theta_{\text{вч}}$ – розрахункова внутрішня температура повітря під час роботи чергової системи опалення, $^o$С; $\beta_{\text{н}} = 1$.

*Токарне відділення:*

$$\Phi_{q\text{обл}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{обл}} \cdot c_{\text{обл}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{вч}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 0{,}278 \cdot 512 \cdot 0{,}46 \cdot (18 - 14) \cdot 1 = 12419{,}71 \text{ Вт}$$

- *Збірне відділення:*

$$\Phi_{q\text{обл}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{обл}} \cdot c_{\text{обл}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{вч}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 2667{,}58 \text{ Вт}$$

- *Зварювальне відділення :*

$$\Phi_{q\text{обл}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{обл}} \cdot c_{\text{обл}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{вч}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 204{,}61 \text{ Вт}$$

- *Фарбувальне відділення:*

$$\Phi_{q\text{обл}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{обл}} \cdot c_{\text{обл}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{вч}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 1519{,}21 \text{ Вт}$$

- *Просочувальне і шліфувальне відділення:*

$$\Phi_{q\text{обл}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{обл}} \cdot c_{\text{обл}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{вч}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 1268{,}57 \text{ Вт}$$

- *Намотувальне відділення:*

$$\Phi_{q\text{обл}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{обл}} \cdot c_{\text{обл}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{вч}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 982{,}12 \text{ Вт}$$

- *Нікелювальне відділення:*

$$\Phi_{q\text{обл}} = 0{,}278 \cdot G_{\text{обл}} \cdot c_{\text{обл}} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{\text{вч}}) \cdot \beta_{\text{н}} = 608{,}71 \text{ Вт}$$

Розрахунки занесено до таблиці 3.3

***Теплонадходження від нагрівальної печі:***

Дано нагрівальну піч розміром 1,5х1,5х2 м, робочий отвір печі розміром 0,4х0,6 м. Стіни цієї печі викладаються двома шарами : верхній - з червоної цегли (δ=0,3 м) та внутрішня футеровка з динасової цегли (δ=0,2 м). Свод печі тришаровий: вогнетривкою цеглою (δ=0,24 м), шлаком (δ=0,05 м) та червоною цеглою (δ=0,12 м) в якості верхнього захисного шару. Температура газів всередині печі $t_{\text{п}}$=1200˚С, а температура повітря в робочій зоні $t_{w.z}$=18˚С

- *Зварювальне відділення :*

*Теплонадходження від устаткування у яких спалюється газоподібне паливо*

$$\Phi_{Q\text{пуст}} = 0{,}278 \cdot B \cdot Q_H^P \cdot k_2 \cdot \eta_{\text{П}} = 0{,}278 \cdot 20 \cdot 34000 \cdot 0{,}127 \cdot 0{,}97 = 23287{,}8 \text{ Вт}$$

де $B$ - витрата палива , кг/год (м$^3$/год ) ; $Q_H^P$ – теплота згорання палива нижча , кДж/м$^3$ ; $\eta_{\text{П}}$ – коефіцієнт неповноти згорання палива для газоподібного – 0,97 . $k_2$ – коефіцієнт , який враховує частку теплоти , що надходить до приміщення

*Таблиця 3.3*

## Теплонадходження від обладнання при переході з основного на черговий режим

| № | Найменування обладнання | Кількість, шт | Маса, кг | Сумарна маса, $G_{обл}$,кг | Різниця температура, оС | $c_{обл}$, кДж/(кг оС) | $Ф_{qобл}$, Вт | $\Sigma Ф_{qобл}$, Вт |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Токарне відділення | | | | | | | | |
| 1 | Точило ТШС-250 | 2 | 65 | 130 | 4,00 | 0,46 | 66 | |
| 2 | Верстат слюсарний | 4 | 85 | 340 | 4,00 | 0,46 | 174 | |
| 3 | Токарно виткорізний верстат 1612в | 6 | 550 | 3300 | 4,00 | 0,46 | 1688 | |
| 4 | Токарний верстат з ЧПК | 4 | 2200 | 8800 | 4,00 | 0,46 | 4501 | |
| 5 | Верстат свердильний | 4 | 280 | 1120 | 4,00 | 0,46 | 573 | |
| 6 | Станок фрезерний 680м | 2 | 620 | 1240 | 4,00 | 0,46 | 634 | |
| 7 | Вертикально-обробний верстат з ЧПК | 2 | 3500 | 7000 | 4,00 | 0,46 | 3581 | |
| 8 | Пристрій для лазерної обробки | 1 | 1800 | 1800 | 4,00 | 0,46 | 921 | |
| 9 | Стрічкопильний верстат | 2 | 275 | 550 | 4,00 | 0,46 | 281 | **12420** |
| Збірне відділення | | | | | | | | |
| 10 | Верстат слюсарно-складальний | 19 | 75 | 1425 | 4,00 | 0,46 | 728,92 | |
| 11 | Конвеєр збірний | 2 | 600 | 1200 | 4,00 | 0,46 | 613,82 | |
| 12 | Верстат настільно свердлильний | 2 | 55 | 110 | 4,00 | 0,46 | 56,267 | |
| 13 | Верстат для пакування | 6 | 160 | 960 | 4,00 | 0,46 | 491,06 | |
| 14 | Прес К-281-А | 1 | 1100 | 1100 | 4,00 | 0,46 | 562,67 | |
| 15 | Приспособлення для гнуття | 1 | 60 | 60 | 4,00 | 0,46 | 30,691 | |
| 16 | Верстат механічного збирання | 2 | 80 | 160 | 4,00 | 0,46 | 81,843 | |
| 17 | Стіл ВТК (контролю) | 2 | 100 | 200 | 4,00 | 0,46 | 102 | **2668** |
| Зварювальне відділення | | | | | | | | |
| 18 | Інверторний напівавтомат (MIG/MAG) | 3 | 45 | 135 | 4,00 | 0,46 | 69,055 | |
| 19 | Стіл для зварювання деталей | 1 | 150 | 150 | 4,00 | 0,46 | 76,728 | |
| 20 | Верстат для зачищення швів | 1 | 80 | 80 | 4,00 | 0,46 | 40,922 | |
| 21 | Стелаж для балонів (MIG/MAG) | 1 | 35 | 35 | 4,00 | 0,46 | 18 | **205** |
| Фарбувальне відділення | | | | | | | | |
| 22 | Конвекційна камера | 1 | 800 | 800 | 4,00 | 0,46 | 409 | |
| 23 | Стіл для охолодження деталей | 1 | 60 | 60 | 4,00 | 0,46 | 31 | |
| 24 | Фарбувальна камера | 2 | 800 | 1600 | 4,00 | 0,46 | 818 | |
| 25 | Стіл для підг. та маскування деталей | 1 | 60 | 60 | 4,00 | 0,46 | 31 | |
| 26 | Гвинтовий компресор | 1 | 450 | 450 | 4,00 | 0,46 | 230 | **1519** |
| Просочувальне і шліфувальне відділення | | | | | | | | |
| 27 | Пиловловлювальна установка | 1 | 200 | 200 | 4,00 | 0,46 | 102 | |
| 28 | Стрічково-шліфувальний верстат | 4 | 180 | 720 | 4,00 | 0,46 | 368 | |
| 29 | Галтувальний барабан | 1 | 150 | 150 | 4,00 | 0,46 | 77 | |
| 30 | Стенд випробувальний | 2 | 200 | 400 | 4,00 | 0,46 | 205 | |
| 31 | Конвекційна камера | 1 | 800 | 800 | 4,00 | 0,46 | 409 | |
| 32 | Ванна просочувальна металева | 1 | 150 | 150 | 4,00 | 0,46 | 77 | |
| 33 | Стіл для охолодження деталей | 1 | 60 | 60 | 4,00 | 0,46 | 31 | **1269** |
| Намотувальне і нікелювальне відділення | | | | | | | | |
| 34 | Намотувальний верстат | 6 | 300 | 1800 | 4,00 | 0,46 | 921 | |
| 35 | Стелаж для котушок | 1 | 120 | 120 | 4,00 | 0,46 | 61 | **982** |
| Нікелювальне відділення | | | | | | | | |
| 36 | Лабараторний стіл | 1 | 100 | 100 | 4,00 | 0,46 | 51 | |
| 37 | Стіл для очищення води | 1 | 100 | 100 | 4,00 | 0,46 | 51 | |
| 38 | Промивна ванна з барботажем | 1 | 150 | 150 | 4,00 | 0,46 | 77 | |
| 39 | Ванна хімічного обезжирювання | 1 | 150 | 150 | 4,00 | 0,46 | 77 | |
| 40 | Ванна декопірування | 1 | 80 | 80 | 4,00 | 0,46 | 41 | |
| 41 | Барабан для нікелювання | 1 | 180 | 180 | 4,00 | 0,46 | 92 | |
| 42 | Ванна гарячої промивки | 1 | 160 | 160 | 4,00 | 0,46 | 82 | |
| 43 | Ванна холодної промивки | 1 | 90 | 90 | 4,00 | 0,46 | 46 | |
| 44 | Соленоїдний випрамлювач | 2 | 90 | 180 | 4,00 | 0,46 | 92 | **609** |

*Таблиця 3.3.1.*

## Загальні теплонадходження в приміщеннях

| Приміщення | Теплонадходження від , Вт | | | | | Всього | Теплонапруженість, Вт/м$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Людей | Штучного освітлення | Остигання обладнання | Механічне устаткування | Інше | | |
| Токарне відділенння | 4160 | 4239,9 | 12419,7 | 41318,2 | | 62137,8 | 28,24 |
| Збірне відділення | 4784 | 1550,4 | 3742 | 3300 | | 13376,4 | 5,5 |
| Склад готової продукції | 157 | 1021,3 | - | - | | 1178,3 | 3,22 |
| Склад матеріалів | 157 | 546,5 | - | - | | 703,5 | 2,48 |
| Зварювальне відділення | 1040 | 797,4 | 204,6 | 10292,8 | 23287,8 | 35622,6 | 143,5 |
| Фарбувальне відділення | 416 | 1560,2 | 1519,2 | 15439,2 | | 18934,6 | 38,97 |
| Просоч. і шліф. відділення | 1248 | 1560,2 | 1268,6 | 19299 | | 23375,8 | 48,1 |
| Намоточне відділення | 1248 | 766,9 | 982,1 | 3308,4 | | 6305,4 | 26,4 |
| Нікелювальне відділення | 416 | 1590,5 | 608,7 | 21945,7 | | 24560,9 | 49,58 |

*Таблиця 3.4.*

## Загальні витрати в приміщеннях

| Приміщення | Витрати теплоти, Вт | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Нагрівання обладнання | Нагрівання транспорту | Нагрівання матеріа та виробів | Всього |
| Токарне відділення | 12419,7 | 785 | 729 | 13933,7 |
| Збірне відділення | 2667,6 | 785 | | 3452,6 |

*Продовження таблиці 3.4*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Склад готової продукц | - | | | - |
| Склад матеріалів | - | | | - |
| Зварювальне відділенн | 204,6 | | | 204,6 |
| Фарбувальне відділенн | 1519,2 | | | 1519,2 |
| Прос. і шліф. Відділен | 1268,6 | | 128 | 1396,6 |
| Намоточне відділення | 982,1 | | | 982,1 |
| Нікелювальне відділен | 608,7 | | 3305,7 | 3914,4 |

# РОЗДІЛ 4

# ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

### 4.1. Розрахунок теплової потужності систем опалення

Відповідно до ДСТУ Б EN 12831-1:2017 [12], проєктне теплове навантаження системи опалення приміщення розраховують за тепловим балансом приміщення:

$$\Phi_{HL,i} = \left(\Phi_{\boldsymbol{T,i}} + \Phi_{\boldsymbol{V,i}}\right) \cdot f_{h,i} + \Phi_{Q,i} + \Phi_{RH,i}\text{, Вт,} \qquad (4.1)$$

де $\boldsymbol{\Phi_{T,i}}$ – трансмісійні тепловтрати через огороджувальні конструкції приміщення, Вт; $\boldsymbol{\Phi_{V,i}}$ – вентиляційні тепловтрати для нагрівання інфільтраційного повітря, яке надходить до приміщення, Вт; $\boldsymbol{f_{h,i}}$ – поправочний коефіцієнт, який враховує висоту приміщення більше ніж 5 м; $\boldsymbol{\Phi_{Q,i}}$ – інші можливі регулярні тепловтрати (з знаком «+») або теплонадходження (з знаком «–») до опалюваного приміщення, Вт; $\boldsymbol{\Phi_{RH,i}}$ – запас потужності системи опалення приміщення, Вт.

Коли режим використання приміщення змінюється з основного на черговий і назад, внутрішня температура знижується або підвищується, що безпосередньо впливає на роботу опалення. Під час переходу на економний режим усі нагріті стіни, конструкції та масивне обладнання поступово остигають, віддаючи своє тепло в простір. Коли ж будівлю повертають до робочого режиму, виникає потреба у додатковій тепловій потужності для їхнього швидкого прогрівання. Величина цієї додаткової енергії безпосередньо залежить від загальної маси верстатів і техніки в залі, теплоємності будівельних матеріалів, глибини зниження температури, відведеного часу на розігрів та можливостей системи керування. Такий запас потужності можна не закладати в проєкт, якщо в будівлі працює сучасна автоматика з погодним регулюванням, а витрати на догрівання конструкцій є мінімальними. Проте для великих виробничих цехів із важким технологічним устаткуванням ці витрати енергії є дуже суттєвими, тому для швидкого відновлення комфортних умов цей запас потужності опалення обов'язково враховують у загальному тепловому балансі приміщення.

Проєктне теплове навантаження системи опалення приміщення за тепловим балансом приміщення визначається за величиною $\pm\Delta\Phi_i$, Вт, що дорівнює різниці між сумарними величинами надходження теплоти $\Sigma\Phi_{\text{теплі}}$ та витратою теплоти $\Sigma\Phi_{\text{витрі}}$ в приміщенні за нормованої температури внутрішнього повітря

Якщо є наявні у приміщенні надлишків тепла $+\Delta Ф$, тобто за позитивної величини різниці між сумарними надходженнями теплоти та витратою теплоти, систему опалення проектують тільки для чергового режиму роботи приміщення.

З урахуванням розрахунків за тепловим балансом приміщення формулу для визначення теплової потужності системи опалення можна розписати у вигляді:

$$\Phi_{HL,i} = \frac{(-\Delta\Phi) \cdot b_1 \cdot b_2}{1 - b}, \text{Вт}, \quad (4.2)$$

де $b_1$, $b_2$ – коефіцієнти, що враховують відповідно додатковий тепловий потік встановлених в опалювальних приладах та додаткові тепловтрати «зарадіаторними» ділянками зовнішніх стін (додаток *Г*, табл. *Г*.3, *Г*.4 [3]); $b$ – частка від недостачі теплоти, яка не врахована в тепловому балансі приміщення (втрата теплоти у процесі остигання теплоносія в подавальних і зворотних магістралях системи опалення, прокладених в неопалювальних приміщеннях; для виробничих приміщень можна прийняти – $b$ = 0,02).

Розрахунки наведено в табл. 4.5 (Додаток Б).

### 4.2. Проєктні рішення по водяній двотрубній системі

1) Технічне рішення системи опалення.

Через мінливі режими роботи та нерівномірність теплового балансу в приміщеннях, у проєкті передбачено шість самостійних ділянок опалення. Для токарного, збірного, намоточного та нікелювального відділень обрано двотрубну систему з супутнім рухом теплоносія. У зварювальному, фарбувальному, просочувальному та шліфувальному цехах через значні теплонадлишки влаштовується двотрубна тупикова система чергового опалення. Розрахункові параметри теплоносія на вході ділянок системи опалення прийнято на рівні параметрів теплоносія на виході теплогенератора: 95-70 °С.

2) Опалювальні прилади

На підприємствах термічної промисловості для опалення приміщень використовують регістри зі сталевих водогазопровідних труб. Встановлювати тут

оребрені труби заборонено, оскільки вони швидко забиваються технологічним пилом, що не лише знижує їхню тепловіддачу, а й створює серйозну небезпеку займання. Для нашої водяної системи опалення прийнято рішення застосувати опалювальні регістри з гладких труб із дворядним розміщенням углиб. Такий вибір є повністю доцільним з технічного, економічного та протипожежного погляду. Для зручності обслуговування кожен прилад обладнується запірними вентилями для можливості його автономного перекриття, а також автоматичними повітряними клапанами.

3) Трубопроводи

Вибираємо сталеві водогазопровідні звичайні труби (ДСТУ 8936-2019). На ділянках перетину з транспортними воротами магістралі прокладаються приховано у спеціальних нішах, де заздалегідь монтуються крани для зливу води. Для безперешкодного видалення повітряних пробок у найвищих точках трубопровідної мережі передбачено встановлення повітряних клапанів. З метою мінімізації марних втрат тепла застосовується теплоізоляція Thermoflex Ultra M. Нею вкривають трубопроводи, розташовані в межах індивідуального теплового пункту (ІТП) та в приміщеннях об'єкта, які не потребують обігріву. Крім того, обов'язковому ізолюванню підлягають усі розподільчі ділянки та лінії підведення теплоносія до опалювальних калориферів «Комфорт» безпосередньо всередині будівлі.

4) Індивідуальний тепловий пункт (ІТП)

Розміщення індивідуального теплового пункту (ІТП) передбачено в окремому допоміжному приміщенні, яке обладнане двома входами: один виходить безпосередньо на вулицю, а інший веде всередину будівлі. Основний комплекс тепломеханічного устаткування підібрано від компанії Danfoss. Для якісного керування тепловим режимом системи опалення застосовано схему з підмішувально-циркуляційними насосами, що дозволяє гнучко коригувати температуру води. Щоб збалансувати тиск між окремими технологічними гілками, на зворотних магістралях монтуються регулятори тиску з функцією дренажу, а на подавальних лініях — запірні вентилі, які також мають можливість зливу теплоносія. Загальна автоматизація вузла реалізована на базі пристроїв фірми Herz,

які забезпечують ефективне погодозалежне регулювання та чітко підтримують температуру у зворотному трубопроводі відповідно до затвердженого температурного графіка.

5) Теплопостачання калориферів

Подача тепла до двох опалювальних завіс та теплообмінника (калорифера) припливної камери організована через дві самостійні гілки від ІТП. Гідравлічне регулювання та ув'язка тиску в контурі виконується за допомогою запірного вентиля з попереднім налаштуванням, який монтується на зворотному трубопроводі, тоді як на подавальній лінії встановлюється стандартна запірна арматура. Для захисту системи від повітряних пробок у найвищих точках труб передбачено автоматичні випускні клапани. Основне спорожнення контуру здійснюється в самому приміщенні ІТП через дренажні вентилі, проте для зручності обслуговування калорифера припливної камери в його найнижчій точці додатково встановлено окремий дренажний кран.

### 4.3. Проєктні рішення по комбінованій системі опалення

У роботі запроєктовано, як другий варіант, комбіновану систему опалення у виробничому приміщенні – збірне відділення цеху.

Комбінована система опаленння складається із фонової та догріваючої систем (відповідно до ДБН В.2.5.-67: 2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування). Фонова система запроєктована двотрубною водяною з опалювальними приладами – трубними регістрами, постійно працюючою і розрахована на часткове обігрівання приміщення з підтриманням внутрішньої температури на рівні 14 $^{o}$C (нормативна внутрішня температура під час чергового режиму). Догріваюча система запроєктована променева з інфрачервоними елекричними обігрівачами, періодично працюючою в робочий час з догріванням для підвищення внутрішньої температури від 14 $^{o}$C до заданої 18 $^{o}$C та підтримання її на цьому рівні при змінах теплового режиму при виконанні технологічних процесів.

Регулювання комбінованою системою передбачене наступне:

- Зміна потужності фонової системи здійснюється відповідно до температурного графіка місця будівництва на вузлі теплового вводу шляхом зміни перепаду температур на вводі при постійній витраті теплоносія.
- Регулювання потужності догріваючої системи здійснюється завдяки зміни електричної потужності обігрівачів за допомогою їх комплектних терморегуляторів відповідно до зміни теплової потужності даної системи, зокрема зміни величини співвідношення між тепловтратами і теплонадходження під час виконання технологічних процесів.

***Розрахунок та підбір інфрачервоних електричних обігрівачів***

Розрахунок виконано для догріваючої променевої системи опалення збірного відділення. У якості обігрівачів прийнято електричні регульовані випромінювачі типу «Білюкс» [17].

За рекомендованою методикою виробників загальну кількість обігрівачів можна визначити за формулою:

$$N=N_x \times N_y, \quad (4.3)$$

де $N_x = X/L$ – кількість обігрівачів по стороні X;

$N_y = Y/(L+W)$ – кількість обігрівачів по стороні Y;

X, Y – відповідно, поперечний і поздовжній розміри приміщення, м;

I, W – інтервали між випромінювачами залежно від висоти їх монтажу у приміщенні, рекомендовані величини яких наведено в табл. 4.1

*Таблиця 4.1*

**Інтервали між випромінювачами**

| Висота монтажу | H, м | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Поперечний інтервал | I, м | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10,5 | 11,5 |
| Повдовжній інтервал | W, м | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Вихідні дані для розрахунку:

▪ потужність системи опалення у черговий режим роботи ($\theta_{int.i}$ = 14 °С)

$Ф_{HL, черг}$ = 28017 Вт;

▪ потужність системи опалення в основний режим роботи ($\theta_{int.i}$ = 18 °С)

$Ф_{HL, осн}$ = 30846 Вт;

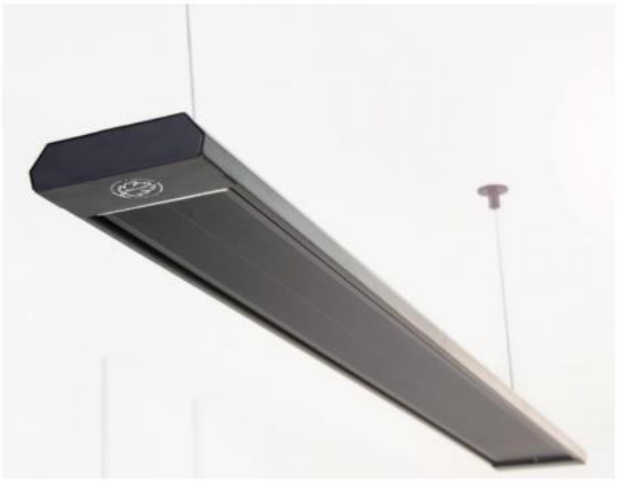
▪ потужність фонової системи опалення в основний режим роботи при величині внутрішньої температури $\theta_{int.i}$ = 14 °С

$Ф_{HL, фон}$ = 23992 Вт;

▪ потужність догріваючої системи опалення в основний режим роботи для підвищення внутрішньої температури від 14 °С до $\theta_{int.i}$ = 18 °С

$Ф_{HL, догр}$ = 6855 Вт.

Прийнято до установки інфрачервоні електричні випромінювачі потужністю 1000 Вт (рис. 4.1).



**Технічні характеристики**

Потужн. номінал, Вт. 1000
Потужн. спожив. Вт.*300
Напруга, В/Гц 220/50
Габ.розм., мм 1542 х 163 х 40
Вага, кг 4
Опал., м2 (основне) до 10
Опал., м2 (додаткове)* до 20
мін. висота, м 2,6
Гарантія, років 3 / 7 / 25
https://bilux.ua/bilux-bw-b1000/

Рис. 4.1. Електричний довгохвильовий обігрівач Білюкс Б1000

При висоті монтажу обігрівачів H = 5 м для частини приміщення збірного відділення з розмірами X = 12 м  Y = 25 м:

▪ число поперечних рядів – 2,

▪ число поздовжніх рядів – 3,

▪ кількість обігрівачів Білюкс Б1000 – 7 шт.

На частині приміщення з розмірами в плані 6,0*6,0 м встановлюємо один обігрівач Білюкс Б1000.

Тобто загальна потужність обігрівачів Білюкс Б1000, запроєктованих в догріваючій системі опалення (їх розміщення див. креслення – лист 3), складає 7000 Вт, що перевищує потрібну потужність на 2 %.

### 4.4. Гідравлічний розрахунок розподільних трубопроводів системи опалення

Система водяного опалення – це розгалужена мережа трубопроводів, по якій розподіляється теплоносій між опалювальними приладами, що знаходиться у постійному циркуляційному русі протягом всього опалювального періоду. Для опалення виробничих приміщень застосовуються переважно двотрубні системи з насосною циркуляцією теплоносія. Гідравлічний розрахунок системи опалення виробничих приміщень виконується за стандартними методиками [1, 13, 14].

Метою гідравлічного розрахунку є точне визначення діаметрів трубопроводів та забезпечення правильної взаємної ув'язки всіх циркуляційних кілець у системі опалення. Таке балансування досягається завдяки підбору спеціальної регулювальної арматури, яка компенсує втрати тиску на окремих ділянках мережі.

На основі результатів обчислень визначаються конкретні робочі налаштування для терморегуляторів, приєднувальної гарнітури, а також ручних і автоматичних балансувальних клапанів. Усі знайдені монтажні значення обов'язково фіксуються в проєктній документації та виставляються на обладнанні під час пусконалагоджувальних робіт, що гарантує подачу точного розрахункового об'єму теплоносія в кожне циркуляційне кільце системи.

*Послідовність гідравлічного розрахунку трубопроводів*

Гідравлічний розрахунок виконують за оптимальними швидкостями руху теплоносія на кожній ділянці або за заданим циркуляційним тиском для системи опалення.

Під час виконання гідравлічного розрахунку рекомендується брати такі розрахункові швидкості руху теплоносія: для сталевих труб – 0,3...0,5 м/с, для полімерних труб - 0,5...0,7 м/с (за питомих втрат тиску на тертя в межах 100...200(400-500) Па/м).

Гідравлічний розрахунок систем опалення базується на рівнянні визначення втрат тиску на розрахунковій ділянці:

$$\Delta P = \Delta P_л + \Delta P_м, \quad (4.4)$$

де $\Delta P_л$– лінійні втрати тиску, які спричинені опорами тертя в трубах; $\Delta P_м$ – втрати тиску в місцевих опорах, обумовлені зміною структури потоку (зміною напрямку, злиттям, розділенням, тощо) у фітингах, запірно-регулювальних пристроях та обладнанні.

Втрати тиску в системі опалення під час виконання гідравлічного розрахунку здебільшого розраховуються за двома такими способами, а саме: за питомими лінійними втратами тиску та за характеристикою гідравлічного опору.

У насосних системах водяного опалення переважно виконують розрахунки за другим способом, втрати тиску на ділянці розраховують за даною формулою:

$$\Delta P = S \cdot G^2, \quad (4.5)$$

де $G$ – витрата води на розрахунковій ділянці, кг/год; $S$ – характеристика гідравлічного опору ділянки, Па/(кг/год)$^2$, яку визначають за формулою:

$$S = A \cdot \xi_{пр}, \quad (4.6)$$

де А – питомий динамічний тиск на ділянці, який виникає за витрати теплоносія в ній $G$ = 1 кг/год, Па/(кг/год)$^2$; $\xi_{пр}$ – приведений коефіцієнт опору ділянки:

$$\xi_{пр} = \left(\frac{\lambda}{d}\right) \cdot l + \Sigma\xi, \quad (4.7)$$

де $\Sigma\xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів; $l$ – довжина розрахункової ділянки, м.

Розрахункові втрати тиску на ручній балансувальній арматурі (вентилі, крани тощо), окрім конструкції з вбудованим витратомірним пристроєм (шайба, труба і ін.) беруть не менше ніж 3 кПа.

За питомою величиною *G*/*w* розраховують фактичну швидкість руху води на ділянці:

$$w = \frac{G}{\frac{G}{w}}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \tag{4.8}$$

Характеристика гідравлічного опору розрахункової ділянки дорівнює:

$$S = \text{S}_{\text{пр}} \cdot l + \text{S}_{\text{v}} \tag{4.9}$$

Витрату води в системі опалення (на виході з вузла теплового вводу), $G_{\text{со}}$, кг/год, визначають за даною формулою:

$$\text{G}_{\text{со}} = \frac{3{,}6 \cdot \Phi_{HL}}{c \cdot \Delta t_{\text{со}}}, \tag{4.10}$$

де $\Phi_{HL}$ – це теплова потужність системи опалення, Вт; $c$ – це питома теплоємність води, яка дорівнює 4,19 кДж/(кг·$^0$С); $\Delta t_{\text{со}} = (t_{\text{г}} - t_{\text{о}})$ – це різниця температур теплоносія на вході в систему опалення $t_{\text{г}}$ і на виході з неї $t_{\text{о}}$, $^{\text{o}}$С.

Витрата мережної води (на вводі вузла теплового вводу), $G_{\text{т}}$, кг/год:

$$\text{G}_{\text{т}} = \frac{3{,}6 \cdot \Phi_{\text{a}}}{c \cdot \Delta \text{T}}, \tag{4.11}$$

де $\Phi_a$ – теплова потужність на вводі абонента, Вт; $\Delta T = (T_1 – T_2)$ – різниця температур теплоносія в тепловій мережі на вводі до будівлі, $^{\text{o}}$С.

Витрата води $G_{\text{діл і}}$, кг/год, у будь-якій розрахунковій ділянці системи опалення дорівнює:

$$G_{\text{ діл і}} = \text{G}_{\text{со,і}} \cdot \varphi_{\text{і}}, \tag{4.12}$$

де $\varphi_{\text{і}}$ – частка загальної витрати води, яка тече і-тою ділянкою, розраховується за формулою:

$$\varphi_{\text{і}} = \frac{\Phi_{HL,\text{і}}}{\Phi_{HL}}, \tag{4.13}$$

де $\Phi_{HLi}$ – теплове навантаження *i*-тої розрахункової ділянки, Вт.

Результати розрахунку наведено в табл. 4.2.

*Таблиця 4.2.*

**Гідравлічний розрахунок магістральних трубопроводів двохтрубної системи опалення**

| Номер розрахункової ділянки | Теплове навантаження ділянки | Коефіцієнт проходу теплового та гідравлического потоків | Витрата води на ділянці | Довжина ділянки | Діаметр трубопроводу | Приведений коефіцієнт тертя | Питома витрата води | Питомий динамічний тиск | Швидкість води на ділянці | Сумма коефіцієнтів місцевих опорів | Приведений коефіцієнт місцевих опорів | Характеристика опору ділянки | Втрати тиску на ділянці | Загальні втрати тиску | Примітка |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № діл. | $Q_{діл}$, Вт | φ | G, кг/год | l, м | d, мм | $\lambda/d$, $м^{-1}$ | G/v, (кг/год)/(м/с) | $A*10^{-4}$, Па/(кг/год)$^2$ | V, м/с | $\Sigma\xi$ | $\xi_{пр}$ | S, Па/(кг/год)$^2$ | $\Delta P_{діл}$, Па | $\Sigma\Delta P$, Па | Перелік місцевих опорів |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| ІТП-1 | 16984 | 1,0000 | 584 | 23,91 | 20 | 1,77072 | 1235 | 0,0003186 | 0,473 | 11,5 | 53,838 | 0,017153 | 5855 | 5855 | відвід відігнутий 90 °-1*6шт=6, кран прохідний - 4, трійник на відгалудження 1, раптове звуження -0,5 |
| ІТП"-1" | 16984 | 1,0000 | 584 | 28,11 | 20 | 1,77072 | 1235 | 0,00031861 | 0,473 | 11,5 | 61,275 | 0,019523 | 6664 | 12519 | відвід відігнутий 90°-1*6шт=6, кран прохідний - 4, трійник на відгалудження 1, раптове звуження -0,5 |
| 1-2 | 12738 | 0,7500 | 438 | 7,00 | 15 | 2,57749 | 677,55 | 0,0010593 | 0,647 | 10 | 28,042 | 0,029704 | 5703 | 18223 | відвід відігнутий 90°-1*5шт=5, кран прохідний - 4, трійник на відгалудження 1 |
| 1"-2" | 12738 | 0,7500 | 438 | 7,00 | 15 | 2,57749 | 677,55 | 0,0010593 | 0,647 | 10 | 28,042 | 0,029704 | 5703 | 23926 | відвід відігнутий 90°-1*5шт=5, кран прохідний - 4, трійник на відгалудження 1 |
| 2-3 | 8492 | 0,5000 | 292 | 7,00 | 15 | 2,57749 | 677,55 | 0,0010593 | 0,431 | 10 | 28,042 | 0,029704 | 2535 | 26461 | відвід відігнутий 90°-1*5шт=5, кран прохідний - 4, трійник на відгалудження 1 |
| 2"-3" | 8492 | 0,5000 | 292 | 7,00 | 15 | 2,57749 | 677,55 | 0,0010593 | 0,431 | 10 | 28,042 | 0,029704 | 2535 | 28996 | відвід відігнутий 90°-1*5шт=5, кран прохідний - 4, трійник на відгалудження 1 |
| 3-4 | 4246 | 0,2500 | 146 | 7,00 | 15 | 2,57749 | 677,55 | 0,0010593 | 0,216 | 10 | 28,042 | 0,029704 | 634 | 29630 | відвід відігнутий 90°-1*6шт=6, кран прохідний - 4 |
| 3"-4" | 4246 | 0,2500 | 146 | 7,00 | 15 | 2,57749 | 677,55 | 0,0010593 | 0,216 | 10 | 28,042 | 0,029704 | 634 | 30263 | відвід відігнутий 90°-1*5шт=5, кран прохідний - 4, трійник на відгалудження 1 |

### 4.5. Розрахунок та підбір опалювальних приладів

Метою теплового розрахунку опалювальних приладів є забезпечення необхідного теплового потоку в приміщення шляхом точного підбору габаритів і типорозмірів сталевих панельних радіаторів чи конвекторів, обчислення оптимальної кількості секцій для секційного обладнання (чавунного, біметалевого тощо), а також визначення площі поверхні нагрівання для пристроїв, виготовлених із гладких сталевих труб.

Потрібний тепловий потік опалювального приладу $Ф_н^{потр}$, Вт, приведений до нормованих умов, визначають за формулою:

$$\Phi_{\text{н}}^{\text{потр}} = \frac{\Phi_{\text{оп}}}{\varphi \cdot b \cdot c \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3}, \tag{4.14}$$

де φ – сумарний коефіцієнт, що враховує відмінність розрахункових величин температурного напору та витрати води в опалювальному приладі від нормованих:

$$\varphi = \varphi_1 \cdot \varphi_2 = \left(\frac{\Delta t_{\text{р}}}{\Delta t_{\text{н}}}\right)^{1+n} \cdot \left(\frac{\text{G}_{\text{р}}}{\text{G}_{\text{н}}}\right)^{p}, \tag{4.15}$$

де $\Delta t_{\text{р}}$ – розрахунковий температурний напір, °С; $\Delta t_{\text{н}}$ – нормований температурний напір , $\Delta t_{\text{н}}$=70 °С; $G_{\text{р}}$/ $G_{\text{н}}$ =1- поправковий коефіцієнт, який враховує зміну теплового потоку ОП при відмінності розрахункової витрати води $G_{\text{оп}}$ від $G_{\text{н}}$=360- нормована витрата води в ОП, кг/год; $n$ , $p$ і $c$ – емпіричні показники (дод. Є, табл.Є.1 [6]); $b$ – коефіцієнт, що враховує барометричний тиск у районі будівництва; $\psi_1$– коефіцієнт, що враховує зменшення теплового потоку опалювального приладу при русі води в ньому для схеми «зверху-вниз»- $\psi_1$ = 1; $\psi_2$ -коефіцієнт, що враховує зменшення теплового потоку опалювальних приладів при розташуванні їх в два чи більше рядів по вертикалі $\psi_2$ =0,85; $\psi_3$ -коефіцієнт, що враховує зменшення теплового потоку опалювальних приладів в момент розташування їх у декілька рядів за глибиною (при однорядній установці приладів за глибиною $\psi_3$= 1).

Температурний напір в опалювальному приладі:

$$\Delta t_{\text{р}} = \Delta t_{\text{вх}} - \frac{\Delta t_{\text{оп}}}{2} - \Delta t_{\text{в}}, \tag{4.16}$$

де: $t_{вх}$– температура води, яка надходить в опалювальний прилад, $t_{вх}$= $t_г$ =95 $^0$С; $\Delta t_{о.п.}$–перепад температур води в опалювальному приладі,$^0$С; $t_в$ – розрахункова температура повітря в приміщенні, °С.

Перепад температур води, який у кожному опалювальному приладі двотрубної системи опалення визначають за формулою:

$$\Delta t_{оп} = \frac{0{,}86 \cdot Ф_{пв} \cdot b_2 \cdot b_3}{G_{пв}}, \quad (4.17)$$

де $Ф_{п.в.}$ – сума тепловтрат приміщень, що обслуговують приладовою віткою ($Ф_{п.в.}$ = $\sum Ф_{1прі}$), Вт; $b_3$ – коефіцієнт, що враховує спосіб установки опалювального приладу (при відкритій установці – $b_3$ = 1); $G_{п.в.}$ – витрата води в приладовій вітці, кг/год:

$$G_{пв} = \frac{0{,}86 \cdot Ф_{пв}}{c \cdot \Delta t_{со}}. \quad (4.18)$$

За урахування величини (-$\Delta Ф$) – різниці між сумарними теплонадходженнями та витратою теплоти у приміщенні за нормованої температури внутрішнього повітря, визначеної під час складання теплового балансу приміщень, теплову потужність опалювальних приладів можна визначити за формулою:

$$Ф_{оп} = \left(|-\Delta Ф| - 0{,}9 \cdot Ф_{тр}\right) \cdot b_2 \cdot b_3, \quad (4.19)$$

де (-$\Delta$Ф) – недостача тепла в середені приміщення, Вт; $Ф_{тр}$ – тепловіддача трубопроводів системи опалення, прокладених в опалюваному приміщенні, Вт

Тепловіддача від трубопроводів системи опалення:

$$Ф_{тр} = q_{тр} \cdot \left(l_{верт} + 1{,}28 \cdot l_{гор}\right), \quad (4.20)$$

де $q_{тр}$ – це тепловий потік одного погонного метра відкрито прокладених у приміщенні вертикальних сталевих труб, який залежить від діаметра і температурного напору $\Delta t^{тр}_{т}$ Вт/м; $l_{верт}$ – довжина вертикальних труб, м; $l_{гор}$ – довжина горизонтально прокладених труб, м.

*Розрахунок опалювальних приладів токарного відділення*

Визначаємо витрату води в приладовій вітці, кг/год:

$$G_{пв} = \frac{0{,}86 \cdot Ф_{пв}}{\Delta t_{со}} = \frac{0{,}86 \cdot 16984}{(95-70)} = 584{,}25 \frac{кг}{год}.$$

Визначаємо перепад температур води у кожному опалювальному приладі двотрубної системи опалення за даною формулою:

$$\Delta t_{\text{оп}} = \frac{0{,}86 \cdot \Phi_{\text{пв}} \cdot b_2 \cdot b_3}{\text{G}_{\text{пв}}} = \frac{0{,}86 \cdot 16984 \cdot 1{,}02 \cdot 1}{584{,}25} = 25{,}5 \ ℃.$$

Визначаємо температурний напір в опалювальному приладі:

$$\Delta t_{\text{р}} = \Delta t_{\text{вх}} - \frac{\Delta t_{\text{оп}}}{2} - \Delta t_{\text{в}} = 95 - \frac{25{,}5}{2} - 18 = 64{,}25 \ ℃.$$

Звідси сумарний коефіцієнт, що враховує відмінність розрахункових величин температурного напору та витрати води в опалювальному приладі від нормованих дорівнює:

$$\varphi = \varphi_1 \cdot \varphi_2 = \left(\frac{\Delta t_{\text{р}}}{\Delta t_{\text{н}}}\right)^{1+n} \cdot \left(\frac{\text{G}_{\text{р}}}{\text{G}_{\text{н}}}\right)^{p} = \left(\frac{64{,}25}{70}\right)^{1+0{,}32} \cdot 1 = 0{,}89.$$

Тепловіддача від трубопроводів системи опалення:.

$\Phi_{\text{тр}} = q_{\text{тр}} \cdot \left(l_{\text{верт}} + 1{,}28 \cdot l_{\text{гор}}\right) = 95 \cdot (2{,}2 + 1{,}28 \cdot 47{,}07) + 75 \cdot (2{,}2 + 1{,}28 \cdot 42) = 10129$ Вт

Теплову потужність опалювальних приладів можна визначити за формулою:

$\Phi_{\text{оп}} = \left(|-\Delta\Phi| - 0{,}9 \cdot \Phi_{\text{тр}}\right) \cdot b_2 \cdot b_3 = (|-16650| - 0{,}9 \cdot 10129) \cdot 1{,}02 \cdot 1 = 7684{,}6$ Вт

Необхідний тепловий потік опалювального приладу $\Phi_{н}^{потр}$, Вт, приведений до нормованих умов, визначають за даною формулою:

$$\Phi_{\text{н}}^{\text{потр}} = \frac{\Phi_{\text{оп}}}{\varphi \cdot b \cdot c \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3} = \frac{7684{,}6}{1{,}26 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}85 \cdot 1} = 7175{,}1 \text{ Вт}$$

*Таблиця 4.3*

| Назва приміщення | G кг/год | $\Delta t_{\text{оп}}$ ˚С | $\Delta t_{\text{г}}$ ˚С | $\varphi_1$ | $\Phi_{\text{тр}}$, Вт | $\Phi_{\text{о.п}}$, Вт | $\Phi_{\text{н}}^{\text{потр}}$, Вт |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Токарне відділення | 584,3 | 25,5 | 64,25 | 0,89 | 9603 | 7684,6 | 7175,1 |

Розрахунок конструкції опалювального пристрою.

За величиною потрібного теплового потоку $Ф_н^{потр}$ підбирається необхідний опалювальний прилад з фактичним тепловим потоком $Ф_н^{факт}$, Вт.

Опалювальні прилади із гладких сталевих труб розробляють за необхідною площею нагрівання:

$$F_н^{потр} = \frac{Ф_н^{потр}}{k_{тр} \cdot \Delta t_{тр}}, \quad (4.21)$$

де $k_{тр}$ – це коефіцієнт теплопередачі для гладких сталевих труб, Вт/(м$^2$·°С); $\Delta t_{тр}$ – різниця середньої температури теплоносія в приладі і внутрішньої температури повітря, °С:

$$\Delta t_{тр} = 0,5 \cdot (t_{вх} + t_{вих}) - t_в = 0,5 \cdot (95+70) - 18 = 64,5 \text{ °C}$$

де $t_{вх}$, $t_{вих}$ – температури теплоносія, °С, відповідно на вході і виході опалювального приладу.

Тоді, $F_н^{потр} = \frac{Ф_н^{потр}}{k_{тр} \cdot \Delta t_{тр}} = \frac{7175,1}{10,5 \cdot 64,5} = 10,59$ м$^2$

Площа одного регістра:

$$F_{р1} = \frac{F_н^{потр}}{n} = \frac{8,33}{4} = 2,64 \text{ м}^2$$

*Таблиця 4.4*

| Назва приміщення | Система обладнання | $F_н^{потр}$, м$^2$ | К-ть приладів, n, шт | $F_{р1}$, м$^2$ | Опалювальний прилад | $F_{ном}$, м$^2$ | Нев'язка,% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Токарне відділення | СО-1 | 8,33 | 4 | 2,64 | РСП-2х89х3,5-4500 | 2,28 | 1,15 |

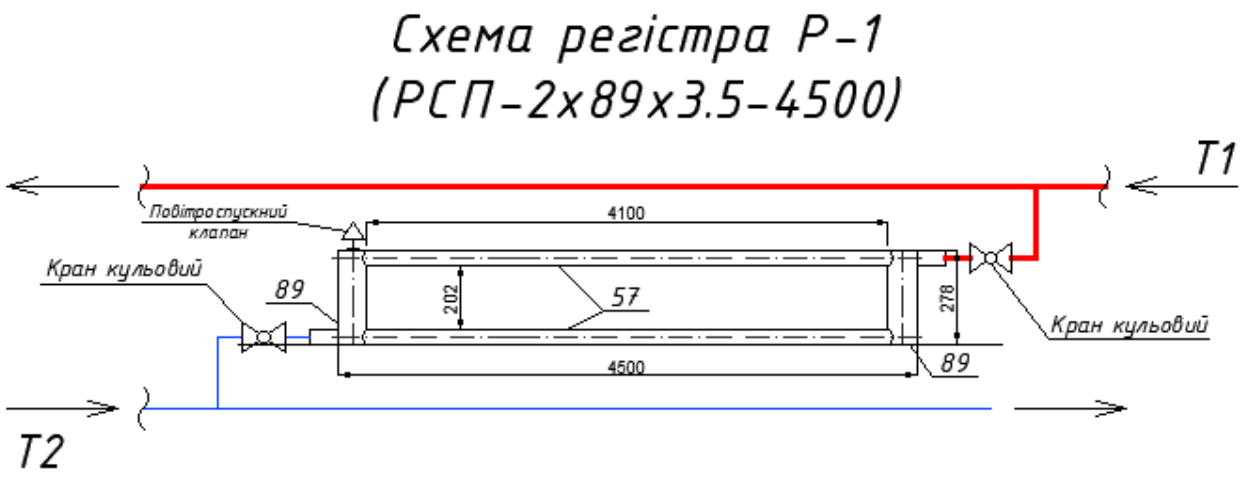



Рис. 4.2. Схема регістра РСП-2х89х3.5-4500

https://registru.com.ua

*Таблиця 4.6*

***Відомість регістра РСП-2х89х3,5-4500***

| Позначення | $D_{тр1}$ | n, кількість труб | $D_{тр2}$ | $L_1$ | $L_2$ | Н | В | $F_{ном}$ | *Кількість приладів* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| РСП-2х89х3,5-4500 | 57 | 2 | 89 | 4500 | 4100 | 278 | 76 | 2,28 | 8 |

# РОЗДІЛ 5

# ПРОЄКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ НА БІОПАЛИВІ

### 5.1. Вихідні дані для проєктування котельні.

Проєктування індивідуального автономного джерела теплопостачання (прибудованої твердопаливної котельні) для забезпечення мікроклімату та виробничих потреб металообробного цеху в м. Рівне базується на детальному аналізі структури теплового споживання. Розрахунок параметрів основного та допоміжного інженерного обладнання котельного вузла виконується з урахуванням специфіки внутрішніх технологічних процесів, архітектурно-планувальних рішень будівлі та кліматологічних характеристик району будівництва. Головною метою проєктування є покриття нормативних трансмісійних, вентиляційних і технологічних витрат теплоти для підтримання заданого теплового балансу приміщень.

Комплекс вихідних параметрів і нормативно-технічних відомостей, покладених в основу подальшого розроблення розділу, зструктуровано за такими визначальними блоками:

*1. Структура та величини розрахункових теплових навантажень.* За результатами проведених теплотехнічних розрахунків огороджувальних конструкцій, дослідження теплового режиму залів і ліній підготовки поверхонь, визначено диференційовані потреби цеху в тепловій енергії. Сумарний баланс теплоспоживання об'єкта складається з таких регламентованих потоків:

- Навантаження на систему водяного опалення приміщень (Qоп*):* 90 кВт (забезпечення компенсації трансмісійних тепловтрат через стіни, покриття, вікна та підлогу);
- Навантаження на систему припливної вентиляції (Qвент): 100 кВт (нагрівання нормативного об'єму припливного зовнішнього повітря для виробничих зон);
- Навантаження на систему гарячого водопостачання (Qгвп): 10 кВт (забезпечення санітарно-гігієнічних потреб персоналу цеху);

- Навантаження на технологічні процеси лінії (Qтех): 85 кВт (теплота для підтримання температурних режимів у ваннах хімічного обезжирювання, декопірування та гарячої промивки з барботажем);
- Розрахунковий інженерний запас потужності котельні (Qзап): 15 кВт (компенсація пускових теплових навантажень та можливих міжсезонних коливань).

Сумарна встановлена теплопродуктивність автономного джерела теплоти з урахуванням усіх складових становить:

$Q_{сумарне}$ = 90 + 100 + 10 + 85 + 15 = 300 кВт (0,3 МВт).

*2. Технічний профіль обраного котельного агрегату.* Для покриття обчисленого навантаження у 300 кВт до встановлення приймається автоматизований стаціонарний водогрійний котел марки КВМ(а)-0,3 виробництва компанії «Крігер». Відповідно до вимог надійності та графіку роботи теплової мережі цеху, обрано модифікацію з розрахунковим робочим тиском 5 бар (0,5 МПа).

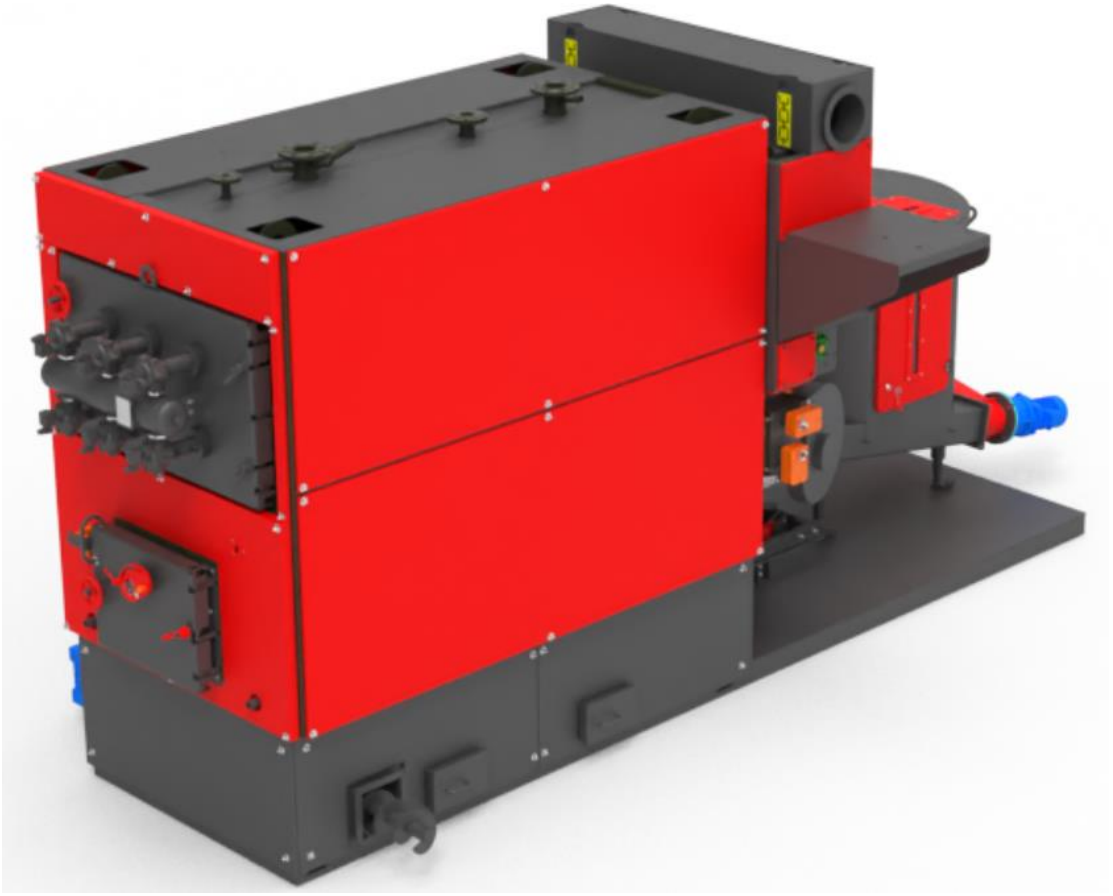


Рис. 5.1 Котел КВМ(а)-0,3

Обладнання має такі паспортні характеристики:

- Номінальна теплова потужність*:* 300 кВт (0,3 МВт);
- Граничний тиск у водяному тракті*:* 0,5 МПа (5 бар);
- Гідравлічний тиск під час випробувань (пробний): 0,75 МПа (7,5 бар);
- Параметри розрахункового температурного графіка*:* 95 °С / 70 °С ;
- Гранична температура нагріву води на виході: 115 °С ;
- Коефіцієнт корисної дії (ККД брутто) на номінальному режимі: 91,0%;
- Аеродинамічний опір котла: 180 Па;
- Тип паливника: механізований, із рухомою колосниковою решіткою та системою автоматичного золовидалення.

*3. Елементний склад та теплотворні властивості біопалива.* Як енергетичний ресурс для спалювання запроєктовано відновлюване біопаливо — деревні паливні пелети (гранули) класу A1/A2 згідно з ДСТУ EN ISO 17225-2:2018. Матеріальний розрахунок процесів горіння та визначення об'ємів димових газів базується на такому хімічному складі сухої речовини палива:

- Вуглець ($C^r$): 49,5%;
- Кисень ($O^r$): 31,4%;
- Водень ($H^r$): 6,3%;
- Азот ($N^r$): 0,74%;
- Сірка ($S^r$): 0,76%;
- Розрахункова вологість палива ($W^r$): 9,8%;
- Зольність робочої маси палива ($A^r$): 1,5%.

### 5.2. Проєктні рішення по котельні

У даному підрозділі представлено обґрунтування та специфікацію інженерного обладнання автономного джерела теплопостачання на базі одного стаціонарного водогрійного твердопаливного котла КВМ(а)-0,3 виробництва компанії «Крігер» номінальною теплопродуктивністю 300 кВт (0,3 МВт). Організація процесу високотемпературного спалювання деревних пелет у

топковому пристрої з рухомою колосниковою решіткою та зонною подачею повітря забезпечує мінімальну емісію шкідливих речовин. Екологічна безпека відхідних газів та уловлювання дрібнодисперсних частинок золи досягається завдяки інтегрованій високоефективній системі внутрішньокотельного циклонічного пиловловлювання та подальшого відведення продуктів згорання через ізольовану димохідну систему.

*Базові проєктні та конструктивні рішення*

Формування комплексу технічних рішень здійснювалося з жорстким дотриманням вимог чинної нормативно-правової бази України, зокрема: ДБН В.2.5-10:2018 «Котельні» та Наказу Міністерства соціальної політики України № 333 від 05.03.2018 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском».

Для унеможливлення руйнування несучих елементів будівлі у разі виникнення позаштатного аварійного зростання тиску, приміщення обладнане легкоскидними огороджувальними конструкціями.

Світлопрозорі віконні прорізи котельного залу з колишнього боку захищені спеціалізованою металевою сіткою, що запобігає розлітанню осколків скла в разі аварії. За рівнем надійності постачання теплової енергії об'єкт віднесено до II категорії, за пожежною небезпекою виробничих процесів — до категорії «Г», а будівельні конструкції відповідають ступеню вогнестійкості IIIа. Технологічний цикл теплогенерації повністю автоматизований, що дозволяє експлуатувати котельню без постійного перебування обслуговуючого персоналу в залі.

*Комплекс протипожежних заходів*

Проєктування будівельної та інженерної частин автономного джерела теплопостачання виконано відповідно до вимог пожежної безпеки таких нормативних документів:

- ДБН В.2.5-10:2018 «Котельні»;

- Кодекс цивільного захисту України (в частині забезпечення пожежної безпеки);
- НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні»;
- ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»;
- ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»;

Попередження пожежних ризиків та локалізація можливих займань у приміщенні котельні забезпечується впровадженням таких проєктних рішень:

1. Просторово-планувальна структура та межа вогнестійкості матеріалів будівлі повністю відповідають параметрам класу вогнестійкості IIIа.
2. Первинне пожежогасіння забезпечується розміщенням двох сертифікованих порошкових вогнегасників типу ВП-9(з) (місткістю по 9 кг), а також встановленням стандартного пожежного щита, укомплектованого шансовим інструментом (багор, лопата, конічне відро) та ящика із сухим піском об'ємом 0,5 м³.
3. Для ліквідації загорянь на ранніх стадіях запроєктовано систему внутрішнього протипожежного водопроводу, підключену до господарсько-питної мережі. Система укомплектована пожежною шафою з двома кранами, які гарантують подачу води у дві точки з мінімальною витратою 2,5 л/с на кожну струмину.
4. До транспортних воріт будівлі забезпечено безперешкодний під'їзд пожежної та рятувальної техніки. Робочі та евакуаційні виходи орієнтовані безпосередньо назовні, при цьому корисна ширина дверних прорізів становить не менше В > 1,2 м.
5. Шляхи горизонтальної евакуації мають ширину проходів не менше 1,0 м, а максимальні вертикальні перепади висот (пороги, сходинки) обмежені нормативною величиною до 450 мм.
6. Стороннім особам, а також персоналу, який не пройшов курс спеціалізованого навчання, протипожежного інструктажу та не має кваліфікаційних посвідчень встановленого зразка, доступ до приміщення котельні суворо заборонено.

*Заходи з енергозбереження та підвищення енергоефективності*

З метою раціонального розподілу та економії паливно-енергетичних ресурсів у проєкті реалізовано такі інженерні рішення:

- Впровадження автоматизованого контролеру погодного регулювання, що коригує температуру теплоносія на виході з котельні (95-70℃) відповідно до коливань температури зовнішнього повітря в м. Рівне.
- Автоматичне переведення системи опалення в економний режим зі зниженням теплової потужності котла в неробочі години доби та вихідні дні.
- Розподіл і контроль генеруючого навантаження за споживачами: на опалення спрямовується 90 кВт, на вентиляційні системи 100 кВт, на потреби ГВП 10 кВт, а на нагрів ванн технологічної лінії 85 кВт, за наявності 15 кВт резерву потужності.
- Оптимізація коефіцієнта надлишку повітря в топці котла КВМ(а)-0,3 для забезпечення максимального вигорання пелет та зниження температури відхідних газів до рівня 140–160°С.
- Мінімізація втрат теплоти в навколишнє середовище шляхом покриття тіла котла, борових каналів та внутрішніх трубопроводів сучасною теплоізоляцією (мінераловатними циліндрами та матами з низьким коефіцієнтом теплопровідності).
- Організація повного приладового обліку ресурсів: встановлення ультразвукового лічильника виробленої теплової енергії, лічильників сирої та підживлювальної води, а також багатотарифного електронного лічильника спожитої електроенергії.
- Захисні конструкції самої будівлі котельні (стінові та покрівельні сендвіч-панелі) за своїм опором теплопередачі повністю задовольняють вимоги ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель».
- Оснащення місцевих опалювальних приладів (регістрів) всередині котельні індивідуальними термостатичними клапанами.
- Реалізація системи штучного робочого освітлення із застосуванням високоефективних промислових світлодіодних (LED) світильників низької встановленої потужності.

*Тепломеханічні рішення*

Автономна прибудована котельня призначена для теплозабезпечення виробничого корпусу в м. Рівне. Загальне розрахункове теплове навантаження об'єкта становить 300 кВт (0,3 МВт). Диференційована структура споживання теплоти має такий вигляд:

- на систему водяного опалення цеху — 90 кВт;
- на систему припливної вентиляції — 100 кВт;
- на гаряче водопостачання (ГВП) — 10 кВт;
- на технологічний нагрів розчинів у лінійних ваннах — 85 кВт;
- інженерний резерв потужності теплогенератора — 15 кВт.

Система теплопостачання запроєктована закритиною, а внутрішні розподільчі мережі — двотрубними з примусовою циркуляцією. Гідродинамічна стабільність та розділення котельного і споживчих контурів забезпечуються встановленням гідравлічного розділювача (гідрострілки).

Джерелом теплоти виступає один стаціонарний водогрійний котел КВМ(а)-0,3 (фірми «Крігер») номінальною потужністю 300 кВт. Модифікація обладнання розрахована на максимальний робочий тиск 5 бар (0,5 МПа) із температурним графіком мережної води 95–70°С. Як енергетичний ресурс (паливо) використовуються деревні паливні пелети, спалювання та подача яких у топку повністю автоматизовані.

*Шлакозоловидалення*

Згідно з паспортними даними робочої маси використовуваних деревних пелет, показник зольності становить Ar=1,5%. Враховуючи малу потужність котла (300 кВт), абсолютна кількість утворюваного твердого залишку є незначною. Процес золовидалення у котлі серії «Еко» повністю механізований: за допомогою внутрішніх конструктивних елементів попіл автоматично скидається у підтопковий простір, звідки шнековим транспортером переміщується у герметичний зовнішній контейнер. Очищення контейнера виконується періодично в ручному режимі.

*Хімводоочистка (ХВП)*

Для попередження утворення накипу на внутрішніх поверхнях нагріву котла та забезпечення його стабільного ККД на рівні не менше 85%, підживлювальна вода підлягає обов'язковому зм'якшенню. У проєкті прийнято двокорпусну автоматичну установку Na-катіонування продуктивністю до 1,0 м³/год. Стабільний тиск на вході в систему ХВП (у межах необхідних для котла 3–6 бар) підтримується за допомогою підживлювального насоса типу Jet. Об'єм бака запасу хімводоочищеної води прийнято у розмірі 2,5% від загальної ємності системи теплопостачання.

*Мембранний розширювальний бак*

З огляду на те, що робочий тиск теплоносія для обраного котла становить 3–6 бар, у проєкті передбачено встановлення герметичного мембранного розширювального бака закритиого типу (наприклад, серії *Reflex NG*). Об'єм бака розрахований на компенсацію температурного розширення води при її нагріванні до 95°С та підтримання стабільного статичного тиску в системі без контакту теплоносія з атмосферним повітрям.

*Насосне обладнання*

Для забезпечення примусової циркуляції води та подолання гідравлічного опору контурів підібрано мережну насосну групу з частотним регулюванням (рекомендовано марку *Wilo Stratos MAXO*). Параметри насоса розраховані на забезпечення циркуляції води об'ємом, необхідним для покриття сумарної потужності цеху (300 кВт) та її збалансованого розподілу між споживачами: опалення (90 кВт), вентиляція (100 кВт), ГВП (10 кВт) та технологічні ванни (85 кВт).

*Очищення відхідних газів*

Вміст сірки в робочій масі палива становить Sп+or=0,76%, що потребує контролю за станом відхідних газів. Заводська конструкція котла «Крігер» потужністю 300 кВт містить інтегрований внутрішній циклонний елемент (мультициклон), який уловлює летючу золу під дією відцентрових сил. Продукти згорання з початковою температурою 250 °С примусово видаляються за допомогою

ексгаустера (димососа) через ізольовану димову трубу. Висока температура газів (250°С) повністю виключає ризик утворення конденсату та сірчанокислотної корозії всередині стовбура труби.

### 5.3. Матеріальний баланс спалювання деревних пелет

*Таблиця 5.1*

Розрахункові характеристики робочої маси твердого палива

| | Склад робочої маси, % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Деревні пелети | $C^r$ | $H^r$ | $N^r$ | $O^r$ | $S^r_{p+o}$ | $A^r$ | $W^r$ |
| | 49,5 | 6,3 | 0,74 | 31,4 | 0,76 | 1,5 | 9,8 |
| | $Q^r_н$, МДж/кг | | | | | | |
| | 19,67 | | | | | | |

Примітка. $Qнr$ – нижча теплота згоряння, МДж/кг

Розрахунок теоретичного і дійсного об'ємів дуттьового повітря

Мінімально необхідний (теоретичний) об'єм сухого повітря (приблизно 21 % $O_2$ по об'єму повітря) для повного згоряння 1 кг твердого палива (при коефіцієнті надлишку повітря α=1), м3/кг, дорівнює:

$$V0^н=0{,}0889(C^r+0{,}375\cdot S^r p+o)+0{,}265\cdot H^r-0{,}033\cdot O^r. \quad (5.1)$$

$$Vo^н = 0{,}0889(49{,}5+0{,}375\cdot 0{,}76)+0{,}265\cdot 6{,}3-0{,}033\cdot 31{,}4 = 5{,}06 \text{ м3/кг}.$$

У практичних умовах спалювання по причині нерівномірного змішування повітря з паливом на горіння подається повітря з деяким надлишком. Тобто, дійсний об'єм повітря, Vп, м$^3$/кг, що поступає в зону горіння, визначається з урахуванням коефіцієнту його надлишку:

$$Vпн=\alpha V0^н=V0^н+(\alpha-1)V0^н, \quad (5.2)$$

$$Vп\ н = 5{,}06+(1{,}25-1)*\ 5{,}06 = 6{,}33 \text{ м}^3/\text{кг}$$

де $\alpha=V_п/V_0$ – коефіцієнт надлишку повітря;

$(\alpha-1)V_0^н$ – додаткове повітря при α >1, м$^3$/кг.

При спалюванні в теплогенераторі коефіцієнт надлишку $\alpha$ в межах 1,2-1,3.

*Розрахунок теоретичного і дійсного об'ємів продуктів згоряння*

Теоретичні об'єми продуктів згоряння, отримані при повному згорянні з теоретично необхідною кількістю повітря (коефіцієнт надлишку повітря α=1) за стехіометричними рівняннями з урахуванням відповідних компонентів в паливі і повітрі, м3/кг, визначають за наступними рівняннями:

▪ триатомних газів $CO_2$ та $SO_2$:

$$V_{RO2}^{H} = 0{,}01866(C^r + 0{,}375 \cdot S_{p+o}^r) \quad (5.3)$$

$$V^{н}_{RO2} = 0{,}01866 \cdot (49{,}5 + 0{,}375 \cdot 0{,}76) = 0{,}93 \text{ м}^3/\text{кг}$$

▪ азоту:

$$V_{0N_2}{}^{н} = 0{,}79 \cdot V_0{}^{н} + 0{,}008 \cdot N^r, \quad (5.4)$$

$$V^{н}_{oN2} = 0{,}79 \cdot 5{,}06 + 0{,}008 \cdot 0{,}74 = 4{,}00 \text{ м}^3/\text{кг}$$

▪ водяної пари:

$$V_{0H2O}{}^{н} = 0{,}111 \cdot H^r + 0{,}0124 \cdot W_t{}^r + 0{,}0161 \cdot V_0{}^{н} \quad (5.5)$$

$$V^{н}_{oH2O} = 0{,}111 \cdot 6{,}3 + 0{,}0124 \cdot 9{,}8 + 0{,}0161 \cdot 5{,}06 = 0{,}90 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Сумарний теоретичний об'єм продуктів згоряння (при α=1), м$^3$/кг, дорівнює:

$$V_{0г}{}^{н} = V_{RO_2}{}^{н} + V_{0N_2}{}^{н} + V_{0H_2O}{}^{н}. \quad (5.6)$$

$$V^{н}_{ог} = 0{,}93 + 4{,}00 + 0{,}90 = 5{,}83 \text{ м3/кг}$$

Розрахунок дійсних об'ємів продуктів згоряння, м3/кг, твердого палива виконують наступним чином:

▪ повітря, яке подається на горіння, не містить в своїй структурі триатомних газів, тому від додаткового повітря (коефіцієнт надлишку повітря $\alpha$>1) не змінюється їх кількість:

$$V_{RO_2}^{н} = V_{ф RO_2}^{н} \quad (5.7)$$

$$V^{н}_{RO2} = 0{,}93 \text{м}^3/\text{кг}$$

▪ двоатомних газів:

$$V_{N_2}^{н} = V_{0N_2}^{н} + (\alpha - 1)V_0^{н} \quad (5.8)$$

$$V^{н}_{N2} = 4{,}00 + (1{,}25\text{-}1) * 5{,}06 = 5{,}27 \text{ м}^3/\text{кг}$$

▪ водяної пари:

$$\mathrm{V}^{\mathrm{н}}_{\mathrm{H_2O}} = \mathrm{V}^{\mathrm{н}}_{0\mathrm{H_2O}} + 0{,}0161(\alpha - 1)V^{\mathrm{н}}_0 \quad (5.9)$$

$V^{н}_{H2O}$= 0,90 + 0,0161*(1,25-1)*5,06 = 0,92м$^3$/кг

Повний (дійсний) об'єм продуктів згоряння, м3/кг, при спалюванні 1 кг твердого палива за подачі дійсного об'єму повітря (α>1) при нормальних умовах визначають за даним рівнянням:

$$\mathrm{V}^{\mathrm{н}}_{\mathrm{г}} = \mathrm{V}^{\mathrm{н}}_{RO_2} + \mathrm{V}^{\mathrm{н}}_{N_2} + \mathrm{V}^{\mathrm{н}}_{\mathrm{H_2}O} \quad (5.10)$$

$V^{н}_{г}$= 0,93 + 5,27 + 0,92 = 7,12 м$^3$/кг.

*Розрахунок витрати палива*

Витрату палива, В, кг/с, визначають за даним рівнянням:

$$B = \frac{10^5 \cdot 3{,}6 \cdot Q_{\text{тг}}}{Q^r_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{зв}}} \quad (5.11)$$

$$B = \frac{10^5 \cdot 3{,}6 \cdot 0{,}30}{19{,}67 \cdot 85{,}0} = 64{,}6 \text{ кг/год} = 0{,}017 \text{ кг/с}$$

Розрахункова витрата палива, Вр, кг/с, для визначення об'ємів дуттьового повітря і продуктів згоряння дорівнює при q4 = 0,8 %:

$$\mathrm{B_р} = \mathrm{B}\left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \quad (5.12)$$

$$\mathrm{B_р} = 64{,}6 * \left(1 - \frac{0{,}8}{100}\right) = 64{,}1 \text{ кг/год.}$$

Повний (дійсний) об'єм продуктів згоряння, м3/кг, при спалюванні Вр кг твердого палива за подачі дійсного об'єму повітря (α=1,25) при нормальних умовах визначають за даним рівнянням:

$$V_{\mathrm{г}} = \mathrm{V}^{\mathrm{н}}_{\mathrm{г}}\mathrm{B_р} \quad (5.13)$$

$V_г$= 7,12*64,1 = 456,4 м$^3$/год = 0,13 м$^3$/с

При спалювання твердого палива концентрацію твердих частинок (золи) у продуктах спалювання, кг/м3, визначаємо за даним рівнянням:

$$C_1 = A^r \frac{\alpha_{\text{ун}}}{V^{\text{н}}} \cdot 10^{-2} \quad (5.14)$$

$$\text{C}_1 = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}2}{7{,}12} = 0{,}00042 \text{ кг/м}^3 = 0{,}42 \text{ г/м}^3,$$

де $A^r$ – зольність палива на робочу масу, %;

$\alpha_{вин}$ – частка золи палива, що виноситься газами (її величина залежить від виду твердого палива та способу спалювання і приймають лише виходячи з технічних характеристик топкових камер) – прийнято до камери з твердим шлаковидаленням $\alpha_{вин}$=0,2.

### 5.4. Розрахунок і підбір циклону

Циклон відноситься до групи відцентрових пиловловлювачів і при очищенні продуктів спалювання використовується, як правило, в якості першого ступеня очищення. Конструктивна схема даного пилоочисного апарату наведена на рис.5.3.

Забруднений газ потрапляє всередину циклону через вхідний патрубок. Через обертально-поступальний рух потоку виникає відцентрова сила, яка притискає частинки пилу або золи до стінок корпусу. Внаслідок цього вони втрачають швидкість і разом із частиною газу опускаються в бункер. У самому бункері під дією сил інерції потік різко змінює свій напрямок на 180°, завдяки чому частинки остаточно відокремлюються від газу. Очищене повітря через центральну частину корпусу піднімається вгору, формуючи внутрішній вихор, і залишає апарат. Основним визначальним параметром (характерним розміром) для циклону є діаметр його корпусу.

Метою розрахунку цього пилоочисного апарату є обчислення діаметра його корпусу для подальшого вибору стандартизованого типорозміру, оцінка ефективності очищення, а також визначення кінцевої концентрації пилу у відхідних газах на виході з циклона.

Залежно від типу циклону ЦН-11 оптимальна швидкість повітря в перерізі циклону $v_0$=3,5м/с.

Визначаємо необхідну площу перерізу циклону F, м$^2$:

$$F = \frac{V_{\text{сц}}}{3600 \cdot v_0} \tag{5.15}$$

$$F = \frac{874,4}{3600 * 3,5} = 0,07 \text{ м}^2$$

де $V_{\text{сц}}$ - об'ємна витрата димових газів на вході в циклон, м$^3$ /год:

$$V_{\text{сц}} = V_c \times \frac{(t_{\text{відх}}) + 273}{273} \tag{5.16}$$

$$V_{\text{сц}} = 456,4 \times \frac{250 + 273}{273} = 874,4 \text{ м}^3/\text{год} = 0,24\text{м}^3/\text{с}$$

$v_0$ - оптимальна швидкість повітря в перерізі циклону (довідкові дані), м/с.

Визначаємо діаметр циклону D, попередньо прийнявши кількість циклонів n,м:

$$D = 1,13 * \sqrt{\frac{F}{n}}, \tag{5.17}$$

$$D = 1,13 * \sqrt{\frac{0,07}{1}} = 0,298 \text{ м}$$

де n – прийнята кількість циклонів, шт.

Приймаємо найближчий стандартний діаметр циклону $D_1$=300мм

Визначаємо динамічну в'язкість газу, μ, Па·с:

$$\mu = 1,75 * 10^{-5} * (\frac{273 + t_{\text{г}}}{273})^{0,683} \tag{5.18}$$

$$\mu = 1,75 * 10^{-5} * (\frac{273 + 250}{273})^{0,683} = 2,73 * 10^{-5} \text{ Па}$$

де $t_г$=$t_{відх}$ – температура газі на вході в циклон, °С.

Визначаємо аеродинамічний опір циклону $\Delta P_ц$, Па:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi_{\text{ц}} \cdot \left( \frac{p_{\text{г}} \cdot (v_{0)}^2}{2} \right) \tag{5.19}$$

$$\Delta P_{\text{ц}} = 46{,}75 \cdot \left( \frac{0{,}808 \cdot (4{,}43_{)}^2}{2} \right) = 370{,}5 \text{ Па}$$

де $\rho_{\mathcal{г}}$ - густина димових газів при $t_г=t_{відх}$, кг/м$^3$;

$\xi_{ц}$ - коефіцієнт місцевого опору, який визначається з урахуванням поправочних коефіцієнтів [20] за формулою:

$$\xi_{\text{ц}} = к_1 \cdot к_2 \cdot \xi_0 + \Delta\xi_0 = 1*0{,}94*12{,}5+35=46{,}75,$$

де $к_1$– коефіцієнт, що залежить від діаметра циклону; $к_1$=1;

$к_2$ – поправочний коефіцієнт на запиленість повітря; $к_2$=0,94;

$\xi_0$– коефіцієнт місцевого опору циклону; $\xi_0$=5,2;

$\Delta\xi_0$ – коефіцієнт, що залежить від компонування циклонів; $\Delta\xi_0$ =35 (компоновка прямокутна з відводом очищеного повітря з загального колектора).

Густина газів дорівнює:

$$p_r = 1{,}29 \cdot \frac{273}{273 + t_r} \tag{5.20}$$

$$p_r = 1{,}29 \cdot \frac{273}{273 + 250} = 0{,}67 \text{ кг/м}^3$$

Завдяки графіку фракційної ефективності очищення [20] визначається розмір пилу $d_{50}$ с ефективністю уловлювання 50% циклону ЦН-11 і прийнятих умов: $d_{50}$=2,7 мкм.

Для визначення ефективності підібраного циклону та швидкості руху газів, його в'язкості та густини розраховується значення $d^1_{50}$, мкм, за формулою:

$$d^1_{50} = 548{,}5 \cdot d_{50} \cdot \sqrt{\frac{D_1 \cdot \mu \cdot v_0}{p_r \cdot v_0^{`}}} \tag{5.21}$$

$$d^1_{50} = 548{,}5 \cdot 2{,}7 \cdot \sqrt{\frac{0{,}3 \cdot 2{,}73 \cdot 10^{-5} \cdot 3{,}5}{0{,}67 \cdot 3{,}5}} = 5{,}18 \text{ мкм}$$

де $D_1$ - діаметр циклону, м;

На графік фракційної ефективності [14] очищення наноситься точка з координатами 50% і $d^1_{50}$, з якої проводиться лінія, паралельна лініям на графіків, яка визначає фракційну ефективність очищення запроектованого циклону.

За заданим медіанним діаметром $d_m$=11.5 мкм, знаходимо відповідну точку на осі X, проводимо перпендикуляр до перетину з побудованою прямою запроектованого циклону. З цієї точки перетину проводимо горизонтальну пряму до осі Y, на якій знаходимо ефективність очищення підібраного циклону $n_ц$=80%.

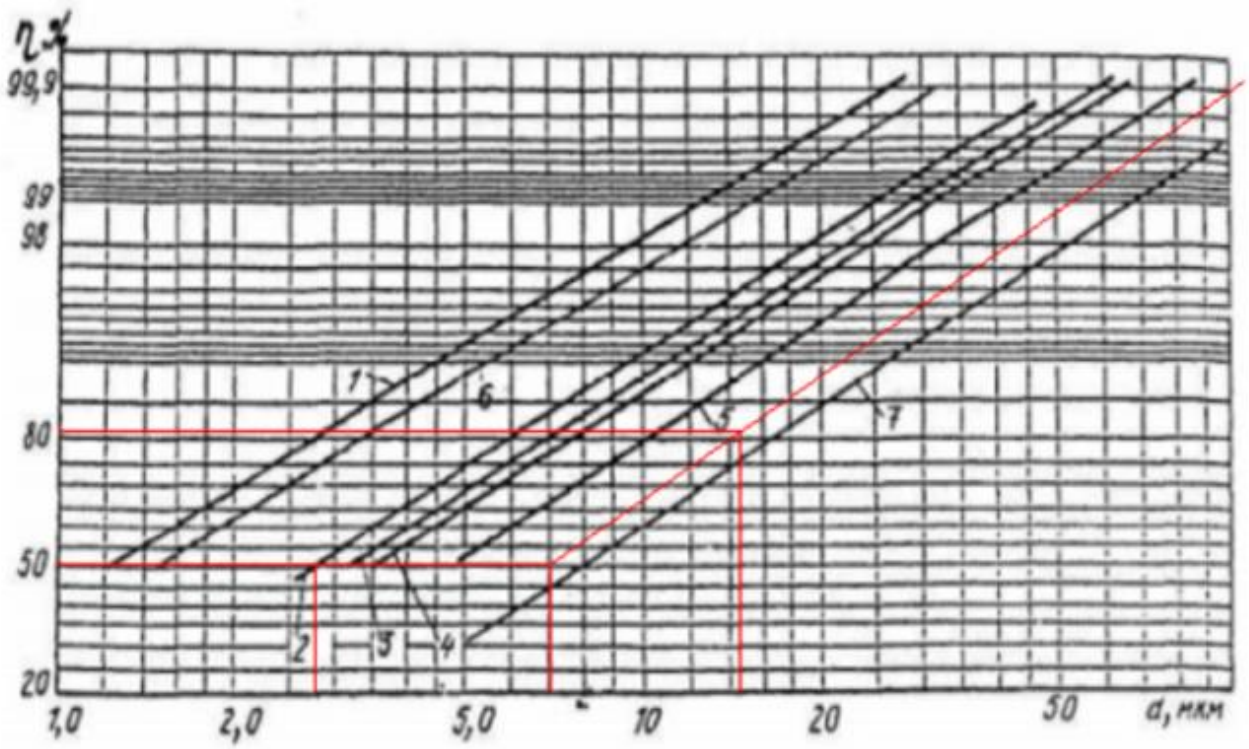



Рис. 5.2 фракційна ефективність очищення в циклонах

Концентрація пилу в очищеному газі на виході з циклонів, мг/м$^3$, визначено за рівнянням:

$$C_2 = C_1 \cdot \left(1 - \frac{n_п}{100}\right) \quad (5.22)$$

$$C_2 = 420 \cdot \left(1 - \frac{80}{100}\right) = 84 \text{ мг/м}^3$$

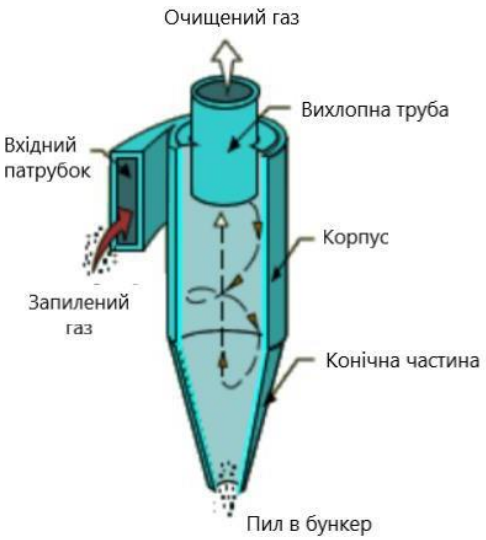



Рис. 5.3 Схема циклону

# РОЗДІЛ 6

# ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ МОНТАЖУ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

## 6.1. Технології монтажу систем опалення виробничих приміщень

Технологія монтажу систем опалення в промислових цехах, ангарах та логістичних комплексах має виражену специфіку, що відрізняє її від житлово-цивільного будівництва [25-30]. Великі геометричні об'єми приміщень, значна висота стель (від 6 до 18 метрів і більше), наявність мостових кранів та іншого технологічного обладнання зумовлюють вибір специфічних способів опалення. Найбільш поширеними у промисловому секторі є системи водяного опалення високих параметрів (із застосуванням регістрів або конвекторів), системи повітряного опалення на базі рециркуляційних агрегатів, а також системи променистого (інфрачервоного) опалення.

Сучасний підхід до монтажних робіт базується на принципах максимальної індустріалізації. Це передбачає перенесення найбільш трудомістких заготівельних, складальних та зварювальних процесів із безпосереднього будівельного майданчика в умови спеціалізованих монтажно-заготівельних майстернях (МЗМ) або заводів-виготовлювачів. На об'єкті виконується переважно укрупнена збірка та монтаж готових технологічних блоків і вузлів.

### 6.1.1. Підготовчі роботи до монтажу систем опалення виробничих приміщень

Якість, безпека та темпи виконання монтажних робіт закладаються на стадії інженерно-технічної, матеріальної та організаційної підготовки. До початку безпосереднього розгортання робіт на будівельному майданчику монтажна організація спільно з генеральним підрядником повинна виконати комплекс підготовчих заходів, які поділяються на документальні, матеріально-технічні та виробничі.

*Інженерно-технічна та документальна підготовка*

Основою для виконання робіт є Проєкт виконання робіт (ПВР), який розробляється на базі затвердженої проєктно-кошторисної документації (стадія «Р»). У складі ПВР детально опрацьовуються такі документи:

- Технологічні карти (ТК) на окремі види складних робіт (наприклад, зварювання магістральних трубопроводів великих діаметрів, монтаж підстелевих інфрачервоних панелей або агрегатів повітряного опалення за допомогою вантажопідйомних механізмів);
- Схеми суміщеного виконання робіт (графіки взаємодії з загальнобудівельними, електромонтажними та вентиляційними організаціями);
- Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці на висоті (відповідно до НПАОП 0.00-1.15-07) та пожежної безпеки під час виконання вогневих (зварювальних) робіт.

Додатково проводиться вивчення робочих креслень лінійним інженерно-технічним персоналом (виконробами, майстрами), перевіряється ув'язка трас опалення з іншими інженерними комунікаціями (силовими кабелями, повітроводами, технологічними продуктопроводами) для виключення просторових колізій.

*Логістична підготовка та організація робіт у монтажно-заготівельних майстернях (МЗМ)*

Для мінімізації витрат часу на будівельному майданчику організовується потік заготівлі елементів систем опалення в МЗМ. Цей процес регламентується вимогами ДСТУ та включає такі послідовні технологічні операції:

1. *Вхідний контроль матеріалів та обладнання*: Усі трубні вироби (сталеві електрозварні, безшовні, полімерні), запірно-регулююча арматура, фланці, фітинги, КВПіА та опалювальні прилади проходять обов'язкову дефектовку. Візуально перевіряється відсутність тріщин, раковин, значних осередків корозії, порушень геометрії. Перевіряється наявність сертифікатів відповідності та паспортів якості.

2. *Розмітка та розкрій труб*: За допомогою механізованих верстатів (дискових пил, газорізальних автоматів) сталеві труби нарізаються на ділянки проєктної довжини.

3. *Зняття фасок та підготовка крайок:* Для забезпечення якісного зварного шва краї сталевих труб піддаються механічній обробці торців із формуванням кута скосу крайок 30∘…35∘ відповідно до вимог ГОСТ 16037-80.

4. *Виготовлення укрупнених вузлів та блоків*: Проводиться збирання та зварювання лінійних ділянок трубопроводів (батогів) довжиною 6…12 м, елементів колекторних вузлів, обв'язок насосних груп та розподільчих шаф. Також у МЗМ виготовляються нестандартизовані опалювальні прилади, такі як регістри з гладких сталевих труб.

5. *Стендові гідравлічні випробування вузлів:* Перед відправкою на об'єкт усі укрупнені вузли та касети піддаються первинному гідравлічному випробуванню на міцність та герметичність на спеціальних стендах.

6. *Консервація та маркування:* Торцеві отвори готових вузлів закриваються полімерними або дерев'яними інвентарними заглушками для запобігання потраплянню всередину пилу, вологи та будівельного сміття. На кожен вузол наноситься маркування фарбою відповідно до монтажної схеми.

*Облаштування приоб'єктного складського господарства*

На території будівельного майданчика організовуються місця тимчасового складування. Важке обладнання (насоси, теплообмінники, промислові котли, великі АПО) складується на відкритих майданчиках із навісами або у тимчасових закритих складах на дерев'яних підкладках товщиною не менше 50 мм. Трубні заготовки розсортовуються за діаметрами та марками сталі й укладаються у штабелі заввишки не більше 1,2 м із використанням прокладок між рядами для виключення самовільного скочування. Запірна арматура та прилади автоматизації зберігаються виключно в сухих, опалювальних приміщеннях.

### 6.1.2. Особливості монтажу систем опалення

Монтаж систем опалення у виробничих приміщеннях виконується після досягнення будівельної готовності об'єкта і має чітку послідовність операцій, яка залежить від конструктивних особливостей інженерного рішення.

*Технологія зварювання та монтажу промислових трубопроводів*

Основним конструкційним матеріалом для магістралей промислового опалення великих діаметрів (Dy>50 мм) є сталеві труби. Монтаж трубопроводів ведеться укрупненими батогами. Зважаючи на висотне розташування мереж (під стелею, вздовж підкранових балок), роботи виконуються з використанням мобільних підйомних платформ (ножичних або телескопічних підйомників).

Технологічний процес монтажу лінійної частини трубопроводів складається з таких підетапів:

- *Геодезична розмітка траси*: За допомогою лазерних ротаційних нівелірів на колони та ферми переносяться проєктні осі. Визначаються місця встановлення рухомих та нерухомих опор з урахуванням обов'язкового ухилу трубопроводів. Згідно з нормами, ухил магістралей водяного опалення повинен бути не менше 0,002 (для забезпечення ефективного випуску повітря та можливості повного спорожнення системи), а для паропроводів — не менше 0,006 у напрямку руху пари.
- *Монтаж засобів кріплення*: Встановлюються опорні конструкції. Кріплення до залізобетонних колон здійснюється за допомогою розпірних анкерів або приварюванням до сталевих закладних деталей. Кріплення до металевих ферм виконується за допомогою болтових струбцин або зварювання. Відстань між опорами розраховується з умов недопущення провисання труби та виникнення додаткових напружень.
- *Складання та зварювання стиків за місцем*: Трубні ланки піднімають на проєктну відмітку, укладають на рухомі опори та суміщають торці за допомогою інвентарних ланцюгових чи кліщевих центрувальних пристроїв. Зварювання стиків виконується ручним електродуговим методом (електродами типу УОНИ-13/55 або

аналогами з основним покриттям) або напівавтоматичним зварюванням у середовищі захисного газу (аргон, вуглекислий газ). Зварювальний процес проводиться у два або три шари (кореневий, заповнюючий та лицьовий валики) для забезпечення максимальної щільності з'єднання.

- *Контроль якості зварних з'єднань*: Усі зварні шви підлягають візуально-вимірювальному контролю (ВВК) за допомогою шаблонів зварника для виявлення підрізів, напливів, непроварів чи пор. Відповідно до специфікацій проєкту промислових об'єктів, визначений відсоток стиків (зазвичай від 5% до 10% для систем опалення та до 100% для високотемпературних паропроводів) перевіряється неруйнівними методами контроля: ультразвуковою дефектоскопією (УЗД) або радіографічним (рентгенографічним) методом.

*Розрахунок та монтаж вузлів температурної компенсації*

Через значну протяжність цехів промислових підприємств і високу температуру теплоносія (95…115°С і більше), сталеві трубопроводи зазнають суттєвих термічних деформацій. Для запобігання руйнуванню зварних стиків та деформації колон будівлі, технологія передбачає розділення трубопроводів на незалежні ділянки за допомогою нерухомих опор із обов'язковим встановленням між ними елементів компенсації.

Осьове видовження ділянки трубопроводу розраховується за формулою:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot (T_{\text{теплоносія}} - T_{\text{монтажу}}) \qquad (6.1)$$

де:

- α=1,2· $10^{-5}К^{-1}$— коефіцієнт лінійного теплового розширення вуглецевої сталі;
- L — відстань між сусідніми нерухомими опорами, м;
- $T_{\text{теплоносія}}$— максимальна розрахункова температура гарячої води або пари в системі, °С;
- $T_{\text{монтажу}}$ — температура повітря на об'єкті під час фіксації нерухомих опор, °С.

Для компенсації використовуються такі технологічні рішення:

*П-подібні компенсатори*: Виготовляються з гнутих або зварних відводів. Їх монтаж виконується у горизонтальній або вертикальній площині. При монтажі П-подібних компенсаторів обов'язково здійснюється їхній попередній натяг у холодному стані на величину, що дорівнює $\Delta L / 2$. Це дозволяє вдвічі знизити внутрішні напруження в металі при виході системи на робочий температурний режим.

*Виконання теплоізоляційних робіт на промислових об'єктах*

Теплова ізоляція трубопроводів є обов'язковим етапом технологічного процесу і виконується після успішного проведення гідравлічних випробувань. Головна мета — мінімізація втрат теплової енергії магістралями під час транспортування теплоносія від теплового пункту до кінцевих споживачів (регістрів).Технологія ізоляції включає:

- Антикорозійна підготовка: очищення поверхні труб від іржі та двошарове ґрунтування.
- Основна ізоляція: укладання базальтових мінераловатних циліндрів або матів упритул із перев'язкою швів. Вони фіксуються в'язальним дротом або стрічками з кроком 300…400 мм.
- Захисний кожух (окожушка): для захисту від механічних пошкоджень поверх вати монтується лист оцинкованої сталі (0,5…0,7 мм) або алюмінію. Стики з'єднуються внахлест (30…50 мм) і фіксуються заклепками чи саморізами.

### 6.1.3 Монтаж вузла обв’язки циркуляційного насосу

Технологічний процес монтажу вузла обв'язки циркуляційного насосного устаткування є одним із найвідповідальніших етапів розгортання тепломеханічної схеми індивідуального теплового пункту виробничого корпусу. Відповідно до прийнятих проєктних рішень, у даному вузлі застосовується насосний агрегат, який суміщає циркуляційну та змішувальну (підмішувальну) функції. Це обладнання забезпечує не лише примусовий рух теплоносія по контурах цеху, а й якісне

автоматичне регулювання температури води шляхом контрольованого підмішування охолодженого зворотного теплоносія у подавальний трубопровід.

З метою мінімізації трудомісткості робіт безпосередньо на будівельному майданчику, збирання цього вузла здійснюється індустріальним методом у монтажно-заготівельних майстернях (МЗМ) на базі попередньо виконаних натурних замірів. Процес матеріально-технічного забезпечення та безпосереднього монтажу контуру чітко регламентується такими документами:

- Комплектувальна відомість на вироби — визначає точну потребу в готовому заводському апаратному забезпеченні, запірній, змішувальній та регулювальній арматурі (насосних агрегатах, триходових клапанах, фланцевих кульових кранах, приладах КВПіА) із зазначенням їх марок та технічних характеристик;
- Комплектувальна відомість на деталі — містить деталізований перелік штучних конструктивних елементів, фасонних частин (трійників, фланців, переходів, відводів) та відрізків сталевих труб проєктної довжини, необхідних для складання локальної обв'язки.

При виконанні монтажних робіт із підключення насосного вузла до магістральних трубопроводів системи теплопостачання суворо виконуються такі інженерні вимоги:

1. Трасування та геометричні параметри. Прокладання ліній обв'язки виконується відкритим способом із закріпленням сталевих труб на стінових кронштейнах або підлогових опорах для забезпечення вільного доступу під час обслуговування. Горизонтальні розподільчі трубопроводи прокладаються з нормативним ухилом не менше ніж 0,002 у напрямку руху рідини для природного випуску повітря та дренажу. За умови швидкості руху води понад 0,25 м/с допускається безухильне прокладання окремих ділянок, а максимальна швидкість теплоносія у виробничих зонах обмежена величиною 3,0 м/с для дотримання акустичних норм.
2. Взаєморозташування комунікацій. При паралельному горизонтальному трасуванні трубопровід охолодженої води (зворотний контур Т2) розташовують ближче до зовнішньої стіни будівлі, а лінію гарячої води (подача Т1) —

безпосередньо над ним у вертикальній площині. У межах вертикальних стояків лінію з гарячим теплоносієм обов'язково монтують із правого боку відносно лінії зворотної води. Трубопроводи різного функціонального призначення прокладаються окремо.

3. Ізоляційний режим та будівельні проходки. Трубопроводи вузла, які проходять у межах робочої зони (на висоті до 2,0 м від рівня підлоги), залишають неізольованими для використання їхнього корисного тепловиділення. Обов'язковій теплоізоляції мінераловатними циліндрами (із температурою на зовнішній поверхні кожуха не вище 40 °С) підлягають магістралі у верхній зоні приміщення та ділянки, що прокладаються приховано у підлогових каналах (наприклад, під транспортними воротами). Перетин внутрішніх стін та перегородок здійснюється виключно крізь захисні гільзи з негорючих матеріалів, встановлені врівень із чистовою поверхнею або з виступом до 30 мм, із подальшим зачеканюванням вогнетривкими сумішами за ДБН В.1.1-7.

4. Арматурне укомплектування. Для нівелювання термічних деформацій сталевих труб при нагріванні до 95 °С використовуються природні повороти траси або додаткові П-подібні компенсатори. Змішувальний насосний вузол обов'язково оснащується повнопрохідною запірною арматурою з обох боків насоса для можливості його автономного демонтажу без зливу всієї системи. На лінії підключення мембранного розширювального бака використовується запірний кран зі спеціальним захисним ковпачком від випадкового перекриття. Для гідравлічного ув'язки циркуляційних кілець споживачів (опалення — 90 кВт, вентиляція — 100 кВт, технологія — 85 кВт) на трубопроводах монтуються автоматичні балансувальні клапани.

5. Дренаж та повітровідведення. У найнижчих точках контуру обв'язки встановлюються дренажні пристрої (крани зі штуцерами під гнучкі шланги) для спорожнення системи під час ремонтів. Випуск дренажної води безпосередньо у приміщеннях із постійним перебуванням людей заборонено. У найвищих точках мережі (оскільки висота встановлення обладнання в ІТП не перевищує 3,0 м) монтуються автоматичні повітровідвідники для оперативного видалення

повітряних пробок. На опалювальних приладах (регістрах) передбачається встановлення індивідуальних повітряних клапанів.

*Таблиця 6.1*

**Комплектувальна відомість на деталі вузла обв'язки циркуляційних насосів**

| № за схемою | Найменування вузла, деталі | Ескіз деталі | К-ть | Діаметр деталі, $d_y$, мм | Довжина | | Маса, кг | | Матеріал, технічні умови, ДСТУ тощо | Примітки |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $l_м$, м | $l_{заг}$, м | один. | заг. | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 10 | Патрубок сталевий | ЗВ КР | 6 | 25 | 0,7000 | 0,8100 | 2,8900 | 17 | ДСТУ 8936:2019 | |
| 11 | Патрубок сталевий | КР КР | 4 | 25 | 0,7000 | 0,9200 | 2,9800 | 11,9200 | ДСТУ 8936:2019 | |
| 12 | Патрубок сталевий | КР КР | 1 | 15 | 0,5000 | 0,5900 | 1,7060 | 1,7060 | ДСТУ 8936:2019 | |
| 13 | Патрубок сталевий | ЗВ КР | 1 | 15 | 0,5000 | 0,6800 | 1,6530 | 1,6530 | ДСТУ 8936:2019 | |
| 14 | Поворот сталевий | | 5 | 15 | 0,220 | 0,2400 | 0,8210 | 4,1050 | ДСТУ 17375:2003 | |
| 15 | Муфта | | 2 | 25 | 0,0310 | 0,0310 | 0,0160 | 0,0320 | ДСТУ 8966-75 | |
| 16 | Перехід | | 2 | 25-15 | 0,0510 | 0,0510 | 0,1200 | 0,2400 | ДСТУ 17378:2003 | |
| 17 | Ніпель | | 2 | 15 | 0,0360 | 0,0360 | 0,0260 | 0,0520 | ДСТУ 22525-77 | |
| 18 | Контргайка | | 2 | 15 | 0,0080 | 0,0080 | 0,0370 | 0,0740 | ДСТУ 8968-75 | |

*Таблиця 6.2*

**Комплектувальна відомість на вироби вузла обв'язки циркуляційних насосів**

| *№ за схемою* | *Найменування вузла, деталі* | *Ескіз деталі* | Кількість, шт | | Характеристика, індекс замовлення тощо | Виробник тощо | *Примітки* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | На вузол тощо | *Загальна* | | | |
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* |
| 1 | Кран кульовий приєднувальні різі (внутрішня-внутрішня) |  | 1 | 5 | *Монт.довжина=68 мм $d_y$=25мм* | Honeywell | Resideo VB550 |
| 2 | Клапан трьохходовий |  | 1 | 1 | *Монт.довжина=67 мм $d_y$=15мм; В-В-В* | Belimo | R3015-S1/B1 |
| 3 | Кран кульовий приєднувальні різі (внутрішня-внутрішня) |  | 1 | 1 | *Монт.довжина=50 мм $d_y$=15мм* | Honeywell | Resideo VB550 |
| 4 | Фільтр сітчастий |  | 1 | 1 | *Монт.довжина=89 мм $d_y$=25мм; В-В* | Valtec | VT.192.N.06 |
| 5 | Насос циркуляційний |  | 1 | 1 | *Монт.довжина= 180мм $d_y$=25мм; З-З* | Wilo | Star-RS $\frac{25}{7}$ |
| 6 | Манометр |  | 1 | 4 | *$d_y$=15мм* | Afriso | RF (63614) |
| 7 | Кран для манометру |  | 1 | 4 | *$d_y$=15мм* | Icma | Арт. 158 |
| 8 | Клапан одноходовий |  | 1 | 1 | *Монт.довжина=48 мм $d_y$=25мм; В-В* | Ayvaz | Sk-201 |
| 9 | Термометр |  | 1 | 2 | *$d_y$=15мм* | Afriso | AX (63813) |

Усі креслення знаходяться на листі 5.

*Технічна характеристика обладнання водопостачання*

Стабільне та безперебійне функціонування мережі водозабезпечення безпосередньо залежить від надійності її базових конструктивних елементів. Основний комплекс обладнання та арматури системи включає:

- Насосні агрегати**:** забезпечують створення необхідного гідравлічного напору для транспортування рідини по трубопроводах до точок водорозбору.

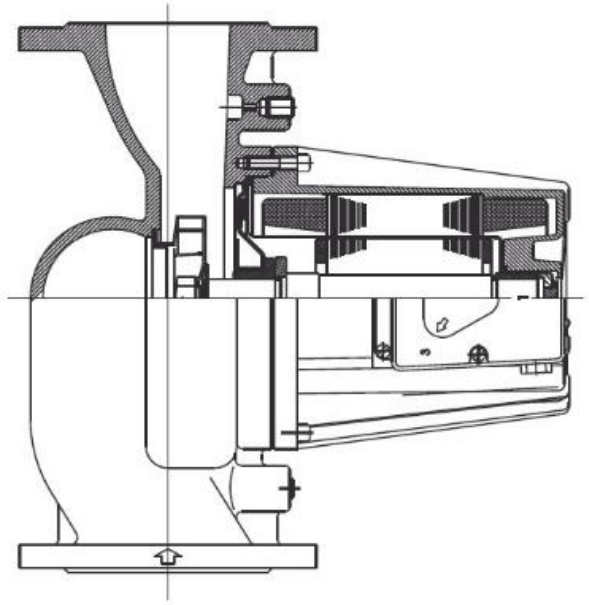


Рис. 6.1 Циркуляційний насос

- Кульові крани**:** функціонують як запірна арматура, призначена для оперативного та повністю герметичного перекриття потоку води на окремих ділянках мережі.
- Трійники**:** сполучні фасонні деталі (фітинги), які застосовуються для просторового розгалуження магістральних ліній і підключення нових відгалужень.

Синхронна взаємодія цих компонентів гарантує загальну гідравлічну стабільність системи, дозволяє ефективно керувати водними ресурсами та забезпечує високу протиаварійну стійкість інженерної мережі.

## 6.2. Організація монтажу систем опалення виробничих приміщень

Організація монтажного процесу на великих об'єктах будівництва базується на застосуванні потоково-групового та потоково-розчленяного методів виробництва робіт. Весь комплекс монтажних операцій розподіляється між спеціалізованими ланками робітників, які послідовно переходять з однієї ділянки (захватки) на іншу, забезпечуючи безперервність та рівномірність використання трудових ресурсів та технічних засобів. Захватками у промисловому будівництві зазвичай виступають окремі температурні блоки цеху, прогони або відокремлені виробничі приміщення.

### 6.2.1. Календарне планування виконання монтажних робіт

Календарне планування є ключовим елементом організації, що дозволяє ув'язати виконання монтажних процесів у часі, визначити критичні точки та оптимізувати чисельність персоналу. Основним документом є Календарний план виробництва робіт у складі ПВР.

Розрахунок тривалості кожної монтажної операції ($T_i$, робочих днів) здійснюється на основі фізичних обсягів робіт та нормативної трудомісткості, визначеної за діючими ресурсними елементними кошторисними нормами (РЕКН) або відомчими нормами:

$$T_i = \frac{Q_i \cdot k_{\text{викон}}}{N_i \cdot n_z} \tag{6.2}$$

де:

- $Q_i$ — повна нормативна трудомісткість виконання і-го технологічного процесу, люд.-год.;
- $k_{\text{викон}}$ — коефіцієнт виконання норм (приймається в межах 1,05…1,12 для врахування перевищення нормативної виробітку передовими ланками);
- $N_i$ — чисельність монтажної ланки (бригади), яка призначена на виконання даного процесу, чол.;
- $n_z$ — тривалість робочої зміни, год (при стандартному режимі роботи $n_z$ = 8 год).

Важливим етапом планування є побудова графіка руху робочої сили та розрахунок коефіцієнта нерівномірності руху кадрів ($К_{\text{нерівн}}$, який демонструє стабільність потоку робіт на об'єкті:

$$К_{\text{нерівн}} = \frac{R_{max}}{R_{сер}} \tag{6.3}$$

де:

- $R_{max}$ — максимальна кількість робітників-монтажників, одночасно задіяних на об'єкті в піковий період за графіком, чол.;
- $R_{сер}$ — середня чисельність робітників за весь період монтажних робіт, чол.

Організаційне правило**:** Оптимальним вважається значення $К_{нерівн} \leq 1{,}5$. Якщо коефіцієнт вищий, це свідчить про наявність значних організаційних перепадів («штурмівщини»), що негативно впливає на якість робіт та безпеку праці. У такому випадку виконується перерозподіл термінів виконання недефіцитних робіт.

*Календарне планування виконання монтажних робіт по теплопостачанню виробничих приміщень послідовним методом будівництва*

Лінійно-послідовна схема організації передбачає почергове виконання всіх видів будівельно-монтажних робіт на об'єкті. За такої структури розгортання наступного технологічного циклу допускається виключно після стовідсоткового завершення та приймання попереднього. Класичний ланцюжок процесів включає: інженерну підготовку території, влаштування підземної частини (фундаментів), зведення несучого каркаса і огороджувальних конструкцій, а також фінальне внутрішнє та зовнішнє оздоблення.

*Ключові переваги*:

- Низька організаційна складність: планування та координація процесів є максимально прозорими завдяки чіткому розмежуванню часових меж кожної стадії.
- Сувора технологічна дисципліна: лінійна черговість мінімізує просторові колізії між суміжними бригадами та унеможливлює накладку робіт.
- Раціональне використання техніки: відсутня потреба у залученні великої кількості дорогого однотипного обладнання одночасно.
- Ефективний пооперaційний контроль: якість результатів поточного етапу детально інспектується та актується до початку наступних операцій.

*Основні недоліки:*

- Максимальна тривалість будівництва: загальний термін здачі об'єкта є сумою тривалостей усіх процесів, оскільки паралельне виконання робіт повністю виключене.
- Ефект накопичення затримок: будь-який збій чи форс-мажор на ранніх стадіях автоматично зміщує графік виконання всіх наступних етапів.

- Низька ефективність на складних об'єктах: метод є нераціональним для масштабних промислових чи цивільних проєктів, де економічно вигідним є потокове або паралельне ведення робіт на різних захватках.

Календарний план-графік виконання робіт по теплопостачанню виробничих приміщень (послідовний метод будівництва) на листі 5.

*Календарне планування виконання монтажних робіт по теплопостачанню виробничих приміщень потоковим методом будівництва*

Потоковий метод організації будівництва базується на забезпеченні безперервності, паралельності та ритмічності виконання всіх технологічних процесів. Головною метою цього підходу є раціональне поєднання просторового та часового руху трудових бригад і матеріально-технічних засобів, що дозволяє повністю ліквідувати чи значно мінімізувати часові простої.

Базові засади функціонування будівельного потоку включають:

- Системну координацію і синхронізацію суміжних процесів;
- Логістику постачання матеріалів та конструкцій за принципом «точно в строк»;
- Оптимізацію кількісного та кваліфікаційного складу робочих ланок;
- Уніфікацію та стандартизацію робочих операцій;
- Безперервний пооперaційний контроль якості.

Ефективне просторове роззосередження праці та своєчасне надходження заготівок на майданчик усувають ризики виникнення дефіциту ресурсів. Завдяки впровадженню стандартизованих рішень суттєво зростає загальна продуктивність. Оперативний моніторинг дозволяє виявляти та усувати дефекти на ранніх етапах, що робить потоковий метод незамінним під час зведення масштабних промислових об'єктів, оскільки він гарантує інтенсифікацію робіт, скорочення термінів реалізації проєкту та зниження його собівартості.

Календарний план-графік виконання робіт по теплопостачанню виробничих приміщень (потоковий метод будівництва) на листі 5.

*Календарне планування за допомогою графіка-циклограми*

Основним інструментом моделювання, візуалізації та календарного планування в межах потокового методу є графік-циклограма.

Циклограма являє собою похило-лінійну графічну модель, яка відображає чіткий просторово-часовий взаємозв'язок, послідовність та тривалість виконання будівельно-монтажних процесів на різних захватках (цехах, прогонах). Головна функція цього документа полягає в інтегральній оптимізації руху спеціалізованих бригад, поточному контролі виробничого прогресу та забезпеченні дотримання директивних термінів здачі об'єкта в експлуатацію.

Завдяки використанню циклограми вдається чітко розмежувати фронт робіт, унеможливити просторове накладання суміжних процесів і гарантувати безперервну зайнятість персоналу без внутрішньозмінних простоїв. Водночас цей графік служить інструментом оперативного менеджменту: він дозволяє керівникам будівництва миттєво фіксувати будь-які відхилення від планового темпу робіт, вчасно вживати коригуючих заходів, нівелювати ризики затримок та раціонально розпоряджатися наявними ресурсами підприємства.

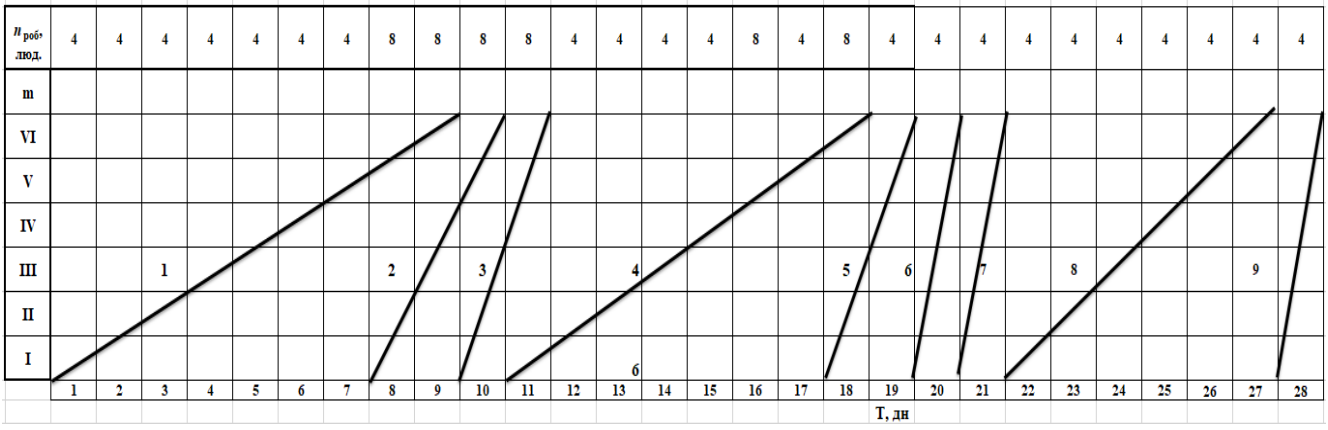



Рис. 6.2 Графік-циклограма потокового будівництва теплопостачання виробничих приміщень

### 6.2.2. Організація будівельної готовності об'єкту до початку монтажних робіт

Однією з головних причин зриву термінів монтажу інженерних систем є незадовільна координація дій між генпідрядником (який виконує загальнобудівельні роботи) та субпідрядником (монтажною організацією). Монтажні роботи дозволяється розпочинати лише після досягнення об'єктом або його окремою захваткою технологічної будівельної готовності, що підтверджується підписанням відповідного Двостороннього акту.

*Комплекс вимог до будівельної готовності промислової будівлі:*

1. Стан будівельних конструкцій: У зонах монтажу систем опалення повинні бути повністю завершені всі важкі загальнобудівельні процеси: зведення каркаса будівлі (колон, ферм, плит покриття), монтаж зовнішніх стінових панелей (сендвіч-панелей чи цегляної кладки), влаштування покрівлі. В зимовий період будівельний контур має бути повністю закритий (скління віконних прорізів, встановлення воріт, дверей або тимчасових утеплених брезентових завіс), а температура всередині приміщень повинна підтримуватися не нижче +5°С
(за рахунок систем тимчасового або чергового опалення).
2. Геодезична основа: На несучих конструкціях (колонах, стінах) мають бути чітко нанесені незмивною фарбою відмітки чистої підлоги (або умовний нульовий рівень ±0,000 м, або допоміжний рівень +1,000 м), а також розбивочні осі. Фактичні відхилення геометричних параметрів конструкцій не повинні перевищувати нормативні допуски, встановлені ДБН А.3.1-5:2016
3. Технологічні отвори та закладні деталі: Усі прорізи, ніші, штроби в стінах та перекриттях для проходження трубопроводів опалення повинні бути закладені на стадії зведення будівлі. Проходження труб через залізобетонні стіни та перекриття здійснюється виключно через сталеві або пластикові захисні гільзи. Внутрішній діаметр гільзи приймається на 20…30 мм більшим за зовнішній діаметр труби з урахуванням товщини теплоізоляційного шару. Простір між трубою та гільзою зачеканюється негорючим еластичним матеріалом (мінеральним шнуром,

термостійким силіконом), що забезпечує вільне поздовжнє переміщення труби при нагріванні та виключає передачу звукових хвиль.

4. Оздоблювальні роботи: У місцях встановлення пристінних опалювальних приладів (регістрів, конвекторів) або колекторних шаф будівельники повинні повністю завершити «мокрі» процеси (оштукатурювання, вирівнювання поверхонь). Це необхідно для забезпечення точної посадки кронштейнів та виключення забруднення регулюючої радіаторної арматури цементним розчином.

5. Готовність приміщення ІТП та насосної: Приміщення індивідуального теплового пункту повинно мати міцні залізобетонні фундаменти під обладнання, які вистоялися (набрали не менше 75% марочної міцності бетону). У приміщенні має бути влаштований чистий трап для зливу води в каналізацію під час майбутніх промивок та випробувань системи, підведено постійне або тимчасове електропостачання для освітлення та підключення зварювальних постів.

Організація фронту робіт також передбачає очищення робочих зон від будівельного сміття, залишків опалубки та риштувань. Будівельний майданчик у зоні монтажу забезпечується первинними засобами пожежогасіння (вуглекислотними або порошковими вогнегасниками типу ВП-5), робочим освітленням напругою не більше 42 В для безпечної роботи у темних зонах. Після виконання всіх перелічених вимог складається Акт будівельної готовності, і об'єкт офіційно передається субпідрядній організації для проведення безпосереднього монтажу системи опалення.

# РОЗДІЛ 7

# ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

## 7.1. Дослідження та оцінка ймовірних небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

Комплексна система забезпечення охорони праці, яка інтегрує в собі нормативно-правові акти, вимоги промислової санітарії та інженерно-технічні безпекові заходи, виступає базовим гарантом створення оптимального робочого середовища для монтажників та будівельних робітників. Формування таких умов безпосередньо стимулює зростання загальної культури виробництва, мінімізує шкідливі навантаження на персонал і гарантує високий рівень захищеності безпосередньо на робочих місцях, що є потужним тригером для інтенсифікації та підвищення ефективності праці.

Слід підкреслити, що мінімізація ризиків у будівельному секторі нерозривно корелює зі специфікою впроваджуваних технологічних процесів та раціональною організацією будівельного майданчика. Згідно з чинною нормативно-правовою базою України, функція контролю та персональна відповідальність за безпечне ведення робіт покладається на вищий технічний менеджмент та лінійний інженерно-технічний персонал будівельної організації. До цієї категорії належать головні інженери підприємств, профільні фахівці (інженери) з охорони праці, а також керівники безпосередньо на об'єктах — виконавці робіт (виконроби) та майстри дільниць.

На зазначених службових осіб покладено обов'язок щодо стратегічного планування, розробки та своєчасного фінансування й реалізації превентивних безпекових та протипожежних заходів [31]. Пріоритетним вектором діяльності адміністративно-технічного апарату є постійне вдосконалення методів організації праці, яке б повністю унеможливлювало або нівелювало до допустимих меж ризики виникнення професійних захворювань та травматизму на виробництві. Паралельно з цим має забезпечуватися розгортання належної санітарно-побутової інфраструктури для робітників. Успішне вирішення цих організаційних завдань є фундаментальною передумовою для стабільного прогресу та зростання продуктивності праці в сучасній будівельній індустрії.

*Таблиця 7.1*

**Характеристика та класифікація шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища**

| № | Небезпечні та шкідливі виробничі фактори | Джерела факторів (види робіт) | Кількісні оцінки | Нормативні документи |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Падіння матеріалів і конструкцій з висоти | Експлуатація вантажопідіймальних кран-балок; переміщення заготовок, металопрокату та деталей; заміна важкого верстатного оснащення. | Висота підйому вантажів h≤6,5 м (обмежено висотою стелі 7,0 м); вага вантажів до 3…5 т | НПАОП 0.00-1.75-15; НПАОП 0.00-1.68-13 ДБН А 3.2-2-2009 Розділ 10,14,17,15 |
| 2 | Падіння людини з висоти | Обслуговування та ремонт підстелевих інженерних комунікацій (вентиляції, освітлення, ІЧ-панелей опалення), підкранових шляхів; використання драбин та риштувань. | Висота проведення робіт h = 1,3…7,0 м. | НПАОП 0.00-1.15-07 ДБН В 2.2-41-2019 Розділ 10,14,17,15 |
| 3 | Падіння людини через слизьку підлогу | Проливання змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР), індустріальних масел під час роботи токарних, фрезерних та свердлильних верстатів; вологе прибирання. | Коефіцієнт тертя підлоги μ < 0,4; періодичність прибирання робочої зони — не менше 1 разу за зміну. | НПАОП 0.00-1.68-13; |

*Продовження таблиці 7.1*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 4 | Ураження робочих електричним струмом | Робота металорізальних верстатів, електроінструменту, заземлювальних контурів; обслуговування силових розподільчих щитів цеху. | Напруга живлення верстатів — 380 В (трифазна мережа); локальне освітлення — 12 В…36 В; опір заземлення ≤4 Ом | НПАОП 40.1-1.21-98 ДСТУ Б.А.3.213:2011 ПУЕ-2017 |
| 5 | Виробничий шум і вібрація | Робота приводів механічної обробки верстатів, шліфувальних кругів, компресорних установок та загальнообмінної вентиляції. | Рівень звукового тиску L≤80 дБА (норма); фактичний рівень без ЗІЗ може досягати 85 дБА. | ДСН 3.3.6.037-99; ДСН 3.3.6.039-99 |
| 6 | Відлітання частинок матеріалів | Процеси різання металів на верстатах (утворення гарячої стружки), заточування та зачищення деталей абразивними інструментами. | Швидкість вилітання металевої стружки та часток інструменту - до 30…50 м/с. | НПАОП 0.00-1.68-13; ДСТУ EN ISO 12100:2014 |
| 7 | Пожежна безпека | Використання легкозаймистих рідин (ЛЗР) та розчинників для знежирення деталей, зберігання масел; проведення зварювальних робіт. | Категорія цеху за вибухопожежною небезпекою — «В» (помірна); клас пожежонебезпечних зон -IIа. | НАПБ А.01.001-2014; ДСТУ Б В.1.1-36:2016 |
| 8 | Хімічна токсичність та опіки | Виділення масляного туману та аерозолів ЗОР при інтенсивному нагріванні в зоні різання; використання кислот чи лугів при підготовці поверхонь. | Гранично допустима концентрація (ГДК) аерозолю ЗОР у повітрі робочої зони ≤5 мг/м$^3$; пилу заліза ≤6 мг/м$^3$. | НПАОП 0.00-1.68-13 |

*Продовження таблиці 7.1*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 9 | Підвищена вологість у приміщеннях | Випаровування водних емульсій (ЗОР) під час обробки металів, робота промивних ванн, неефективна робота місцевої витяжної вентиляції. | Відносна вологість повітря у робочій зоні цеху становить ϕ=40…75% (залежно від періоду року). | ДСН 3.3.6.042-99; ДБН В.2.5-67:2013 |
| 10 | Недостатнє освітлення приміщень і робочих місць | Забруднення світильників пилом або масляною парою; відсутність чи несправність вбудованого місцевого освітлення на верстатах. | Нормована освітленість за комбінованої системи (III-IV розряд зорових робіт) - 300…500 лк. | ДБН В.2.5-28:2018 ДСТУ Б.А.3.2.15:2011 |
| 11 | Інфрачервоні опалювальні системи | Функціонування стельових або настінних інфрачервоних випромінювачів для обігріву цеху в холодний період року. | Інтенсивність теплового опромінення тіла працівника q≤100 Вт/м2; висота підвісу панелей h=4,5…6,0 м. | ДСН 3.3.6.042-99; ДБН В.2.5-67:2013 |

## 7.2. Заходи профілактики виявлених факторів

### 7.2.1. Загальні вимоги безпеки

З метою підтримання належного рівня безпеки праці транспортні шляхи, пішохідні проходи та безпосередні робочі зони підлягають систематичному очищенню від захаращень, сторонніх предметів та виробничих відходів. У зимовий період передбачено обов'язкове оброблення ходових поверхонь протиожеледними матеріалами (зокрема, піском).

Території, виділені під виконання вантажно-розвантажувальних операцій, повинні мати належне вертикальне планування; при цьому максимально допустимий технологічний ухил поверхні обмежується величиною, що не перевищує 5°.

Безпека доступу до об'єкта, на якому здійснюються будівельно-монтажні процеси, гарантується влаштуванням над входами суцільних захисних навісів (козирків). За шириною такий навіс повинен повністю перекривати габарити вхідного прорізу, а його виліт від площини зовнішньої стіни має становити щонайменше 2 м.

Усі категорії персоналу, включаючи виробничих робітників, інженерно-технічних працівників та службовців, в обов'язковому порядку забезпечуються сертифікованим спеціальним одягом, захисним взуттям та іншими необхідними засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до чинних галузевих норм.

До розгортання основних технологічних процесів на майданчику забезпечується повна готовність санітарно-побутових приміщень. У визначених місцях цих приміщень розгортаються пости надання першої долікарської допомоги, укомплектовані медичними аптечками з відповідним набором медикаментів та перев'язувальних засобів для постраждалих.

### 7.2.2. Міри профілактики потенційно небезпечних і шкідливих чинників

У складі проєктних рішень щодо організації та облаштування виробничої території передбачено впровадження таких превентивних інженерно-технічних заходів:

- Для унеможливлення несанкційонованого доступу сторонніх осіб на територію виконання робіт її периметр обладнується суцільним захисно-охоронним огородженням заввишки 3 м, конструкція якого додатково комплектується захисними уловлювальними дашками.

- Межі ділянок із постійною або ймовірною присутністю небезпечних виробничих факторів чітко позначаються та відокремлюються за допомогою інвентарних захисних бар'єрів заввишки не менше 1,2 м.
- Безпечне ведення робіт у темний час доби або в умовах недостатньої видимості забезпечується безперебійним функціонуванням систем штучного освітлення робочих місць, складських майданчиків, а також транспортних і пішохідних шляхів. Здійснення будь-яких технологічних чи монтажних операцій на ділянках із незадовільним рівнем освітленості суворо забороняється.

### 7.2.3. Падіння матеріалів і конструкцій з висоти

Під час функціонування механічного цеху основними джерелами даної небезпеки є процеси переміщення важкого металопрокату, заготовок та великогабаритних деталей за допомогою мостових кранів чи кран-балок, а також операції із заміни верстатного оснащення (штампів, прес-форм). З огляду на максимальну висоту цеху 7,0 м, зона можливого падіння вантажів є критично небезпечною для персоналу.

Для попередження виробничого травматизму передбачено комплекс організаційно-технічних заходів. Вантажопідйомні операції дозволяється виконувати виключно особам, які пройшли курс навчання за професією стропальника. Усі знімні вантажозахоплювальні пристосування (траверси, стропи, ланцюги) підлягають регулярному технічному огляду та тавруванню із зазначенням граничної вантажопідйомності. Транспортування елементів над робочими місцями та верстатним обладнанням суворо заборонено; зони переміщення вантажів мають бути вільними від присутності людей, що забезпечується чітким сигнальним маркуванням небезпечних зон на підлозі цеху та використанням звукової сигналізації на кранах.

### 7.2.4. Падіння людини з висоти

Умовами виникнення ризику травмування внаслідок падіння працівників є виконання робіт на відмітках понад 1,3 м від рівня підлоги. У механічному цеху такі роботи пов'язані переважно з обслуговуванням і ремонтом підстелевих інженерних мереж (ліній освітлення, повітроводів вентиляції та інфрачервоних панелей опалення), розташованих на висоті до 7,0 м, а також із регламентним сервісом мостових кран-балок.

Безпека персоналу при реалізації висотних робіт досягається першочерговим застосуванням засобів колективного захисту: мобільних інвентарних риштувань, вишок-тур із суцільним настилом та захисними огородженнями висотою не менше 1,1 м, а також самохідних ножичних підйомників. За неможливості встановлення колективних засобів захисту робітники зобов'язані застосовувати індивідуальні запобіжні пояси (лямкові системи) з амортизаторами. Фіксація карабіна запобіжного паска повинна здійснюватися виключно за заздалегідь визначені та сертифіковані елементи будівельних конструкцій або спеціально натягнуті страхувальні канати.

### 7.2.5. Падіння людини через слизьку підлогу

Для металообробного виробництва характерним є постійне використання технологічних рідин — інсустріальних масел, гідравлічних мастил та змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР). Ризик падіння працюючих виникає внаслідок випадкового проливання, розбризкування або витоку цих матеріалів із гідросистем токарних, фрезерних та свердлильних верстатів, що призводить до різкого зниження коефіцієнта тертя поверхні підлоги.

Профілактика травматизму на слизькій підлозі базується на впровадженні інженерних рішень та жорсткої виробничої дисципліни. Покриття підлоги в цеху виконується з маслостійких, неслизьких та стійких до механічних навантажень матеріалів (наприклад, мозаїчний бетон або полімерцементні суміші зі спеціальним

фрикційним наповнювачем). На ділянках безпосереднього розміщення верстатів передбачено встановлення дерев'яних решітчастих настилів із кроком планок, що унеможливлює ковзання взуття. При виникненні аварійних проливів мастил персонал зобов'язаний негайно засипати ділянку абсорбуючими матеріалами з подальшим їх видаленням та протиранням підлоги знежирюючими розчинами.

### 7.2.6. Ураження робочих електричним струмом

Технологічне обладнання механічного цеху (металорізальні верстати, преси, заточувальні інструменти) функціонує від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В, що створює постійну загрозу електротравматизму. Основними причинами ураження є пошкодження ізоляції струмоведучих жил, пробій напруги на металевий корпус обладнання, а також порушення правил експлуатації електроустановок.

Для захисту персоналу в цеху реалізовано комплексну систему електробезпеки. Усі металеві некомовувані частини верстатів, корпусів розподільчих щитів та трансформаторів приєднуються до магістрального контуру захисного заземлення з опором не більше 4 Ом. Силові лінії живлення обладнання обов'язково захищаються пристроями захисного вимкнення, які реагують на витоки струму і знеструмлюють систему за мілісекунди. Електропроводка в зоні робочих місць прокладається у захисних металевих трубах або закритих підлогових каналах, що унеможливлює її механічне пошкодження стружкою чи внутрішньоцеховим транспортом. Ремонтні та налагоджувальні роботи проводяться при повному знеструмленні ділянки з вивішуванням заборонних плакатів «Не вмикати! Працюють люди».

### 7.2.7. Виробничий шум і вібрація

Процеси механічної обробки металів різанням, функціонування приводів верстатів, робота редукторів, потужних витяжних вентиляторів та компресорів

супроводжуються генерацією підвищених рівнів шуму та вібрації. Тривалий вплив цих факторів викликає втому слухового апарату, зниження уваги та розвиток професійних захворювань (вібраційної хвороби).

Боротьба з акустичним та вібраційним навантаженням здійснюється безпосередньо в джерелі їх виникнення. Технологічне обладнання встановлюється на індивідуальні звукоізолюючі та віброгасильні фундаменти із застосуванням еластомірних або пружинних амортизаторів. Великі шумовиділяючі вузли (компресорні установки) ізолюються у спеціальних звукопоглинальних кожухах. Для зниження аеродинамічного шуму в системах вентиляції цеху монтуються шумогасники. Якщо рівень звукового тиску на робочому місці перевищує нормативні 80 дБА, персонал забезпечується засобами індивідуального захисту — протишумовими навушниками або протишумовими вкладками (берушами).

### 7.2.8. Відлітання частинок матеріалів

Холодна обробка металів на токарних, фрезерних, стругальних та свердлильних верстатах неминуче супроводжується інтенсивним утворенням та кінетичним вилітанням гарячої металевої стружки. При роботі заточувального та шліфувального обладнання виникає загроза відлітання абразивних частинок руйнівного інструменту. Дані фактори створюють високий ризик травмування очей та шкірних покривів обличчя операторів верстатів.

Основним методом інженерного захисту є оснащення зони різання верстатів захисними кожухами та рухомими прозорими екранами з ударостійкого матеріалу (триплексу або полікарбонату), зблокованими з пусковим механізмом обладнання. Верстати додатково комплектуються стружкозатримувальними щитками та спеціальними пристроями для безпечного механічного видалення стружки (гачками, щітками). Працівники цеху зобов'язані безперервно використовувати захисні окуляри із безколірним склом або прозорі захисні щитки обличчя, а також працювати у щільному спецодязі із застебнутими манжетами.

### 7.2.9. Пожежна безпека

За загальною класифікацією небезпек механічний цех належить до категорії «В». Проте інтеграція до технологічного процесу дільниць рідкого фарбування та термообробки суттєво підвищує ризики вибухопожежонебезпеки. Основними джерелами загрози є фарбувальні камери, де застосовуються легкозаймисті лакофарбові матеріали та органічні розчинники, здатні утворювати вибухонебезпечні пароповітряні суміші, а також конвекційні камери (сушильні установки), які є джерелами високих температур, необхідних для полімеризації покриттів. Певну загрозу становлять і ванни хімічного обезжирювання у разі використання складів на основі горючих компонентів.

Протипожежний захист дільниці базується на локалізації небезпечних зон. Фарбувальні та конвекційні камери оснащуються автономними герметичними системами примусової вентиляції у вибухозахищеному виконанні із встановленням датчиків довибухових концентрацій парів розчинників. Усе електрообладнання, світильники та пускова апаратура в радіусі 5 м від фарбувальних зон вибираються виключно у вибухозахищеному виконанні (Ex-клас). Корпуси камер та технологічних ванн підлягають обов'язковому заземленню для нейтралізації статичної електрики, яка може стати джерелом іскроутворення. Дільниця комплектується автоматичними модулями порошкового або вуглекислотного гасіння та первинними засобами (вогнегасниками ВП-5, пожежними щитами), а накопичення замаслених очисних матеріалів суворо обмежується рамками однієї робочої зміни.

### 7.2.10. Хімічна токсичність та опіки

Впровадження лінії підготовки поверхні та нанесення покриттів зумовлює високу концентрацію хімічних ризиків у цеху. Найбільшу небезпеку становить безпосередній контакт та випаровування з дзеркала хімічних розчинів: ванни хімічного обезжирювання (концентровані лужні сполуки) та ванни декопірування

(розчини кислот для активації металу). Особливим деструктивним чинником є промивні ванни з барботажем. Подача стисненого повітря у товщу води для інтенсифікації промивки призводить до бурхливого розбризкування та масового викиду в повітряний простір цеху дрібнодисперсного лужного та кислого туману (хімічних аерозолів). Додатково у фарбувальних камерах виникає шкідлива концентрація токсичних парів розчинників (толуолу, ксилолу, ацетону).

Для захисту персоналу від токсичного отруєння та важких хімічних опіків реалізовано комплекс бар'єрних заходів. Усі технологічні ванни (обезжирювання, декопірування, гарячої та холодної промивки) обладнуються двосторонніми бортовими витяжними відсмоктувачами. Фарбувальні камери комплектуються водяними завісами та сухими фільтрами для вловлювання фарбового аерозолю. Оператори лінії забезпечуються повним комплектом ЗІЗ: прогумованими фартухами, нарукавниками, довгими хімічно стійкими рукавицями (кранцами), захисними герметичними окулярами або масками, а також респіраторами зі спеціалізованими протигазовими патронами (марки А або В). Безпосередньо біля хімічних ванн монтуються аварійні фонтанчики з проточною водою для екстреного промивання очей та шкіри у разі позаштатного виплеску реагентів.

### 7.2.11. Підвищена вологість у приміщеннях

Наявність розгорнутого парку гідравлічного обладнання є потужним джерелом постійного виділення вологи в об'єм цеху. Основними зонами масового пароутворення є ванни гарячої промивки, ванни хімічного обезжирювання (які функціонують при підвищених температурах розчинів), а також промивні ванни з барботажем, де за рахунок постійного проходження повітряних потоків крізь товщу води площа випаровування збільшується в рази. За відсутності належного контролю вологість повітря швидко перевищує допустимі санітарні норми (75%), що при висоті стелі 7,0 м призводить до утворення конденсату на будівельних конструкціях, прискореної корозії верстатів та створює важкі умови для терморегуляції організму працюючих (ефект «духоти»).

Зниження вологовиділень досягається шляхом інженерного контролю та автоматизації. Ванни гарячої промивки, хімічного обезжирювання та декопірування оснащуються механізованими або ручними кришками, які щільно закривають дзеркало рідини у неробочі періоди або під час технологічних перерв. Потужність локальної витяжної вентиляції від ванн із барботажем розраховується з коефіцієнтом запасу на об'єм повітря, що подається компресором для збурення води. Загальнообмінна вентиляція цеху проектується за припливно-витяжною схемою з функцією осушення повітря, що дозволяє утримувати параметри відносної вологості в межах 40…60 %. Моніторинг показників мікроклімату на робочих місцях здійснюється за допомогою стаціонарних електронних гігрометрів із виведенням даних на пульт диспетчера.

### 7.2.12. Недостатнє освітлення приміщень і робочих місць

Специфіка металообробки вимагає високої точності зорового контролю при вимірюванні та обробці деталей. Недостатня освітленість або наявність різких тіней викликає швидку втому очей, знижує швидкість реакції робітника і є безпосередньою причиною помилкових дій та травматизму.

Організація освітлення в цеху виконується за комбінованою системою. Загальне штучне освітлення підстелевої зони (до відмітки 7,0 м) реалізується енергоефективними світлодіодними світильниками у пило- та вологозахищеному виконанні. Безпосередньо на кожному робочому місці (на станинах верстатів) монтуються світильники місцевого освітлення з регульованим кутом нахилу та напругою живлення безпечного рівня (12…36 В). Проєктна освітленість робочих поверхонь верстатів має становити не менше 300–500 лк. Передбачено регулярне (не менше 4 разів на рік) очищення захисного скла світильників від цехового пилу та масляного нальоту.

### 7.2.13. Інфрачервоні опалювальні системи

Експлуатація інфрачервоних випромінювачів у механічному цеху супроводжується підвищеними термічними та електротехнічними ризиками. Забезпечення безпеки праці під час використання ІЧ-систем досягається суворим виконанням таких проєктних вимог:

- Пожежна безпека та зони розриву**:** Відстань від тепловипромінювальної пластини обігрівача до будь-яких конструкцій, заготовок чи матеріалів у зоні дії має становити не менше ніж 0,5 м. Заборонено розміщувати прилади безпосередньо під розетками, торкатися робочих поверхонь та використовувати ЛЗР для їх очищення. Живильні кабелі прокладаються поза контактом із гарячим корпусом.
- Електротехнічний захист (ПУЕ): Підключення здійснюється виключно кваліфікованим персоналом. Для захисту від коливань напруги в мережі встановлюються автомати захисту та реле (бар'єри) з номіналом 220 В (діапазон від +10% до -15%).
- Диференціальний захист (ПЗВ): Лінії живлення обладнуються ПЗВ або дифавтоматами з номіналом спрацьовування 30 мА. За відсутності сертифікованого заземлення встановлюється ПЗВ із струмом відключення від 100 мА. Стаціонарне підключення вимагає роз'єднувача з прозором між контактами не менше 3 мм на всіх полюсах.
- Введення в експлуатацію: Нові або міжсезонні обігрівачі через ризик накопичення вологи в ТЕНах перед підключенням до штатного ПЗВ (30 мА) підлягають обов'язковому термічному просушуванню — безперервній роботі протягом 2 днів в обхід дифавтомата (або через ПЗВ 100 мА).
- Обмеження автоматизації: Суворо заборонено використання таймерів, програмних пристроїв та систем дистанційного пуску без попереднього візуального контролю. Автоматичний запуск недопустимий, якщо прилад накритий або порушено його проєктне просторове положення. До обслуговування системи допускаються особи, які пройшли спеціальний інструктаж.

# СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.05-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціювання. – Мінрегіонбуд України, 2013. – 232 с. – Чинні з 01.01.2014.
2. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 23 с. – Чинні з 01.09.2022.
3. Опалення промислових промислових будівель і споруд: методичні вказіки до виконання індивідуального завдання /уклад.: М.П. Сенчук, О.П. Любарець. – К.: КНУБА, 2025. – 84 с.
4. ДСТУ–Н Б В.1.1-27: 2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – [Чинний від 2011-11-01]. – К.: ДП „Укрархбудінформ" Мінрегіонбуду України, 2011. – 127 с.
5. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. — К.: Мінрегіон України, 2016. — Чинний від 01.01.2017.
6. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. — К.: Мінекономрозвитку України, 2011. — Чинний від 01.07.2012.
7. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків і споруд. Методи визначення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій. – Чинні від 20.01.2010. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 30 с.
8. ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013. Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та теплозасвоєння огороджувальних конструкцій. – Чинні від 01.01.2014. – Київ: Мінрегіон України, 2014. – 36 с.
9. ДСТУ Н Б В.2.6-191:2013. Настанова з розрахункової оцінки повітропроникності огороджувальних конструкцій. – Чинні від 01.01.2014. – Київ: Мінрегіон України, 2014. – 12 с.
10. ДСТУ EN ISO 13370:2019. Теплова характеристика будівель. Передавання теплоти через ґрунт. — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. — Чинний від 01.01.2021.

11. ДСТУ EN ISO 10211:2022. Теплові мости в будівництві. Теплові потоки та температури поверхні. — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022. — Чинний від 01.10.2023.
12. ДСТУ Б EN 12831-1:2017. Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проєктного теплового навантаження. — К.: Мінрегіон України, 2017. — Чинний від 01.10.2018.
13. Опалення. Методичні вказівки до виконання розділу «Теплова потужність систем водяного опалення» курсового та дипломного проектів з дисципліни опалення для студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Теплогазопостачання і вентиляція»./ Уклад.: О.П.Любарець, М.П.Сенчук, В.О.Любарець. – К.: КНУБА, 2016. – 34 с.
14. Опалення. Методичні вказівки до виконання розділу «Гідравлічний розрахунок водяного опалення» курсового проекту для студентів напрямку підготовки. 060101 «Будівництво» за професійним спрямуванням «Теплогазопостачання і вентиляція» / Уклад.: О.П.Любарець, М.П.Сенчук, В.О.Мілейковський, В.О.Любарець. – К.: КНУБА, 2015. – 40 с.
15. Любарець О. П. Проєктування систем водяного опалення: посібник для проєктувальників, інженерів і студентів технічних ВНЗів / О. П. Любарець, О. М. Зайцев, В. О. Любарець – Відень-Київ-Сімферополь: ГЕРЦ Арматурен Г.м.б.Х, 2010 – 200 с.
16. Худенко А. А. Радіаційне опалення і охолодження: навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2004. – 152 с.
17. Розрахунок та підбір інфрачервоних електричних обігрівачів https://bilux.ua/.bilux-bw-b1000/
18. Розрахунок та підбір регістрів
https://registru.com.ua
19. Методичні вказівки до виконання практичних занять і розробки індивідуальної роботи (РГР №1) «Спалювання твердого палива в теплогенераторах» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія.» спеціалізації «Теплогазопостачання і вентиляція» /уклад.: М.П. Сенчук, Е.І. Дмитриченкова. – Київ: КНУБА, 2021. – 38 с.

20. Методичні вказівки до виконання практичних занять і розробки індивідуальної роботи (РГР №2) «Очищення відхідних газів твердопаливних теплогенераторів» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія.» спеціалізації«Теплогазопостачання і вентиляція» / уклад.: Е.І. Дмитроченкова, М.П. Сенчук – Київ: КНУБА, 2021. – 34 с.
21. ДБН В.2.5-10:2018. Котельні. — К.: Мінрегіон України, 2018. — Чинний від 01.05.2019.
22. ДСТУ EN ISO 17225-2:2018. Біопаливо тверде. Визначені характеристики палива. — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. — Чинний від 01.01.2020.
23. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. — К.: Мінрегіон України, 2016. — Чинний від 01.01.2017.
24. Степанов М.В., Вакалюк А.С. Організація будівельно-монтажних робіт: навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2011. – 88 с.
25. Організація монтажу інженерних систем і мереж: Методичні рекомендації до виконання курсового проекту/уклад.: М.П. Сенчук, С.Г. Рибачов, А.С. Ваколюк. – Київ: КНУБА, 2024. – 62 с.
26. Довбуш О.М., Возняк О.Т., Жуковський С.С. Системи обігрівання та вентиляції. Технології заготівельних і монтажних робіт: навчальний посібник. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2005. – 276 с.
27. Сашко В.О., Терещенко В.М. Труби та арматура: навчальний посібник. – Київ: Ресурсний центр ГУРТ, 2019. – 102 с.
28. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник - далі номери: 1, 7, 16, 18, 19, 20, 24, 25, 26 (Наказ Міністерства розвитку бригад та територій України № 374 від 31.12.2021).
29. ДСТУ 8936:2019. Труби сталеві водогазопроводні. Технічні умови. – Чинний з 01.01.2021
30. ДСТУ 8943:2019 (ГОСТ 10704-91, ГОСТ 10705-80). Труби сталеві електрозварні. Технічні умови. – Чинні 01.01.2019.
31. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами та доповненнями).

32. Наказ Міністерства соціальної політики України від 05.03.2018 № 333 «Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском».
33. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. – Затверджено наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417.
34. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Основні вимоги. — К.: Мінрегіон України, 2016. — Чинний від 01.06.2017.
35. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. — К.: Мінрегіон України, 2008. — Чинний від 01.01.2009.

*Додаток А*

| Приміщення | | | Огороджувальна конструкція | | | | | | | | | | Трансмісійні теплотрати пр | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м$^2$.К) | | | | | Попра | |
| Номер приміщення/ Назва/кількість працюючих, $n_{ст}$ люд. | Площа/об'єм, $A/v_{пр}$ м$^2$/м$^3$ | Температура внутр: основна/перг ова, $\theta_{внт}/\theta_{вн}$ доп, $^0$С | Позначення | Орієнтація | Довжина, $a$, м | Ширина (висота), $b$ ($h$), м | Площа, $A_k$, м$^2$ | трансмісійни й, $U_k$ | коригувальн ий на теплові мости, $\Delta U_{kh}$ | трансмісійни й розрахунков ий, $U_k$ | підлоги на ґрунті, $U_{equiv.k}$ | додаткові тепловтрати, $e_k$ | річні коливання темп. ґрунту, $f_{gt}$ | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| 101 | | | ЗС | Пн | 24,6 | 7,5 | 184,1 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | | | ЗС | Зх | 12,6 | 7,5 | 82,1 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | 293,4 | 18 | БП | - | 12,8 | 24,8 | 317,4 | 0,56 | 0,0 | 0,56 | | | | |
| Токарне відділення | 2200,7 | 14 | ПП | - | 12,8 | 24,8 | 317,4 | 0,92 | 0,15 | | 1,07 | | 1,45 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | В (4) | Пн | 4,2 | 3,2 | 53,8 | 2,222 | 0,10 | 2,322 | | 1,00 | | |
| | | | Вр | Зх | 3,0 | 4,0 | 12,0 | 1,66 | 0,20 | 1,86 | | 1,00 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | |
| 102 | | | ЗС | Пн | 17,8 | 7,5 | 93,2 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | | | ЗС | Сх | 6,0 | 7,5 | 33,0 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | | | БП | - | | | 0,0 | 0,56 | 0,0 | 0,56 | | | | |
| | 324,0 | 18 | ПП | - | | | 0,0 | 0,92 | 0,15 | | 1,07 | | 1,45 | |
| | 2429,8 | 14 | В (3) | Пн | 4,2 | 3,2 | 40,3 | 2,22 | 0,10 | 2,32 | | 1,00 | | |
| Збірне відділення | | | Вр | Сх | 3,0 | 4,0 | 12,0 | 1,66 | 0,20 | 1,86 | | 1,00 | | |
| | | | ВС | - | 6,3 | 5,2 | 32,5 | 3,82 | 0,00 | 3,82 | | | | |
| | | | ВС | - | 6,5 | 7,5 | 48,8 | 6,49 | 0,0 | 6,49 | | | | |
| | | | ВС | - | 6,25 | 7,50 | 46,88 | 6,49 | 0,00 | 6,49 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | |
| 103 | | | ЗС | Пн | 13,2 | 5,2 | 68,6 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | | | ЗС | Зх | 6,1 | 5,2 | 22,6 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | | | ЗС | Сх | 6,1 | 5,2 | 19,8 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | 72,0 | 10 | ПП | - | 13,2 | 6,1 | 80,5 | 0,92 | 0,15 | | 1,07 | | 1,45 | |
| Склад готової продукції | 374,4 | 6 | БП | - | 13,2 | 6,1 | 80,5 | 0,56 | 0,00 | 0,56 | | | | |
| | | | В (1) | Зх | 4,2 | 2,2 | 9,2 | 2,222 | 0,10 | 2,322 | | 1,00 | | |
| | | | ВС | - | 6,0 | 7,1 | 42,6 | 3,82 | 0,0 | 3,82 | | | | |
| | | | ВР | Сх | 3 | 4 | 12 | 1,66 | 0,2 | 1,86 | | 1,00 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 104 | | | ЗС | Сх | 6,0 | 7,1 | 42,6 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | | | БП | - | 6,8 | 6,8 | 46,2 | 0,56 | 0,0 | 0,56 | | | | |
| | | | ПП | - | 6,8 | 6,8 | 46,2 | 0,92 | 0,15 | | 1,07 | | 1,45 | |
| | 36,0 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| Склад матеріалів | 187,2 | 6 | | | | | | | | | | | | |
| | | | ВС | - | 6,0 | 7,1 | 42,6 | 6,49 | 0,0 | 6,49 | | | | |
| | | | ВС | - | 6,0 | 7,1 | 42,6 | 6,49 | 0,0 | 6,49 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 105 | | | ЗС | Пд | 6,8 | 4,5 | 17,2 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | 55,2 | 20 | ЗС | Зх | 9,8 | 4,5 | 44,1 | 0,575 | 0,0 | 0,575 | | 1,00 | | |
| Зварювальне відділення | 248,3 | 16 | ПП | - | 9,8 | 6,8 | 66,6 | 0,92 | 0,15 | | 1,07 | | 1,45 | |
| | | | БП | - | 9,8 | 6,8 | 66,6 | 0,56 | 0,00 | 0,56 | | | | |
| | | | В(1) | Пд | 4,2 | 3,2 | 13,4 | 2,222 | 0,10 | 2,322 | | 1,00 | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 106 | 108,0 | 18 | ЗС | Пд | 12,0 | 4,5 | 27,1 | 0,575 | 0,00 | 0,575 | | 1,00 | | |
| | | | БП | - | 12,0 | 9,8 | 117,6 | 0,56 | 0,00 | 0,56 | | | | |
| Фарбувальне відділення | 485,865 | 14 | ПП | - | 12,00 | 9,8 | 117,6 | 0,92 | 0,15 | | 1,07 | | 1,45 | |
| | | | В(2) | Пд | 4,2 | 3,2 | 26,88 | 2,222 | 0,1 | 2,322 | | 1 | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 107 | 107,97 | 20 | ЗС | Пд | 12,00 | 4,50 | 27,12 | 0,575 | 0,00 | 0,575 | | 1 | | |
| | | | БП | - | 12,00 | 9,80 | 117,60 | 0,56 | 0,00 | 0,56 | | 1 | | |
| Просочувальне і шліфувальне відділення | 485,865 | 16 | ПП | - | 12,00 | 9,80 | 117,60 | 0,92 | 0,15 | | 1,07 | | 1,45 | |
| | | | В (2) | Пд | 4,20 | 3,20 | 26,88 | 2,222 | 0,10 | 2,322 | | 1 | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 108 | 53,07 | 20 | ЗС | Пд | 6,00 | 4,50 | 13,56 | 0,575 | 0 | 0,575 | | 1 | | |
| | | | БП | - | 9,80 | 6,80 | 66,64 | 0,56 | 0 | 0,56 | | | | |
| Намотувальне відділення | 238,815 | 16 | ПП | - | 9,80 | 6,80 | 66,64 | 0,92 | 0,15 | | 1,07 | | 1,45 | |
| | | | В (1) | Пд | 4,20 | 3,20 | 13,44 | 2,222 | 0,1 | 2,322 | | 1 | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 109 | 110,07 | 20 | ЗС | Зх | 9,80 | 4,50 | 44,10 | 0,575 | 0 | 0,575 | | 1 | | |
| | | | ЗС | Пд | 12,80 | 4,50 | 30,72 | 0,575 | 0 | 0,575 | | 1 | | |
| Нікелювальне відділення | | | БП | - | 9,80 | 12,80 | 125,44 | 0,56 | 0 | 0,56 | | | | |
| | 495,34 | 16 | ПП | - | 9,80 | 12,80 | 125,44 | 0,92 | 0,15 | | 1,07 | | 1,45 | |
| | | | В(2) | Пд | 4,2 | 3,2 | 26,88 | 2,222 | 0,1 | 2,322 | | 1 | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | |

| ємність | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ночні коефіцієнти на: | | | Розрахункова температура, °С | | | Характеристика трансмісійних теплотрат, Вт/°С | | | | | Трансмісійні теплотрати, $Ф_{T_i}$,Вт | | |
| можливе зниження зовн. темпер.,$f_{gt}$ | вплив грунтових вод, $G_{ж}$ | різницю температури у сумісних прим.,$f_{tj}$ | зовнішнього повітря, $\theta_e$ | середньорічна зовнішнього повітря, $\theta_{me}$ | внутрішня в сусідньому приміщенні, $\theta_{mi,j}$ | $H_{T,e}$ | $H_{T,tr}$ | $H_{T,i}$ | $\sum H_{ei}$ | Коеф.ла висоту приміщ.,$f_{hj}$ | основний режим | черговий режим | кратності повітрообміну, $n_{x0}$ |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 24a | 25 | 26 | 27 |
| | | | | | - | 105,87 | | | 105,87 | | | | |
| | | | | | - | 47,22 | | | 47,22 | | | | |
| | | | | | - | | | | | | | | |
| | | | | | - | 177,77 | | | 177,77 | | | | |
| 0,41 | 1 | | | | - | | 202,05 | | 202,05 | | | | |
| | | | -21 | 2,0 | - | | | | | 1,15 | 3050 1 | 2737 3 | 4 |
| | | | | | - | 124,83 | | | 124,83 | | | | |
| | | | | | - | 22,32 | | | 22,32 | | | | |
| | | | | | | | | ∑Нтi= | **680,07** | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | - | 53,58 | | | 53,58 | | | | |
| | | | | | - | 18,98 | | | 18,98 | | | | |
| | | | | | - | 0,00 | | | 0,00 | | | | |
| 0,41 | 1 | | | | - | | 0,00 | | 0,00 | | 1530 2 | 1373 3 | |
| | | | | | - | 93,54 | | | 93,54 | | | | |
| | | | -21 | 2,0 | - | 22,32 | | | 22,32 | 1,15 | | | 4 |
| | | 0,21 | | | 10 | 25,47 | | | **25,47** | | | | |
| | | 0,21 | | | 10 | 64,90 | | | **64,90** | | | | |
| | | 0,21 | | | 10 | 62,40 | | | 62,40 | | 685 2 | 614 9 | |
| | | | | | | | | ∑Нтi= | 341,19 | | | | |
| | | | | | | | | Тепловідходи | 152,77 | | | | |
| | | | | | - | 39,47 | | | 39,47 | | | | |
| | | | | | - | 12,99 | | | 12,99 | | | | |
| | | | | | - | 11,40 | | | 11,40 | | | | |
| 0,26 | 1 | | | | - | | 32,24 | | 32,24 | | 579 8 | 505 0 | |
| | | | | | - | 45,09 | | | 45,09 | | | | |
| | | | -21 | 2,0 | - | 21,46 | | | **21,46** | 1,15 | | | 4 |
| | | -0,32 | | | 20 | -52,49 | | | **-52,49** | | | | |
| | | | | | - | | | ∑Нтi= | 162,64 | | | | |
| | | | | | | | | Тепловідходи | -52,49 | | -187 1 | -163 0 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | - | 24,50 | | | 24,50 | | | | |
| | | | | | - | 25,89 | | | 25,89 | | | | |
| 0,26 | 1 | | | | - | | 18,51 | | 18,51 | | 245 6 | 213 9 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | -21 | 2,0 | | | | | | 1,15 | | | 4 |
| | | -0,26 | | | 18 | -71,35 | | | -71,35 | | | | |
| | | -0,26 | | | 18 | -71,35 | | | -71,35 | | | | |
| | | | | | | | | Тепловідходи | -142,70 | | -508 7 | -443 1 | |
| | | | | | | | | ∑Нтi= | **68,90** | | | | |
| | | | | | - | 9,87 | | | 9,87 | | | | |
| | | | | | - | 25,36 | | | 25,36 | | | | |
| 0,44 | 1 | | | | - | | 45,39 | | 45,39 | | 703 2 | 634 6 | |
| | | | -21 | 2,0 | - | 37,32 | | | 37,32 | 1,15 | | | 4 |
| | | | | | - | 31,21 | | | **31,21** | | | | |
| | | | | | | | | ∑Нтi= | **149,14** | | | | |
| | | | | | - | 15,59 | | | **15,59** | | | | |
| | | | | | - | 0,00 | | | **0,00** | | | | |
| 0,41 | 1 | | | | - | | 74,85 | | 74,85 | | 685 6 | 615 3 | |
| | | | -21 | 2,0 | - | 62,42 | | | 62,42 | 1,15 | | | 4 |
| | | | | | | | | ∑Нтi= | 152,86 | | | | |
| | | | | | - | 15,59 | | | 15,59 | | | | |
| | | | | | - | 65,86 | | | 65,86 | | | | |
| 0,44 | 1 | | | | - | | 74,85 | | 74,85 | | 7207,50 | 6504,33 | |
| | | | -21 | 2,00 | - | 62,42 | | | 62,42 | 1,15 | | | 4 |
| | | | | | | | | ∑Нтi= | 218,72 | | | | |
| | | | | | - | 7,80 | | | 7,80 | | | | |
| | | | | | - | 37,32 | | | 37,32 | | | | |
| 0,44 | 1 | | | | - | | 45,39 | | 45,39 | | 5738,85 | 5178,96 | |
| | | | -21,00 | 2,00 | - | 31,21 | | | 31,21 | 1,15 | | | 4 |
| | | | | | | | | ∑Нтi= | 121,71 | | | | |
| | | | | | - | 25,36 | | | 25,36 | | | | |
| | | | | | - | 17,66 | | | 17,66 | | | | |
| | | | | | - | 70,25 | | | 70,25 | | | | |
| 0,44 | 1 | | | | - | | 85,44 | | 85,44 | | 12312,10 | 11110,92 | |
| | | | -21 | 2 | - | 62,41536 | | | 62,41536 | 1,15 | | | 4 |
| | | | | | | | | ∑Нтi= | 261,13 | | | | |

| Теплозатрати приміщень на нагрівання вентиляційного повітря | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Коефіцієнти | | | | Витрата повітря | | | | | | | Характеристика вентиляційних теплозатрат, $H_{v.t}$, Вт/°С | | Вентиляційні теплозатрати, $Ф_{v.t}$, Вт | |
| екрануванн я, $e_1$ | на висоту розміщення огородження, $c_1$ | ефективності утилізації тепла, $\eta_v$ | на температуру припливного повітря, $t_{v.t}$ | інфільтраційно го (в черговий режим), $V_{інф}$, м³/год | питома виробничих приміщень, $q_{вир.}$ | | мінімальна, $V_{вир.}$, м³/год | | розрахункова, $V_p$ м³/год | | | | | |
| | | | | | основний режим, м³/год*люд | черговий режим, м³/год*м² | основний режим | черговий режим | основний режим | черговий режим | основний режим | черговий режим | основний режим | черговий режим |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 |
| 0,05 | 1,0 | - | 5 | 880,27 | 60 | 0,54 | 1200,00 | 158,45 | 1200,00 | 880,27 | 402,32 | 295,13 | 2313 | 1697 |
| 0,05 | 1,0 | - | 5 | 971,91 | 60 | 0,54 | 1380,00 | 174,94 | 1380,00 | 971,91 | 462,67 | 325,85 | 2660 | 1874 |
| 0,05 | 1,0 | - | 5 | 149,76 | 60 | 0,54 | 60,00 | 38,88 | 60,00 | 149,76 | 20,12 | 50,21 | 116 | 289 |
| 0,05 | 1,0 | - | 5 | 74,88 | 60 | 0,54 | 60,00 | 19,44 | 60,00 | 74,88 | 20,12 | 25,10 | 116 | 144 |
| 0,05 | 1,0 | - | 5 | 99,32 | 60 | 0,54 | 300,00 | 29,80 | 300,00 | 99,32 | 100,58 | 33,30 | 578 | 191 |
| 0,05 | 1,0 | - | 5 | 194,35 | 60 | 0,54 | 120,00 | 58,30 | 120,00 | 194,35 | 40,23 | 65,16 | 231 | 375 |
| 0,05 | 1,00 | - | 5 | 194,35 | 60 | 0,54 | 360,00 | 58,3038 | 360 | 194,35 | 40,23 | 65,16 | 231 | 375 |
| 0,05 | 1,00 | - | 5 | 95,53 | 60 | 0,54 | 360,00 | 28,66 | 360,00 | 95,53 | 120,70 | 32,03 | 694,00 | 184,15 |
| 0,05 | 1,00 | - | 5 | 198,14 | 60 | 0,54 | 120,00 | 59,44 | 120,00 | 198,14 | 40,23 | 66,43 | 231,33 | 381,96 |

**Тепловий баланс приміщень** *Таблиця 4.5*

| Номер приміщення | Назва приміщення | Характеристика приміщення | | | | | Втрати теплоти, Вт | | | | | | Теплонадходження, Вт | | | | | | | Тепловий баланс | | Потужність СО розрахункова, $\Phi HL_{осн}$, $\Phi HL_{черг}$, Вт | Потужність СО проектна, $\Phi_{HL}$, Вт | $\Phi_{HL.осн}/\Phi_{HL.черг}$ | Номер вітки системи |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Обєм, $v_{пр}$, м$^3$ | Висота приміщення, $h_{пр}$, м | Розрахункова температура, $\theta_{вн.з}$, °С | Питомі надлишки тепла, $q_{з}$ Вт/м$^3$ | Режим роботи | трансмісійні тепловтрати, $\Phi_{т.j}$ | вентиляційні тепловтрати, $\Phi_{v.j}$ | нагрівання обладнання, $\Phi_{Qбл}$ | нагрівання транспорту, ФQтп | Нагрівання матеріалів і виробів, Фвм | Загальні, $\Sigma\Phi_{витр}$ | людей, $\Phi_{л}$ | штучного освітлення, $\Phi_{осв}$ | Остигання обладнання, $\Phi_{обл}$ | Від устаткування з електродвигунами, Фет | Від печей, Фqпуст | Інші надх., $\Phi_{інш}$ | Загальні, $\Sigma\Phi_{надх}$ | Теплонестача, $-\Delta\Phi$, Вт | Теплонадлишки, $+\Delta\Phi$, Вт | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 101 | Токарне відділення | 2200,7 | 7,5 | 18 | 28,24 | Основний | 30501,0 | 2313,0 | 12419,7 | 785,0 | 728,9 | 46747,6 | 4160,0 | 4239,9 | | 41318,2 | | | 49718,1 | | 2970,5 | 0,0 | -16983,3 | 0,00 | СО-1 |
| | | | | 14 | | Черговий | 27373,0 | 1697,0 | | | | 29070,0 | | | 12419,7 | | | | 12419,7 | -16650,3 | | -16983,3 | | | |
| 102 | Збірне відділення | 2429,8 | 7,5 | 18 | 9,90 | Основний | 32689,0 | 2660,0 | 3742,0 | 785,0 | | 39876,0 | 4784,0 | 1550,4 | | 3300,0 | | | 9634,4 | -30241,6 | | -30846,4 | -30846,4 | 1,10 | СО-2 |
| | | | | 14 | | Черговий | 29336,0 | 1874,0 | | | | 31210,0 | | | 3742,0 | | | | 3742,0 | -27468,0 | | -28017,4 | | | |
| 103 | Склад готової продукції | 366,0 | 5,2 | 10 | 3,22 | Основний | 5798,0 | 116,0 | - | | | 5914,0 | 157,0 | 1021,3 | | | | | 1178,3 | -4735,7 | | -4830,4 | -5445,8 | 0,89 | СО-3 |
| | | | | 6 | | Черговий | 5050,0 | 289,0 | | | | 5339,0 | | | | | | | 0,0 | -5339,0 | | -5445,8 | | | |
| 104 | Склад матеріалів | 283,7 | 7,5 | 10 | 2,48 | Основний | 2456,0 | 116,0 | - | | | 2572,0 | 157,0 | 546,5 | | | | | 703,5 | -1868,5 | | -1905,9 | -2328,7 | 0,82 | СО-3 |
| | | | | 6 | | Черговий | 2139,0 | 144,0 | | | | 2283,0 | | | | | | | 0,0 | -2283,0 | | -2328,7 | | | |
| 105 | Зварювальне відділення | 248,3 | 4,5 | 20 | 143,50 | Основний | 7032,0 | 578,0 | 204,6 | | | 7814,6 | 1040,0 | 797,4 | | 10292,8 | 23287,8 | | 35418,0 | | 27603,4 | 0,0 | -6459,0 | 0,00 | СО-4 |
| | | | | 16 | | Черговий | 6346,0 | 191,0 | | | | 6537,0 | | | 204,6 | | | | 204,6 | -6332,4 | | -6459,0 | | | |
| 106 | Фарбувальний відділення | 485,865 | 4,5 | 18 | 38,97 | Основний | 6856 | 231,0 | 1519,2 | | | 8606,2 | 416 | 1560,2 | | 15439,2 | | | 17415,4 | | 8809,2 | 0,0 | -5109,0 | 0,00 | СО-4 |
| | | | | 14 | | Черговий | 6153 | 375,0 | | | | 6528,0 | | | 1519,2 | | | | 1519,2 | -5008,8 | | -5109,0 | | | |
| 107 | Просочувальне і шліфувальне відділення | 485,865 | 4,5 | 20 | 48,1 | Основний | 7207,5 | 231,0 | 1268,6 | | 127,88 | 8835,0 | 1248 | 1560,2 | | 19299 | | | 22107,2 | | 13272,2 | 0,0 | -5722,9 | 0,00 | СО-4 |
| | | | | 16 | | Черговий | 6504,33 | 375,0 | | | | 6879,3 | | | 1268,6 | | | | 1268,6 | -5610,7 | | -5722,9 | | | |
| 108 | Намоточне відділення | 238,815 | 4,5 | 20 | 26,4 | Основний | 5738,85 | 694,0 | 982,1 | | | 7415,0 | 1248 | 766,9 | | 3308,4 | | | 5323,3 | -2091,7 | | -2133,5 | -4468,6 | 0,48 | СО-5 |
| | | | | 16 | | Черговий | 5178,96 | 184,2 | | | | 5363,1 | | | 982,1 | | | | 982,1 | -4381,0 | | -4468,6 | | | |
| 109 | Нікелювальне відділення | 495,34 | 4,5 | 20 | 49,58 | Основний | 12312,1 | 231,3 | 608,7 | | 3305,7 | 16457,8 | 416 | 1590,5 | | 21945,72 | | | 23952,2 | | 7494,4 | 0,0 | -11101,9 | 0,00 | СО-6 |
| | | | | 16 | | Черговий | 11110,92 | 382,0 | | | | 11492,9 | | | 608,7 | | | | 608,7 | -10884,2 | | -11101,9 | | | |

*Додаток Б*