

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичної роботи
«ЗАХИСТ ВІД ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ»
з дисципліни «Безпека виробничих процесів і устаткування»
для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр
напряму підготовки 263 «Цивільна безпека»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 30.01.2018 р.

Харків
НТУ «ХП»
2018

Методичні вказівки до виконання практичної роботи «Захист від теплового випромінювання» з дисципліни «Безпека виробничих процесів і устаткування» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напрям підготовки 263 «Цивільна безпека» / Уклад. Любченко І.М., Мезенцева І.О. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 29 с.

Укладачі: І.М. Любченко
І.О. Мезенцева

Рецензент Л.М. Чуніхіна

Кафедра охорони праці та навколишнього середовища

Вступ

На підприємствах машинобудівного профілю при проведенні різних технологічних процесів (зварювання, ливарне виробництво, термічні роботи тощо) виникає небезпека теплового (інфрачервоного) випромінювання.

Інфрачервоні (ІЧ) випромінювання чинять на організм людини в основному теплову дію. Залежно від довжини хвилі ІЧ-випромінювання поділяються на короткохвильові з довжиною хвилі від 0,76 до 1,4 мкм та довгохвильові – більше 1,4 мкм. Саме довжина хвилі значною мірою обумовлює проникну здатність ІЧ-випромінювань. Найбільшу проникну здатність мають короткохвильові ІЧ-випромінювання, які впливають на органи та тканини організму людини, що знаходяться на глибині кількох сантиметрів від поверхні тіла. ІЧ промені довгохвильового діапазону затримуються поверхневим шаром шкіри. Спектр ІЧ-випромінювань (довгохвильових чи короткохвильових) в основному залежить від температури джерела променів: при температурі до 100 °С випромінюються довгохвильові промені, а при температурі більше ніж 100 °С – короткохвильові.

При тривалому перебуванні людини в зоні теплового променевого потоку, як і при систематичному впливі високих температур, відбувається різке порушення теплового балансу в організмі. При цьому порушується робота терморегулювального апарату, посилюється діяльність серцево-судинної та дихальної систем, відбувається значне потовиділення, яке призводить до втрати потрібних для організму солей. Інтенсивність теплового випромінювання обумовлює також появу певних нервових розладів: дратівливості, часті болі голови, безсоння. Серед працівників «гарячих» цехів (прокатників,

ливарників та ін.) відзначається значний відсоток осіб, які страждають нев-
ростенією.

Таким чином, ІЧ-випромінювання впливають на організм людини, порушують його нормальну діяльність та функціонування органів і систем організму, що може призвести до появи професійних та професійно зумов-
лених захворювань.

Гігієнічні вимоги до теплового опромінення на робочих місцях зале-
жать:

- від стажу роботи в цеху;
- часу впливу теплового потоку;
- температури джерела тепла;
- температури повітря на робочому місці.

Для захисту від ІЧ-випромінювання використовують теплозахисні
пристрої, які мають забезпечувати інтенсивність теплового потоку на робо-
чих місцях не більш ніж 350 Вт/м^2 [1]. Одним із засобів захисту від ІЧ-
випромінювання є екран, який розраховують виходячи з необхідного зни-
ження інтенсивності теплового потоку.

1. Визначення інтенсивності теплового опромінення працюючого

Мета роботи – ознайомитись з розрахунком визначення інтенсивності теплового опромінення працюючого.

Робітник під час зміни працює біля печі, всередині якої середньозмінна температура становить $t_1 = 740\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кладка печі виконана з червоної та вогнетривкої цегли. Товщина кладки печі $h_1 = 0,36\text{ м}$, заслінка має розміри за вертикаллю $d_1 = 0,8\text{ м}$ і за горизонталлю $d_2 = 1,2\text{ м}$. Піч має розміри у вертикальному перерізі $A \times B = 4,2 \times 2\text{ м}$. Температура на робочому місці становить $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відстань до робочого місця від джерела опромінення – $x(\text{м})$.

Приклад 1.1. Визначити інтенсивність опромінення працюючого біля печі при закритій і відкритій заслінці і зробити висновок про режим роботи та про необхідні і достатні засоби захисту від теплового випромінювання.

Варіанти завдань

№ з/п	Середньозмінна температура печі, $^{\circ}\text{C}$	Товщина кладки печі, мм	Температура повітря на робочому місці, $^{\circ}\text{C}$	Відстань від джерела опромінення до робочого місця, м
1	750	0,4	30	2
2	755	0,35	29	1,7
3	746	0,38	28	1,8
4	756	0,40	30	1,5
5	748	0,36	29	2,5
6	757	0,42	27	2
7	746	0,43	28	1,9
8	747	0,45	29	2
9	745	0,36	27	1,7
10	752	0,44	30	1,9

Розв’язання. Для спрощення розрахунків приймаємо товщину стінки в місці завантажувального отвору $h \approx h_1$.

Знайдемо співвідношення $r = h / d_1$ (або h / D для круглого завантажу-

вального отвору) і параметр « u »:

$$r = \frac{h}{d_1} \approx \frac{h_1}{d_1} = \frac{0,36}{0,8} = 0,45; \quad (1.1)$$

$$u = x \cdot F^{0,5} = 1,5 \cdot (0,8 \cdot 1,2)^{0,5} = 1,47, \quad (1.2)$$

де x – відстань робочого місця від поверхні, що випромінює, м; F – площа поверхні, що випромінює, м².

Визначаємо $\varphi_{p.m.}$ – коефіцієнт, що враховує відстань від робочого місця до джерела випромінювання. Для оцінки $\varphi_{p.m.}$ можна скористатися співвідношеннями:

$$\varphi_{\delta i} = 0,15 \cdot e^{-0,56u} \quad (\text{для } 2 < u < 4,8); \quad (1.3)$$

$$\varphi_{\delta i} = 1,65 \cdot e^{-1,77u} \quad (\text{для } 0,1 < u < 1,6). \quad (1.4)$$

Оскільки параметр « u » знаходиться в межах 0,1–1,6, скористаємось формулою 1.4:

$$\varphi_{\delta i} = 1,65 \cdot e^{-1,77 \cdot 1,47} = 0,12.$$

За додатком 1 знаходимо коефіцієнт діафрагмування випромінювання з отвору $\varphi_{отв}$:

$$\varphi_{отв} = 0,91 \cdot e^{-0,31r} = 0,91 \cdot e^{-0,31 \cdot 0,45} = 0,8.$$

Інтенсивність опромінення робочого місця від відкритого завантажувального отвору визначають за формулою

$$q_{p.m.отв} = 5,76 \cdot \varphi_{p.m.} \cdot \varphi_{отв} \cdot \left(\frac{273 + t_1}{100} \right)^4, \quad (1.5)$$

де 5,76 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, Вт/(м² · К⁴); t_1 – температура джерела опромінення, °С.

Після підстановки даних отримуємо:

$$q_{p.m.отв} = 5,76 \cdot 0,12 \cdot 0,8 \cdot \left(\frac{273 + 740}{100} \right)^4 \approx 5820 \text{ Вт/м}^2.$$

За додатком 2 вибираємо тип заслінки (екрана) і визначаємо інтенсивність опромінення працюючого при закритій заслінці. В даному випадку вибирається заслінка лита, футерована цеглою або теплоізоляційним матеріалом з ефективністю 30 %. При закритому завантажувальному отворі печі заслінка затримає 30 % теплового випромінювання та на робочому місці інтенсивність випромінювання становитиме $q_{p.m.з} = 70 \% \cdot 5820 = 4074 \text{ Вт/м}^2$.

За додатком 3 визначимо виділення тепла в приміщенні від нагрітих поверхонь печі. Тепловий потік з 1 м² поверхні печі, виконаної з вогнетривкої цегли товщиною 0,36 м, в горизонтальному напрямку за умови, якщо відсутнє примусове охолодження, згідно з додатком 17 становитиме, Вт/м²

$$q_{\text{н}} = 7,9 \cdot Z^2 + 168,8 \cdot Z - 73,3, \quad (1.6)$$

де Z – внутрішня температура печі, розділена на 100: $Z = \frac{t_{\text{вн}}}{100}$.

Знаходимо Z :

$$Z = \frac{t_{\text{вн}}}{100} = \frac{740}{100} = 7,4.$$

Підставляємо значення до формули 11.6:

$$q_{\text{н}} = 7,9 \cdot 7,4^2 + 168,8 \cdot 7,4 - 73,3 \approx 1608 \text{ Вт/м}^2.$$

Визначаємо загальну інтенсивність опромінення працюючого:

– при відкритій заслінці:

$$q_{\text{заг.отв}} = q_{\text{р.м.от}} + q_{\text{н}} = 5820 + 1608 = 7428 \text{ Вт/м}^2; \quad (1.7)$$

– при закритій заслінці:

$$q_{\text{заг.з}} = q_{\text{р.м.з}} + q_{\text{к}} = 4074 + 1608 = 5682 \text{ Вт/м}^2. \quad (1.8)$$

Навіть при закритому завантажувальному отворі інтенсивність опромінення на робочому місці становитиме більше 4000 Вт/м². Тому на даному робочому місці необхідно встановити водяну завісу для захисту працюючих від надлишкового тепла (див. додаток 2) з ефективністю поглинання 90 %. При цьому інтенсивність теплового опромінення знизиться до 550 Вт/м². Додатково можна використовувати повітряний струмінь (додаток 4).

Температуру зовнішньої поверхні печі можна виміряти безпосередньо на поверхні печі за допомогою термопари. Ця величина необхідна для аналізу пожежонебезпеки об'єкта. Орієнтовну температуру зовнішньої поверхні печі можна визначити з співвідношення

$$t_{\text{н}} = -0,3 \cdot Z^2 + 21,56 \cdot Z - 11,2. \quad (1.9)$$

2. Захист від теплових випромінювань

Мета – розрахувати інтенсивність теплового потоку на робочому місці, яке розташовано поблизу джерел теплових випромінювань, порівняти результати з гігієнічними вимогами щодо теплового опромінення на робочих місцях та, за потребою, вибрати теплозахисний екран для джерела випромінювання.

Інтенсивність теплового потоку на робочих місцях у ливарних цехах можна розрахувати за формулами:

$$q = 3,26F \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right] \frac{1}{l^2} \text{ при } \frac{l}{F} \geq 1, \quad (2.1)$$

$$q = 3,26\sqrt{F} \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right] \frac{1}{l} \text{ при } \frac{l}{F} < 1, \quad (2.2)$$

де q – інтенсивність теплового потоку, Вт/м²; F – площа поверхні, що випромінює, м²; T – температура поверхні, що випромінює, К; l – відстань від центра поверхні, що випромінює, до об'єкта, який підлягає опроміненню, м.

Варіанти завдань

№ з/п	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	$F, \text{м}^2$	$l, \text{м}$	$t_{\text{вил}}, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{с}$	$t_{\text{п.р.з}}, ^\circ\text{C}$
	До прикладу 1			До прикладу 2		
1	330	6,0	4,0	330	100	19
2	320	3,0	3,0	320	110	18
3	310	3,5	2,0	310	120	20,5
4	340	4,0	3,0	340	130	19
5	360	4,5	4,0	360	140	21
6	370	5,0	5,0	370	100	18
7	380	5,5	4,5	380	110	20
8	375	6,0	3,0	375	120	19,5
9	335	4,0	5,0	335	130	18,5
10	345	4,5	4,0	345	140	20

Приклад 2.1. Розрахувати інтенсивність теплового потоку від виливка корпусу редуктора з температурою 350 °С й зовнішньою поверхнею 4,0 м² на відстані від робітника 3,0 м.

Розв'язання. Знаходимо відношення відстані до виливка l і до площі поверхні, що випромінює, F :

$$\frac{l}{F} = \frac{3}{4,0} = 0,75.$$

Оскільки $\frac{l}{F} < 1$, то інтенсивність тепловипромінювання розраховуємо за формулою 2.2:

$$q = 3,26\sqrt{F} \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right] \frac{1}{l} \text{ при } \frac{l}{F} < 1.$$

Залежно від наданих умов визначаємо допустиму інтенсивність теплового потоку та порівнюємо з ним дані, що отримані вище.

Приклад 2.2. Робітник, що обслуговує вибивні решітки, має робочий стаж менше 3 років (не акліматизований робітник). Температура виливка 350°C (низькотемпературне джерело), температура повітря на робочому місці 20°C . Визначити максимально допустиму інтенсивність теплового потоку при терміні впливу джерела тепла на робітника 130 секунд.

Розв'язання. Для не акліматизованого робітника при терміні впливу джерела більше 60 с допустима інтенсивність теплового потоку дорівнює $0,3 \text{ кВт/м}^2$, або 300 Вт/м^2 . Для температури повітря 20°C ті низькотемпературного джерела допустима інтенсивність теплового потоку дорівнює 280 Вт/м^2 . Тобто інтенсивність теплового потоку, що випромінюється виливом, у прикладі 1 більше допустимої ($3057 > 280$). Тому необхідно зменшити інтенсивність теплового потоку. Змінити технологічний процес можна шляхом примусового охолодження виливка перед подаванням на вибрану решітку, але це призведе до підвищення собівартості виливка. Найбільш доцільним є використання теплового екрана для захисту робітника.

Розрахунок металевого теплозахисного екрана

Розрахунок металевого теплозахисного екрана ведеться в такому порядку.

1. Визначають ступінь зниження інтенсивності теплового потоку, яка необхідна, або ступінь екранування за формулою

$$\mu = \frac{T}{T_e}, \quad (2.3)$$

де μ – ступінь екранування; T – температура поверхні, що випромінюємо, К; T_e – допустима температура екрана, К.

Згідно з вимогами санітарних норм вона не повинна бути більше 318 К (45 °С). Звичайно для покращення умов праці робітників приймають температуру екрана на 5...10 °С градусів вище середньої температури повітря в цеху.

Обравши матеріал екрана, за формулою 2.4 розраховують наведений ступінь чорноти системи тіл, що беруть участь у променевому теплообміні (випромінювальна поверхня – поверхня екрана);

$$A = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon} + \frac{1}{\varepsilon_0} - 1}, \quad (2.4)$$

де A – наведений ступінь; ε – ступінь чорноти нагрітої поверхні, що визначається за додатком 8; ε_0 – ступінь чорноти поверхні екрана, який залежить від стану поверхні й матеріалу екрана, визначається за додатком 8.

2. Розраховують температуру екрана за формулою

$$T_0 = 100 \sqrt[4]{A \left(\frac{T}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_{п.р.з}}{100} \right)^4 \frac{1}{A}}, \quad (2.5)$$

де T_0 – дійсна температура екрана, К; $T_{п.р.з}$ – температура повітря робочої зони, К.

Якщо отримані значення T_0 більше температури екрана T_e , то необхідним є встановлення додаткових екранів або заміна поверхні екрана матеріалом з меншим ступенем чорноти. При встановленні другого екрана розраховується його температура за формулою (2.5), але замість T підставляється значення T_0 . Отримане значення температури екрана порівнюється з допустимим. Якщо T_0 знову більше температури екрана, то встановлюється ще один теплозахисний екран, і розрахунок повторюють доти, поки T_0 буде дорівнювати або буде меншою за температуру екрана.

Для скорочення часу розрахунку теплозахисного екрана можна скористатися спеціальною номограмою.

Розрахунок прозорих та напівпрозорих екранів, світлофільтрів, сталевих сіток та інших екранів здійснюється відповідно до методик, що наведені у цьому виданні.

3. Екранування джерел теплового випромінювання

На підприємствах машинобудування найбільш поширеними є теплові (інфрачервоні) випромінювання. Для захисту від випромінювання дуже часто використовують екрани. Екранування джерел теплового випромінювання розглянуто у прикладах 3.1–3.3.

Приклад 3.1. Пульт керування знаходиться в цеху гарячої прокатки. Відстань від оператора, вдягнутого у бавовняний спецодяг, до джерела теплових випромінювань – 4 м. Температура зовнішньої поверхні джерела – 45 °С, матеріал поверхні – сталь, площа поверхні – 120 м². Запропонувати заходи щодо захисту оператора від теплових випромінювань.

Варіанти завдань

№ з/п	Середньозмінна температура печі, °С	Товщина кладки печі, мм	Температура повітря на робочому місці, °С	Відстань від джерела опромінення до робочого місця, м
1	750	0,4	30	2
2	755	0,35	29	1,7
3	746	0,38	28	1,8
4	756	0,40	30	1,5
5	748	0,36	29	2,5
6	757	0,42	27	2
7	746	0,43	28	1,9
8	747	0,45	29	2
9	745	0,36	27	1,7
10	752	0,44	30	1,9

Розв’язання. Розрахуємо інтенсивність теплових випромінювань для робочого місця оператора. Формула для розрахунку визначається співвідношенням між відстанню від джерела випромінювання r і площею поверхні джерела S . При $r \geq \sqrt{S}$ інтенсивність теплових випромінювань розраховують за формулою

$$E = \frac{0,19S \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - A \right]}{r^2}. \quad (3.1)$$

При $r < \sqrt{S}$ інтенсивність теплових випромінювань розраховують за формулою

$$E = \frac{0,19S \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - A \right]}{r}. \quad (3.2)$$

У формулах (3.1) і (3.2): T – температура поверхні джерела, К; A – коефіцієнт, що залежить від тканини, з якої виготовлено спецодяг людини: для бавовняної тканини $A = 85$, для сукна $A = 110$.

Для даного робочого місця $r < \sqrt{S}$, тому розрахунок робимо за формулою (3.2) і одержуємо інтенсивність теплових випромінювань, яка дорівнює 471 Вт/м^2 , що перевищує допустиме значення, яке дорівнює 140 Вт/м^2 (додаток 9).

Для захисту оператора від теплових випромінювань рекомендують використати теплопоглинальні прозорі екрани. Необхідну кількість екранів визначають із такого рівняння:

$$m = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\varepsilon_{1,2}}{\varepsilon_{1,E}} (n + 1), \quad (3.3)$$

де m – кратність ослаблення; E_1 та E_2 – інтенсивність теплових випромінювань до і після встановлення екрана, Вт/м^2 ; $\varepsilon_{1,2}$ та $\varepsilon_{1,E}$ – наведений ступінь чорноти між джерелом випромінювання та робочим місцем і між джерелом випромінювання та екраном, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; n – кількість екранів.

У нашому випадку необхідна кратність ослаблення становить:

$$m = 471 / 140 = 3,36.$$

Наведений ступінь чорноти між двома паралельними тілами розраховують за формулою

$$\varepsilon_{\text{np}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \quad (3.4)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – ступінь чорноти першого та другого тіла, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Ступінь чорноти вибираємо за даними таблиці додатка 8: для джерела (сталь) – $0,55$; для робочого місця оператора – $0,87$; для матеріалу екрана (скло) – $0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$. Тоді приведений ступінь чорноти між джерелом випромінювання та робочим місцем становить $0,51$, а джерелом та екраном – $0,40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$. Потрібна кількість екранів за формулою (3.3) становить

3,36. Приймаємо до установалення 3 екрани.

Приклад 3.2. Розрахувати тепловідбивний екран для нагрівальної печі, температура зовнішній стінки якої 127 °С. Температура повітря в цеху 25 °С. Піч покрита листами зі сталі (ступінь чорноти прийняти 0,8). Температура зовнішньої поверхні екрана повинна бути не більш 30 °С.

Варіанти завдань

№ з/п	Середньозмінна температура печі, °С	Товщина кладки печі, мм	Температура повітря на робочому місці, °С	Відстань від джерела опромінення до робочого місця, мм
1	750	0,4	30	2
2	755	0,35	29	1,7
3	746	0,38	28	1,8
4	756	0,40	30	1,5
5	748	0,36	29	2,5
6	757	0,42	27	2
7	746	0,43	28	1,9
8	747	0,45	29	2
9	745	0,36	27	1,7
10	752	0,44	30	1,9

Розв’язання. Розраховуємо абсолютні температури зовнішньої стінки печі, повітря та екрана:

$$T_1 = 127 + 273 = 400 \text{ К}; T_2 = 25 + 273 = 298 \text{ К}; T_3 = 30 + 273 = 303 \text{ К}.$$

Визначаємо ступінь екранування:

$$\mu = \frac{400}{300} = 1,32. \quad (3.5)$$

Для екрана вибираємо альфоль, ступінь чорноти якого становить 0,07. Ступінь чорноти для простору навколо печі приймаємо 0,82.

За формулою (3.3) розраховуємо приведену ступінь чорноти між стіною та екраном ($\epsilon_{1,E} = 0,07$) і між стіною та навколишнім середовищем ($\epsilon_{1,2} = 0,75$).

Необхідну кратність зниження теплового потоку визначаємо за фор-

мулою

$$m = \frac{1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4}{1} \bigg/ \mu - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4, \quad (3.6)$$

де μ – ступінь екранування.

Необхідна кратність зниження теплового потоку становить 31,5. Виходячи з формули (3.2), знаходимо потрібну кількість екранів з альфолію:

$$n = 31,5 \frac{0,07}{0,75} - 1 = 1,94.$$

Розрахунок показав, що для забезпечення температури зовнішньої поверхні екрана, яка повинна бути не більш 30 °С, достатньо встановити двохшаровий екран із альфолію.

Приклад 3.3. Температура зовнішньої поверхні джерела теплового випромінювання 527 °С. Температура стін цеху 17 °С. Використання екранів дозволило знизити інтенсивність теплових випромінювань у 3 рази. Визначити температуру зовнішньої поверхні екрана.

Варіанти завдань

№ з/п	Середньозмінна температура печі, °С	Товщина кладки печі, мм	Температура повітря на робочому місці, °С	Відстань від джерела опромінення до робочого місця, мм
1	750	0,4	30	2
2	755	0,35	29	1,7
3	746	0,38	28	1,8
4	756	0,40	30	1,5
5	748	0,36	29	2,5
6	757	0,42	27	2
7	746	0,43	28	1,9
8	747	0,45	29	2
9	745	0,36	27	1,7
10	752	0,44	30	1,9

Розв’язання. Розрахуємо абсолютні температури зовнішньої стінки печі та повітря: $T_1 = 527 + 273 = 800$ К; $T_2 = 17 + 273 = 290$ К.

Кратність зниження теплового потоку (згідно з умовами прикладу) становить 3. Виходячи з формули (34), знаходимо коефіцієнт зниження температури зовнішньої поверхні екрана (ступінь екранування):

$$\mu = \sqrt[4]{\frac{m}{1 + (m - 1) \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^4}} = \sqrt[4]{\frac{3}{1 + (3 - 1) \left(\frac{290}{800} \right)^4}} = 1,3. \quad (3.7)$$

Визначаємо температуру зовнішньої поверхні екрана:

Розрахунок температури зовнішньої поверхні екрана показав необхідність захисту робітників, тому що згідно з нормативними вимогами, температура поверхні, до якої може торкатися людина, не повинна перевищувати 50 °С. У даному випадку найбільш раціонально використовувати захист додержанням відстані.

Контрольні запитання

1. Що являє собою ІЧ-випромінювання (джерела та природа походження)?
2. Залежно від довжини хвилі як поділяються ІЧ-випромінювання?
3. Наведіть рівняння теплового балансу в організмі людини.
4. Якою є дія ІЧ-випромінювання на організм людини?
5. Від чого залежать гігієнічні вимоги до теплових опромінь на робочих місцях?
6. Якою повинна бути інтенсивність теплового потоку на робочих місцях?
7. Назвіть способи захисту працюючих від ІЧ-випромінювання.
8. За допомогою чого можна визначити температуру зовнішньої поверхні печі?
9. Що є передумовою для встановлення додаткових екранів?
10. Якою повинна бути температура екрана згідно з санітарними нормами?

ДОДАТКИ

Додаток 1

Залежність коефіцієнта діафрагмування при випромінюванні
з отвору печі від відношення $r = h / d$

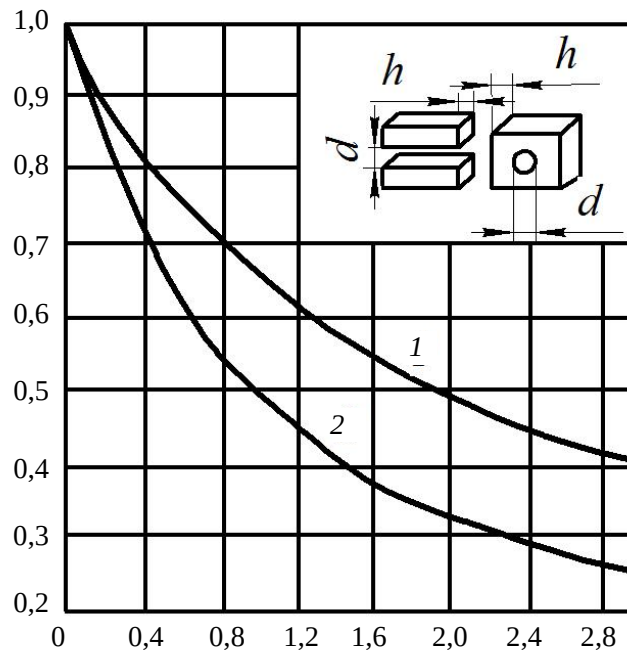


Рис. Д1: h – товщина стінки печі; d – діаметр та висота отвору

Залежності в аналітичному вигляді	
для прямокутного отвору	для круглого отвору
$\varphi_{\text{отв}} = 0,91 \cdot e^{-0,31r}$ (для $2,8 > r > 0,1$)	$\varphi_{\text{отв}} = 0,81 \cdot e^{-0,45r}$

Додаток 2

Ефективність η умови застосування і місце установлення
теплозахисних екранів у гарячих цехах

Екрани для локалізації теплових випромінювань	Види крану	Конструктивне виконання	η , %	Умова застосування		Місце установлення
				Інтенсивність опромінення, кВт/м ²	Температура джерела, К	
Глухі непрозорі	Тепловідводні	Заслінки зварні, футеровані	88	14	2070–2270	Отвори печей
		Порожнинні плити коробки	93	1,5–5	470–1470	Відкриті та закриті джерела стінки, отвори печей
	Теплопоглинальні	Заслінки литі, футеровані цеглою або теплоізоляційним матеріалом	30	3,5–7	1070–1170	Отвори печей
Глухі прозорі	Тепловідводні	Завіса плівкова, водяна по склу	92	0,35–1,75	1170	Пости пультівників
		Завіса водяна, без скла, зливна	90	0,35–3,5	1170	Отвори печей
		Завіса водяна напірна	90	0,35–7	1170	Отвори печей
	Теплопоглинальні	Завіса вододисперсна	60	3,5–7	2070	Отвори печей
		Завіса парова	55	5	1470	Отвори печей

Додаток 3

Формули для розрахунку кількості теплоти, що надійшло
в приміщення від нагрітих поверхонь печей, виконаних
зі стандартного червоної і вогнетривкої цегли

Товщина стінки, м	Кількість теплоти, що надійшла в приміщення від нагрітих поверхонь, Вт/м ²	Температура зовнішньої поверхні печі, °С
0,12	$q_{\text{н}} = 32,6 \cdot Z^2 + 380 \cdot Z - 116$	$t_{\text{н}} = -0,083 \cdot Z^2 + 30 \cdot Z + 24,7$
0,24	$q_{\text{н}} = 11,6 \cdot Z^2 + 255 \cdot Z - 223,5$	$t_{\text{н}} = -0,29 \cdot Z^2 + 24,85 \cdot Z - 2,9$
0,36	$q_{\text{н}} = 7,9 \cdot Z^2 + 168,8 \cdot Z - 73,3$	$t_{\text{н}} = -0,3 \cdot Z^2 + 21,56 \cdot Z - 11,2$
0,48	$q_{\text{н}} = 5,8 \cdot Z^2 + 125,7 \cdot Z - 45,4$	$t_{\text{н}} = 0,11 \cdot Z^2 + 16,18 \cdot Z - 8,6$
0,6	$q_{\text{н}} = 5,4 \cdot Z^2 + 98,9 \cdot Z - 26,8$	$t_{\text{н}} = 0,05 \cdot Z^2 + 11,83 \cdot Z - 0,5$
0,7	$q_{\text{н}} = 6,3 \cdot Z^2 + 54,7 \cdot Z - 66,3$	$t_{\text{н}} = 0,163 \cdot Z^2 + 8,15 \cdot Z + 4,3$
0,9	$q_{\text{н}} = 5,1 \cdot Z^2 + 38,4 \cdot Z + 70$	$t_{\text{н}} = 0,14 \cdot Z^2 + 7,86 \cdot Z - 5,9$
1,2	$q_{\text{н}} = 5,8 \cdot Z^2 + 8,5 \cdot Z + 246,7$	$t_{\text{н}} = 0,28 \cdot Z^2 + 1,84 \cdot Z + 21,2$
1,5	$q_{\text{н}} = 6,6 \cdot Z^2 + 46,6 \cdot Z + 380$	$t_{\text{н}} = 0,14 \cdot Z^2 + 4 \cdot Z - 1,5$

Примітка. У формулах змінної Z позначена внутрішня температура
печі (°С), поділена на 100:

$$Z = \frac{t_{\text{вн}}}{100}.$$

Додаток 4

Температура і швидкість руху повітря при повітряному душі
(ДСН 3.3.6.042-99)

Категорія робіт	Температура повітря в робочій зоні, °С	Швидкість руху повітря, м/с	Температура повітря в струмені душу, °С, при інтенсивності інфрачервоного випромінення, Вт/м ²				
			350	700	1400	2100	2800
Легка Іа, Іб	до 28	1	28	24	21	16	–
		2	–	28	26	24	20
		3	–	–	28	26	24
		3,5	–	–	–	27	25
Середньої важкості Іа, Іб	до 27	1	27	22	–	–	–
		2	28	24	21	16	–
		3	–	27	24	21	18
		3,5	–	28	25	22	19
Важка	до 26	2	25	19	16	–	–
		3	26	22	20	18	17
		3,5	–	23	22	20	19

Примітки.

1. При температурі повітря поза струменем, що відрізняється від зазначеної в таблиці, температуру суміші повітря в струмені душу на робочому місці слід підвищувати або знижувати на 0,4 °С на кожен градус різниці від значення, наведеного в таблиці, але приймати не нижче 16 °С.

2. Поверхневу щільність променистого теплового потоку слід приймати рівній середній за час опромінення.

3. При тривалості впливу променистого теплового потоку менше 15 або більше 30 хв безперервної роботи температуру суміші повітря в струмені душу допускається приймати відповідно на 2 °С вище або нижче значень, наведених у таблиці.

4. Для проміжних значень поверхневої густини променистого теплового потоку температуру суміші повітря в струмені душу слід визначати інтерполяцією.

Додаток 5

Допустима тривалість безперервного інфрачервоного опромінення
та регламентованих перерв протягом години (ДСН 3.3.6.042-99)

Інтенсивність інфрачервоного опромінення, Вт/м ²	Тривалість безперервних періодів опромінення, хв	Тривалість перерв, хв	Сумарне опромінення протягом зміни, %
350,0	20,0	8,0	до 50
700,0	15,0	10,0	До 45
1050,0	12,0	12,0	до 40
1400,0	9,0	13,0	до 30
1750,0	7,0	14,0	до 25
2100,0	5,0	15,0	до 15
2450,0	3,5	12,0	до 15

Додаток 6

Інтенсивність теплового опромінення робочих місць

Відділення, ділянка цеху	Категорія робіт	Робоче місце	Інтенсивність теплового опромінення, кВт/м ²	Напрямок подачі повітря і кількість приточних насадків
1	2	3	4	5
Колошниковий майданчик	Легка	Кранівник шаржирного крана	350–700	Спереду і зверху. Один стаціонарний насадок, закріплений на крані
	Важка	Завантажувач вагранки вручну	700–1400	Збоку і зверху. Один поворотний насадок на дві суміжні вагра- нки
Плавильно- за- ливальне	Середньої тяжкості	На майданчику біля літньої вагранки	350–700	Збоку і зверху вбік летки вагранки. Один нерухомий на- садок
	Середньої тяжкості	Біля міксера вагранки	700–1400	Збоку і зверху. Один нерухомий насадок
	Середньої тяжкості	Заливальник на конвеєрі	1400–2100	Збоку і зверху. Наса- дки вздовж робочого майданчика на відс- тані 2–2,5 м один від одного або повітроп- ровід для рівномірно спрямованої подачі повітря по довжині всього робочого майданчика
	Середньої тяжкості	Шлаківник на конвеєрі	1400–2100	Зверху і вздовж кон- веєра. Один насадок на робоче місце
	Важка	Завантажувач плавильних і відпалювальних печей	700–1400	Збоку і зверху або зверху і спереду (але не збоку печі). Один насадок

Продовження додатка 6

1	2	3	4	5
Плавильно- за- ливальне	Тяжка	Місце нарощування електродів на печі	1400–2100	Один вбік електродів печі. Один насадок на робоче місце
	Середньої тяжкості	Місце завантаження та обслуговування печей	350–700	Збоку і зверху. Один нерухомий насадок
Вибивне	Середньої тяжкості	Біля вибивної решітки на конвеєрі	700–1400	Ззаду і зверху в бік вибивної решітки. Один насадок на ро- боче місце
	Середньої тяжкості	Біля великої вибивної решітки періодичної дії	350–700	Ззаду і зверху вбік вибивної решітки. Один поворотний насадок на робоче місце
Відділення, дільниця цеху	Категорія робіт	Робоче місце	Інтенсивність теплого випромінення, кВт/м ²	Напрямок подачі по- вітря і кількість при- пливних насадків
	Середньої тяжкості	Біля вібратора для вибивки стержнів	1400–2100	Зверху вбік вібрато- ра. Один нерухомий насадок на робоче місце
Дільниця тер- мічних печей	Середньої тяжкості	Біля робочого вікна печі	700–1400	Збоку і зверху. Один нерухомий насадок
Дільниця електро- та га- зозварювання	Середньої тяжкості	—	350–700	Зверху. Мінімальною кількістю

Додаток 7

Допустима інтенсивність опромінення $E_{p.m}$ на постійних робочих місцях
залежно від температури повітря $t_{p.m}$

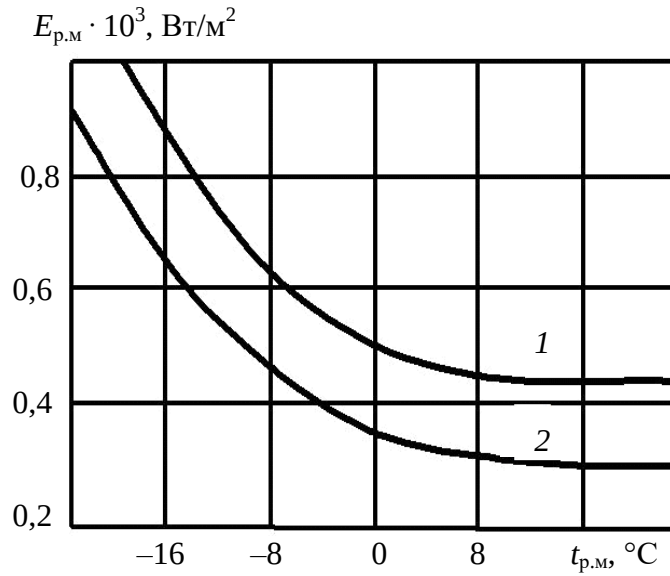


Рис. Д7: 1 – високотемпературні джерела $T \geq 1000 \text{ К}$;
2 – низькотемпературні джерела $T < 1000 \text{ К}$.

Додаток 8

Визначення інтенсивності теплового випромінювання

Ступінь чорноти при повному випромінюванні різних матеріалів		
Матеріал	Температура, °C	Ступінь чорноти
Алюміній:		
полірований	120–1600	0,04–0,062
шорковатий	20–50	0,06–0,07
сильно окислений	50–600	0,11–0,3
Алюмінієві фарби	50–100	0,2–0,67
Залізо:		
поліроване залізо	100–1000	0,14–0,38
свіжооброблене наждаком	20	0,24
окислене гладке	50–550	0,74–0,82
оцинковане блискуче	30	0,23
оцинковане окислене	30	0,28
Жерсть біла стара	20	0,28
Сталь:		
листова шліфована	900–1100	0,52–0,61
м'яка розплавлена	1600–1800	0,28
окислена шорковата	30–400	0,8–0,98
Чавун:		
полірований	200	0,11
окислений	299–600	0,64–0,78
розплавлений	1250–1350	0,28–0,29
Чавунне литво	50	0,81
Азбестовий матеріал:		
картон	20	0,96
шифер	20	0,96
тканина	20	0,78
Вода	0–100	0,95–0,98
Глина обпечена	50	0,91

Продовження додатка 8

Цегла:		
обпечена	500–1000	0,65–0,75
вогнестійка	1000	0,65–0,75
високовогнестійка	1000	0,82–0,87
шамотна	20–1250	0,59–0,85
динасова	1000	0,66
магнезитова	1000–1300	–
червона	20	0,88–0,93
силікатна	20	0,66
Цегляна кладка штукатурна	20	0,94
Фарби масляні різних кольорів	100	0,92–0,96
Лак:		
чорний матовий	20–100	0,96–0,98
чорний блискучий, розпо- рошений по залізу	20	0,87–0,88
білий жаростійкий	20–100	0,8–0,95
Скло:		
звичайне	20–100	0,91–0,94
матове	20	0,96
Цемент	20	0,54
Штукатурка шорковата	0–100	0,91–0,93

Додаток 9
Нормування інтенсивності теплового випромінювання

Вид джерела	Площа опромінювання, %	Інтенсивність випромінювання, Вт/м ²	Тривалість роботи, хв	Тривалість перерви, хв
Нагріті поверхні устаткування, прилади освітлення	Більше 50	35	—	—
	25...50	70	—	—
	Менше 25	100	—	—
Відкриті джерела випромінювання	Менше 25 (при обов'язковому використанні ЗІЗ)	140	—	—
		350	20	8
		700	15	10
		1050	12	12
		1400	9	13
		1750	7	14
		2100	5	15
		2450	3,5	12

Список джерел інформації

1. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : ДСН 3.3.6.042-99. – [Чинний від 01.12.1999]. – Київ, 2000.
2. Глиняна М.Н. Охорона праці у ливарному виробництві : курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів напрямку 0904 «Металургія» / М.Н. Глиняна. – Краматорськ : ДДМА, 2009. – 184 с.
3. Правила охорони праці при термічній обробці металів. – Харків : Форт, 2008. – 112 с.
4. Левченко О.Г. Гігієна праці та виробнича санітарія у зварювальному виробництві / О.Г. Левченко. – Київ : Основа, 2004. – 98 с.

Зміст

Вступ.....	3
1. Визначення інтенсивності теплового опромінення працюючого.....	5
2. Захист від теплових випромінювань.....	8
3. Екранування джерел теплового випромінювання.....	11
Контрольні завдання.....	15
ДОДАТКИ.....	16
Додаток 1.....	16
Додаток 2.....	17
Додаток 3.....	18
Додаток 4.....	19
Додаток 5.....	20
Додаток 6.....	21
Додаток 7.....	23
Додаток 8.....	24
Додаток 9.....	26
Список джерел інформації.....	27

Методичні вказівки

до виконання практичної роботи «Захист від теплового випромінювання» з
дисципліни «Безпека виробничих процесів і устаткування» для студентів
освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напрям підготовки 263
«Цивільна безпека» / Уклад. Любченко І.М., Мезенцева І.О. –
Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 29 с.

Укладачі: ЛЮБЧЕНКО Ірина Миколаївна
МЕЗЕНЦЕВА Ірина Олександрівна

Відповідальний за випуск В.В. Березуцький

Роботу до видання рекомендувала О.І. Пономаренко

Редактор О.С. Самініна

План 2018 р., поз. 36

Підп. до друку 27.09.2018 р. Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.

Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,4

Наклад 50 прим. Зам. № 29/09/18 Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ»

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Виготовлювач: ФОП Панов А.М.

Свідоцтво серії ДК №4847 від 06.02.2015 р.

М. Харків, вул. Жон Мироносиць, 10, оф.6,

Тел. +38(057)714-06-74, +38(050)976-32-87

copy@vlavke.com

