

ДСТУ 4035-2001

(ГОСТ 25380-2001*)

ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

Енергозбереження

БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ

**Методи вимірювання поверхневої густини
теплових потоків та визначення коефіцієнтів
теплообміну між огорожувальними конструкціями
та довкіллям**

Київ

ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ

2001

* Поправка – УПС № 2 - 2002

ПЕРЕДМОВА

- 1 РОЗРОБЛЕНО І ВНЕСЕНО Інститутом технічної теплофізики Національної Академії наук України (ІТТФ НАН України), Міждержавним технічним комітетом 111 «Енергозбереження»
- 2 ЗАТВЕРДЖЕНО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ наказом Держстандарту України від 27 червня 2001 р. № 317
- 3 НА ЗАМІНУ ГОСТ 25380-82
- 4 РОЗРОБНИКИ: **Т. Грищенко**, д-р техн.наук; **Л.Декуша**, канд.техн.наук;
Т. Менделєєва, канд.техн. наук; **Л. Воробйов**; **А. Єрємін**

ЗМІСТ

	с.
1 Сфера застосування.....	1
2 Нормативні посилання.....	1
3 Визначення, позначення та скорочення.....	2
4 Загальні положення й основні розрахункові формули.....	5
5 Засоби вимірювання та допоміжні пристрої.....	9
6 Порядок підготування до вимірювання.....	12
7 Порядок проведення вимірювання.....	14
8 Опрацювання результатів.....	16
Додаток А Алгоритм визначення коригувальної поправки б і порядок користування нею.....	18
Додаток Б Терморадіаційні характеристики матеріалів і покриттів.....	25
Додаток В Програма (Р4_3) розрахунку поверхневих густин теплового потоку та коефіцієнтів теплообміну між ОК і Д без застосування додаткових джерел теплового випромінювання за формулами (18)-(21).....	28
Додаток Г Програма (Р4_4) розрахунку поверхневих густин теплового потоку та коефіцієнтів теплообміну між ОК і Д за наявності додаткових джерел теплового випромінювання за формулами (22)-(28).....	31
Додаток Д Кутові коефіцієнти випромінювання для різних випадків розташування додаткових дтв відносно контрольованої поверхні ОК.....	36
Додаток Е Технічні характеристики приладу моделі ИТП-22.....	47
Додаток Ж Технічні характеристики приладу моделі ИТП-23.....	48
Додаток И Технічні характеристики приладу моделі ИТП-24.....	50
Додаток К Технічні характеристики спеціалізованого теплометричного пристрою моделі РКТП.....	51
Додаток Л Технічні характеристики інформаційно-вимірювального пристрою моделі ІВП-1.....	53
Додаток М Приклад розрахунку дійсного значення поверхневої густини сумарного теплового потоку.....	55

ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ**

**Методи вимірювання поверхневої густини
теплових потоків та визначення коефіцієнтів теплообміну
між огорожувальними конструкціями та довкіллям**

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ**

**Методы измерения поверхностной плотности
тепловых потоков и определения коэффициентов теплообмена
между ограждающими конструкциями и окружающей средой**

**ENERGY SAVING
BUILDING AND STRUCTURES**

**Methods of measuring of heat flows density
and heat transfer coefficients of protecting constructions with environment**

Чинний від 2002-01-01**1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Цей стандарт поширюється на огорожувальні конструкції житлових, суспільних, виробничих будівель та споруд: зовнішні стіни, вікна, покриття, перекриття горищ, перекриття над проїздами, холодними підпіллями та підвалами, ворота й двері у зовнішніх стінах та інші огорожувальні конструкції, що розділяють помешкання з різними температурно-вологісними умовами.

Стандарт встановлює методи вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку та визначення поверхневої густини його конвективного та радіаційних складників, а також коефіцієнтів теплообміну під час досліджування теплообміну між огорожувальними конструкціями та довкіллям.

Стандарт дає змогу забезпечити єдність і правильність визначення теплових втрат або теплових притоків через огорожувальні конструкції.

Стандарт придатний для цілей сертифікації.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цьому стандарті є посилання на такі стандарти:

ДСТУ 4035-2001

ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення

ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 3044-94) Перетворювачі термоелектричні.

Номінальні статичні характеристики перетворення

ДСТУ 2858-94 (ГОСТ 6651-94) Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробувань

ДСТУ 3651.1-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення

ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98) Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови.

ГОСТ 5774-76 Вазелин конденсаторный. Технические условия

ГОСТ 26254-84 Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

ГОСТ 26602-85 Окна. Метод определения сопротивления теплопередаче.

3 ВИЗНАЧЕННЯ, ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

3.1 У цьому стандарті застосовують такі скорочення:

ОК - огорожувальна конструкція;

Д - довкілля;

ПТП - перетворювач теплового потоку;

ПТ - перетворювач температури;

ДТВ - джерело теплового випромінення.

3.2 У цьому стандарті та його додатках застосовують терміни згідно з ДСТУ 2681 і ДСТУ 3651.1, а також такі терміни та позначення:

тепловий потік - кількість теплоти, що проходить за одиницю часу через ізотермічну поверхню в напрямку нормалі до неї;

сумарний тепловий потік на поверхні ОК - тепловий потік, зумовлений одночасною дією конвекції та теплового випромінення;

- q — поверхнева густина теплового потоку — рівномірно розподілений тепловий потік, що проходить через одиницю площі пронизуваної ним поверхні;
- q_{Σ} — поверхнева густина сумарного теплового потоку, що проходить через ОК, і зумовлено одночасною дією конвективного і радіаційного складників теплообміну між ОК і Д;
- q_{α} — поверхнева густина конвективного складника сумарного теплового потоку, зумовленого наявністю ненульової різниці температур контрольованої поверхні ОК і Д; q_{α} у ватах на квадратний метр обчислюють за формулою:

$$q_{\alpha} = \alpha \cdot (T_{\text{Д}} - T_{\text{ОК}}), \quad (1)$$

- де $T_{\text{Д}}$ — температура довкілля, К;
- $T_{\text{ОК}}$ — температура поверхні ОК, К;
- α — коефіцієнт конвективного теплообміну — характеристика інтенсивності конвективного теплообміну між контрольованою поверхнею ОК і Д, що дорівнює тепловому потоку, який проходить через одиницю площі контрольованої поверхні за різниці температур контрольованої поверхні ОК і Д в один кельвін; α у ватах на квадратний метр-кельвін обчислюють за формулою:

$$\alpha = q_{\alpha} / (T_{\text{Д}} - T_{\text{ОК}}); \quad (2)$$

- q_{ϵ} — поверхнева густина радіаційного складника сумарного теплового потоку, що проходить через ОК і зумовлен тепловим випромінюванням;
- $\alpha_{\epsilon, \text{ОК}}$ — коефіцієнт радіаційного теплообміну — характеристика інтенсивності теплообміну між контрольованою поверхнею ОК і Д, зумовленого тепловим випромінюванням; $\alpha_{\epsilon, \text{ОК}}$ у ватах на квадратний метр-кельвін обчислюють за формулою:

$$\alpha_{\epsilon, \text{ОК}} = q_{\epsilon} / (T_{\text{Д}} - T_{\text{ОК}}); \quad (3)$$

- $\alpha_{\Sigma, \text{ОК}}$ — коефіцієнт сумарного теплообміну між ОК і Д — характеристика інтенсивності складного конвективно-радіаційного теплообміну між контрольованою поверхнею ОК і Д без застосування ПТП; $\alpha_{\Sigma, \text{ОК}}$ у ватах на квадратний метр-кельвін обчислюють за формулою:

$$\alpha_{\Sigma, \text{ОК}} = \alpha + \alpha_{\epsilon, \text{ОК}}; \quad (4)$$

- $q_{\text{надх}}$ — поверхнева густина потоку теплового випромінювання, що надходить на контрольовану поверхню ОК від зовнішнього джерела тепла;
- $q_{\text{погл}}$ — поверхнева густина потоку поглиненого теплового випромінювання контрольованою поверхнею;

$q_{\text{вл}}$ — поверхнева густина потоку власного теплового випромінення ОК, спричиненого власною температурою ОК, що відрізняється від термодинамічного нуля та залежить від випромінювальної здатності контрольованої поверхні ОК; $q_{\text{вл}}$ у ватах на квадратний метр обчислюють за формулою:

$$q_{\text{вл}} = \sigma \cdot \varepsilon_{t,h,\text{ОК}} \cdot T_{\text{ОК}}^4, \quad (5)$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ — стала Стефана–Больцмана;

$\varepsilon_{t,h,\text{ОК}}$ — інтегральний напівсферичний ступінь чорноти контрольованої поверхні ОК — безрозмірна характеристика, що дорівнює відношенню інтегральних випромінювальних здатностей даного й абсолютно чорного тіла за тієї самої температури;

A — поглинальна здатність — безрозмірна характеристика поверхні тіла, що дорівнює відношенню поверхневих густин потоків теплового випромінення, поглиненого даним тілом та того, що надійшло на його поверхню; A обчислюють за формулою:

$$A = q_{\text{погл}}/q_{\text{надх}}; \quad (6)$$

$q_{\varepsilon, \text{вискл}}$ — поверхнева густина потоку вислідного теплового випромінення ОК, що дорівнює різниці потоків поглиненого теплового випромінення й потоку власного теплового випромінення; $q_{\varepsilon, \text{вискл}}$ у ватах на квадратний метр обчислюють за формулою:

$$q_{\varepsilon, \text{вискл}} = q_{\text{погл}} - q_{\text{вл}}, \quad (7)$$

яка з урахуванням (5) і (6) набуває вигляду:

$$q_{\varepsilon, \text{вискл}} = A_{\text{ОК}} \cdot q_{\text{надх}} - \sigma \cdot \varepsilon_{t,h,\text{ОК}} \cdot T_{\text{ОК}}^4; \quad (8)$$

$R_{\text{ПТП}}$ — термічний опір ПТП, що характеризує зміну температури по товщині ПТП на одиницю поверхневої густини пронизувального теплового потоку; $R_{\text{ПТП}}$ в квадратних метрах-кельвінах на ват обчислюють за формулою:

$$R_{\text{ПТП}} = h_{\text{ПТП}}/\lambda_{\text{ПТП}}, \quad (9)$$

де $h_{\text{ПТП}}$ — товщина ПТП, м;

$\lambda_{\text{ПТП}}$ — ефективна теплопровідність ПТП у Вт/м · К;

$R_{\text{ОК}}$ — термічний опір конвективно-радіаційного теплообміну між ОК і Д, що характеризує зміну температури контрольованої поверхні ОК в разі складного теплообміну з Д на одиницю поверхневої густини сумарного теплового потоку; $R_{\text{ОК}}$ в квадратних метрах-кельвінах на ват обчислюють за формулою:

$$R_{\text{ОК}} = 1/\alpha_{\Sigma, \text{ОК}}; \quad (10)$$

$R_{\text{ОК, ПТП}}$ — термічний опір конвективно-радіаційного теплообміну між ОК і Д у місці установлення ПТП, що дорівнює сумі термічного опору конвективно-радіаційного теплообміну поверхні ПТП з Д і термічного опору ПТП; $R_{\text{ОК, ПТП}}$ в квадратних метрах-кельвінах на ват обчислюють за формулою:

$$R_{\text{ОК, ПТП}} = 1/\alpha_{\Sigma, \text{ПТП}} + R_{\text{ПТП}}, \quad (11)$$

де $\alpha_{\Sigma, \text{ПТП}}$ — коефіцієнт сумарного конвективно-радіаційного теплообміну між поверхнею ПТП і Д, який обчислюють за формулою:

$$\alpha_{\Sigma, \text{ПТП}} = \alpha + \alpha_{\varepsilon, \text{ПТП}}, \quad (12)$$

де $\alpha_{\varepsilon, \text{ПТП}}$ — коефіцієнт радіаційного теплообміну між поверхнею ПТП і Д, Вт/(м² · К);

$q_{\text{вим}}$ — результат вимірювання поверхневої густини теплового потоку із застосуванням ПТП; $q_{\text{вим}}$ у ватах на квадратний метр обчислюють за формулою:

$$q_{\text{вим}} = k \cdot e, \quad (13)$$

де k — градувальна характеристика ПТП, Вт/(м² · мВ);

e — ТЕРС, генерована ПТП, мВ;

q_d — дійсне значення поверхневої густини теплового потоку, не спотвореного наявністю ПТП на поверхні об'єкта.

4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ Й ОСНОВНІ РОЗРАХУНКОВІ ФОРМУЛИ

4.1 Поверхневу густину сумарного теплового потоку через ОК вимірюють ПТП, виконаним як допоміжна стінка з відомим термічним опором, який розташовують на контрольованій поверхні ОК по нормалі до напрямку теплового потоку.

4.1.1 Результат вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку та її дійсне значення неоднакові через неадекватність температурних полів контрольованої поверхні ОК з установленим на ній ПТП та без ПТП.

4.1.2 Дійсне значення поверхневої густини сумарного теплового потоку через контрольовану поверхню ОК обчислюють за формулою:

$$q_{\Sigma, \delta} = q_{\Sigma, \text{вим}} \cdot (1 + \delta)^{-1}, \quad (14)$$

де δ — коригувальна поправка, що враховує відмінність теплофізичних і терморадіаційних характеристик ОК і ПТП та конструктивні параметри ПТП і дорівнює:

$$\delta = (q_{\Sigma, \text{вим}} - q_{\Sigma, \delta}) / q_{\Sigma, \delta}. \quad (15)$$

Алгоритм визначення коригувальної поправки наведено у додатку А.

4.2 У разі конвективно-радіаційного теплообміну між ОК і Д, спричиненого наявністю ненульової різниці температур поверхні ОК і Д, на поверхні ОК виникає сумарний тепловий потік, що дорівнює:

$$q_{\Sigma, \text{ОК}} = q_{\alpha} + q_{\varepsilon}, \quad (16)$$

причому $q_{\Sigma, \text{ОК}} = q_{\Sigma, \delta}$.

4.3 У разі теплообміну між ОК і Д без застосування додаткових ДТВ поверхневу густину сумарного теплового потоку, що проходить через контрольовану поверхню ОК без застосування ПТП, обчислюють за формулою:

$$q_{\Sigma, \delta} = \alpha_{\Sigma, \text{ОК}} \cdot (T_{\text{Д}} - T_{\text{ОК}}). \quad (17)$$

4.3.1 У разі теплообміну між ОК і Д згідно з 4.3 для експериментального визначення поверхневих густин сумарного теплового потоку та його конвективного та радіаційного складників, а також коефіцієнтів теплообміну з Д застосовують ПТП і ПТ.

4.3.2 Дійсне значення шуканої поверхневої густини сумарного теплового потоку обчислюють за формулою (14), де як результат вимірювання з

застосуванням ПТП поверхневої густини сумарного теплового потоку $q_{\Sigma, \text{вим}}$ беруть значення, обчислені за формулою (13) або зчитані з табло спеціалізованого цифрового пристрою у ватах на квадратний метр.

4.3.3 Дійсні значення поверхневих густин конвективного та радіаційного складників сумарного теплового потоку й коефіцієнтів теплообміну між ОК і Д обчислюють за таким алгоритмом:

а) обчислюють коефіцієнт сумарного теплообміну з формули (17) з урахуванням формули (14) за формулою:

$$\alpha_{\Sigma, \text{ОК}} = q_{\Sigma, \text{вим}} \cdot (1 + \delta)^{-1} \cdot (T_{\text{Д}} - T_{\text{ОК}})^{-1}, \quad (18)$$

де $q_{\Sigma, \text{вим}}$, $T_{\text{Д}}$ і $T_{\text{ОК}}$ — результати вимірювання відповідних величин із застосуванням ПТП і ПТ;

б) обчислюють коефіцієнт радіаційного теплообміну за формулою:

$$\alpha_{\epsilon, \text{ОК}} = \sigma \cdot \epsilon_{\text{пр, ОК}} \cdot (T_{\text{Д}}^4 - T_{\text{ОК}}^4) \cdot (T_{\text{Д}} - T_{\text{ОК}})^{-1}, \quad (19)$$

де $\epsilon_{\text{пр, ОК}}$ — приведений інтегральний ступінь чорноти контрольованої поверхні ОК, який обчислюють для різних випадків теплообміну за такими формулами:

1) $\epsilon_{\text{пр, ОК}} = \epsilon_{t, h, \text{ОК}}$ — інтегральний напівсферичний ступінь чорноти поверхні ОК у випадку теплообміну сірої поверхні ОК в оточенні чорного середовища;

2) $\epsilon_{\text{пр, ОК}} = \left(\frac{1}{\epsilon_{t, h, 1}} + \frac{1}{\epsilon_{t, h, 2}} \right)^{-1}$ у випадку теплообміну між двома необмеженими паралельними площинами, із яких одна, позначена індексом «1», — контрольована поверхня ОК;

$$3) \varepsilon_{\text{пр.ОК}} = \left(\frac{1}{\varepsilon_{t,h,1}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_{t,h,2}} - 1 \right) \cdot \frac{F_1}{F_2} \right)^{-1} \text{ — у випадку теплообміну в замкнутому просторі, утворено-$$

му двома поверхнями з площами F_1 і F_2 , із яких одна, позначена індексом «1», — контрольована поверхня ОК;

4) $\varepsilon_{\text{пр.ОК}} = \varepsilon_{t,n,1} \cdot \varepsilon_{t,n,2}$ — у випадку теплообміну між двома довільними поверхнями з обмеженими площами, із яких одна, позначена індексом «1», — контрольована поверхня ОК, $\varepsilon_{t,n}$ — інтегральний нормальний ступінь чорноти.

У додатку Б наведено довідкові дані про числові значення інтегрального нормального $\varepsilon_{t,n}$ (таблиця Б.1) та інтегрального напівсферичного $\varepsilon_{t,h}$ (таблиця Б.2) ступенів чорноти різних матеріалів і покриттів залежно від температури поверхні;

в) обчислюють з формули (4) коефіцієнт конвективного теплообміну за формулою:

$$\alpha = \alpha_{\Sigma, \text{ОК}} - \alpha_{\varepsilon, \text{ОК}}, \quad (20)$$

використовуючи результати обчислень за формулами (18) і (19);

г) обчислюють поверхневу густину конвективного складника сумарного теплового потоку за формулою (1), використовуючи результат обчислення за формулою (20);

д) обчислюють з формули (16), поверхневу густину радіаційного складника сумарного теплового потоку за формулою:

$$q_{\varepsilon, \text{ОК}} = q_{\Sigma, \text{ОК}} - q_{\alpha}, \quad (21)$$

використовуючи результати обчислень згідно з 4.3.2 і 4.3.3, г).

Програму розрахунку згідно із зазначеним алгоритмом і приклад для тестування наведено в додатку В.

4.4 У разі теплообміну між ОК і Д за наявності додаткових ДТВ (наприклад, радіатори, випромінювачі, потужні світильники, енергетичне устаткування, що працює, тощо) поверхневу густину сумарного теплового потоку через контрольовану поверхню ОК обчислюють за формулою:

$$q_{\Sigma, \text{ОК}} = q_{\alpha} + q_{\varepsilon, \text{випл}}, \quad (22)$$

яка з урахуванням формул (1) і (8) набуває вигляду:

$$q_{\Sigma, \text{ОК}} = \alpha \cdot (T_{\text{Д}} - T_{\text{ОК}}) + A_{\text{ОК}} \cdot q_{\text{надх}} - \sigma \cdot \varepsilon_{t,h, \text{ОК}} \cdot T_{\text{ОК}}^4. \quad (23)$$

4.4.1 У разі теплообміну між ОК і Д згідно з 4.4 для експериментального визначення поверхневих густин сумарного теплового потоку, його конвективного та радіаційних складників і коефіцієнтів теплообміну з Д застосовують два ПТП, що мають однаковий термічний опір ($R_1 = R_2$) але контрастні терморадіаційні характеристики ($\varepsilon_{t,h,1} \neq \varepsilon_{t,h,2}$ і $A_1 \neq A_2$), і ПТ для вимірювання температур Д ($T_{\text{Д}}$), поверхні ОК ($T_{\text{ОК}}$) та відкритих поверхонь обох ПТП (T_1, T_2).

4.4.2 Дійсні значення поверхневих густин сумарного теплового потоку та його складників і коефіцієнтів теплообміну з Д знаходять із системи трьох рівнянь теплового балансу, аналогічних формулі (23), для поверхонь обох ПТП, встановлених на ОК, і контрольованої поверхні ОК за таким алгоритмом:

а) обчислюють дійсне значення поверхневої густини сумарного теплового потоку за формулою:

$$q_{\Sigma, \delta} = \left(A_1 - A_2 \cdot \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)^{-1} \left[\left(q_{\text{вим}, 1} + \delta \cdot \epsilon_{t, h, 1} \cdot T_1^4 \right) \left(A_{\text{ОК}} - A_2 \cdot \frac{\Delta T_{\text{ОК}}}{\Delta T_2} \right) + \left(q_{\text{вим}, 2} + \delta \cdot \epsilon_{t, h, 2} \cdot T_2^4 \right) \left(A_1 \cdot \frac{\Delta T_{\text{ОК}}}{\Delta T_2} - A_{\text{ОК}} \cdot \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right) - \delta \cdot \epsilon_{t, h, \text{ОК}} \cdot T_{\text{ОК}}^4 \cdot \left(A_1 - A_2 \cdot \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right) \right], \quad (24)$$

де $\Delta T_1 = T_{\text{д}} - T_1$, $\Delta T_2 = T_{\text{д}} - T_2$, $\Delta T_{\text{ОК}} = T_{\text{д}} - T_{\text{ОК}}$ — різниці температур, вимірюваних із застосуванням ПТ;
 $q_{\text{вим}, 1}$, $q_{\text{вим}, 2}$ — результати вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку першим і другим ПТП, розташованими на контрольованій поверхні ОК;

б) обчислюють поверхневу густину потоку теплового випромінювання, що надходить на поверхню ОК, за формулою:

$$q_{\text{надх}} = \left(A_1 - A_2 \cdot \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)^{-1} \left[\left(q_{\text{вим}, 1} + \sigma \cdot \epsilon_{t, h, 1} \cdot T_1^4 \right) - \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \cdot \left(q_{\text{вим}, 2} + \sigma \cdot \epsilon_{t, h, 2} \cdot T_2^4 \right) \right]; \quad (25)$$

в) обчислюють поверхневу густину потоку поглиненого теплового випромінювання за формулою:

$$q_{\text{погл}} = A_{\text{ОК}} \cdot q_{\text{надх}} \quad (26)$$

із використанням результату обчислення за формулою (25);

г) обчислюють поверхневу густину потоку власного теплового випромінювання за формулою (5);

д) обчислюють поверхневу густину потоку вислідного теплового випромінювання за формулою (7), використовуючи результати обчислень за формулами (26) і (5) відповідно до 4.4.2, г);

е) обчислюють коефіцієнт сумарного теплообміну за формулою:

$$\alpha_{\Sigma, \text{ОК}} = q_{\Sigma, \delta} / \Delta T_{\text{ОК}} \quad (27)$$

із використанням результату обчислення за формулою (24);

ж) обчислюють коефіцієнт конвективного теплообміну за формулою:

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T_2} \cdot \left(A_1 - A_2 \cdot \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)^{-1} \left[A_1 \cdot \left(q_{\text{вим}, 2} + \sigma \cdot \epsilon_{t, h, 2} \cdot T_2^4 \right) - A_2 \cdot \left(q_{\text{вим}, 1} + \sigma \cdot \epsilon_{t, h, 1} \cdot T_1^4 \right) \right]; \quad (28)$$

з) обчислюють поверхневу густину конвективного складника сумарного теплового потоку за формулою (1), використовуючи результат обчислення за формулою (28).

Програму розрахунку за зазначеним алгоритмом і приклад для тестування наведено в додатку Г.

4.5 Вибір алгоритму визначення дійсних значень поверхневої густини сумарного теплового потоку, його конвективного й радіаційних складників і

коефіцієнтів теплообміну з Д згідно з 4.3 або 4.4 роблять, оцінюючи ступінь впливу додаткових ДТВ на результат вимірювання.

Якщо відношення суми значень поверхневих густин потоку теплового випромінювання всіх наявних додаткових ДТВ $\left(\sum_{i=1}^N q_{\text{дод},i}\right)$ до результату вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку через ОК ($q_{\Sigma, \text{вим}}$) задовольняє вимогу:

$$\sum_{i=1}^N q_{\text{дод},i} / q_{\Sigma, \text{вим}} \leq 0,05, \quad (29)$$

де N — кількість додаткових ДТВ, то реалізують алгоритм згідно з 4.3, у іншому випадку — згідно з 4.4.

Для кожного додаткового ДТВ $q_{\text{дод},i}$ обчислюють за формулою:

$$q_{\text{дод},i} = \varepsilon_{\text{пр},i} \cdot \Phi_i \cdot (T_{\text{дод},i}^4 - T_{\text{ОК}}^4), \quad (30)$$

де $\varepsilon_{\text{пр},i}$ — приведений інтегральний ступінь чорноти i -го додаткового ДТВ, при цьому

$$\varepsilon_{\text{пр},i} \approx \varepsilon_{t,h,\text{ОК}} \cdot \varepsilon_{t,n,\text{дод},i}, \quad (31)$$

де $\varepsilon_{t,h,\text{ОК}}$ — інтегральний напівсферичний ступінь чорноти поверхні ОК (таблиця Б.2, додаток Б);

$\varepsilon_{t,n,\text{дод},i}$ — інтегральний нормальний ступінь чорноти i -го ДТВ (додаток Б, таблиця Б.1), якщо $\varepsilon_{t,h,\text{ОК}}$ і $\varepsilon_{t,n,\text{дод},i}$ не менше ніж 0,7;

Φ_i — кутовий коефіцієнт випромінювання, що визначається для різних випадків розташування додаткових ДТВ відносно контрольованої поверхні ОК (додаток Д);

$T_{\text{дод},i}$ — температура поверхні додаткового ДТВ.

5 ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ТА ДОПОМІЖНІ ПРИСТРОЇ

5.1 Вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку та визначення її дійсного значення, а також поверхневої густини конвективного й радіаційних складників та коефіцієнтів теплообміну з Д поєднують із натурними теплотехнічними випробуваннями ОК будівельних об'єктів та (або) теплотехнічними випробуваннями зразків ОК у лабораторних умовах із дотриманням вимог до добору зразків згідно з ГОСТ 26254 і застосуванням спеціалізованого випробувального устаткування згідно з ГОСТ 26254, ГОСТ 26602.

5.2 Для вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку, що проходить через ОК, без застосування додаткових ДТВ використовують залежно від обсягу поставлених задач контролю та (або) дослідження ОК такі засоби вимірювання:

- ПТП згідно з ДСТУ 3756 у комплекті зі стандартним вимірювачем

напруги постійного струму;

- нестандартизований одноканальний цифровий прилад «Вимірювач теплового потоку» моделі ИТП-22 з технічними характеристиками згідно з додатком Є;

- нестандартизований двоканальний цифровий прилад моделі ИТП-23 з технічними характеристиками згідно з додатком Ж;

- нестандартизований двоканальний цифровий прилад моделі ИТП-24 з технічними характеристиками згідно з додатком И.

Допускається застосування аналогічних приладів інших моделей з характеристиками не гірше зазначених вище.

5.3 Для вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку за наявності додаткових ДТВ застосовують:

- два ПТП згідно з ДСТУ 3756 відповідно до 4.4.1;

- нестандартизований спеціалізований теплометричний пристрій моделі РКТП з технічними характеристиками згідно з додатком К у комплекті зі стандартним вимірювачем напруги.

5.4 Застосовуваний стандартний вимірювач напруги постійного струму повинен мати вхідний опір не менше ніж 10 МОм. Похибка в області значень вимірюваних сигналів ПТП не повинна перевищувати $\pm 0,5$ %. Наприклад, це може бути вольтметр Щ68003 або В7-35.

5.5 Для вимірювання температури Д і поверхонь, що беруть участь у теплообміні між ОК і Д, застосовують такі ПТ:

- перетворювачі термоелектричні згідно з ДСТУ 2837 (термопари),

- термоперетворювачі опору згідно з ДСТУ 2858.

Для вимірювання зазначених температур краще віддавати перевагу використанню диференціальної схеми вимірювання.

5.6 ПТП повинні задовольняти вимоги ДСТУ 3756, а також такі:

- лінійний поперечний розмір ПТП повинен бути не менше ніж 20 мм, а висота ПТП - не більше ніж 5 мм.

Примітка. Допускається за потреби застосовувати ПТП із розмірами, що

відрізняються від встановлених цим стандартом;

- відношення лінійного поперечного розміру до висоти для конкретного ПТП повинно бути не менше ніж 10;

- охоронна зона вздовж периметра чутливого елемента ПТП повинна бути завширшки не менше двох товщин ПТП;

- ПТП повинен мати індивідуальну статичну функцію перетворення, наведену в експлуатаційному документі ПТП (паспорті);

- основна (відносна) похибка ПТП повинна забезпечувати необхідну точність визначення поверхневої густини складників сумарного теплового потоку та коефіцієнтів теплообміну й не повинна перевищувати $\pm 10\%$;

- значення ефективного термічного опору ПТП повинне бути в діапазоні від 10^{-4} до $10^{-2} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;

- у випадку застосування згідно з 4.4.1 одночасно двох ПТП інтегральна напівсферична поглинальна здатність поверхні одного ПТП повинна бути не менше ніж 0,80 і другого - не більше ніж 0,25 в області спектра інфрачервоного випромінювання, а інтегральний ступінь чорноти поверхонь ПТП повинен бути не більше ніж 0,25 для першого й не менше ніж 0,80 - для другого ПТП в області значень власних температур від 223 до 373 К;

5.7 У разі одночасного вимірювання густини теплового потоку та температур в кількох містах контрольованого об'єкта краще віддавати перевагу застосуванню автоматичної багатоканальної вимірювально-реєструвальної системи, здатної передавати вимірювальну інформацію на персональний комп'ютер. Наприклад, це може бути система з технічними характеристиками згідно з додатком Л.

5.8 Усі застосовувані засоби вимірювання: ПТ, ПТП, прилади моделей ИТП, спеціалізовані теплометричні пристрої моделі РКТП і вимірювачі напруги постійного струму повинні проходити періодичну повірку (калібрування) та технічне обслуговування у встановленому порядку згідно з технічною документацією на них. Спеціалізоване устаткування для проведення теплотехнічних випробувань у лабораторних умовах (у кліматичних камерах) -

6 ПОРЯДОК ПІДГОТУВАННЯ ДО ВИМІРЮВАННЯ

6.1 Під час підготування до вимірювань слід дотримуватися вимог, встановлених в ГОСТ 26254, а також викладених далі.

6.2 Вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку, що проходить через ОК будівель та споруд, проводять у натурних умовах із внутрішнього боку ОК. Допускається проведення вимірювань із зовнішнього боку ОК у випадку неможливості проведення їх із внутрішнього боку (агресивне довкілля, флуктуація параметрів Д) за умов збереження характеру теплообміну ($T_{ок} = \text{const}$ та (або) $q = \text{const}$) на поверхні досліджуваної ОК. Контроль умов теплообміну проводять приладом моделі ИТП-23 або комплектом, що складається з термозонда для вимірювання температури поверхні ОК і засобу для вимірювання поверхневої густини теплового потоку, з дотриманням такого правила: під час вимірювання протягом 10 хв покази приладів не повинні коливатися в межах понад $\pm 10\%$ за умов відсутності дрейфу середнього значення контрольованого сигналу.

6.3 Перевіряють відповідно до 4.5 факт наявності чи відсутності додаткових ДТВ, що можуть впливати на результат вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку, що проходить через контрольовану ОК, і обирають алгоритм визначення дійсного значення поверхневої густини сумарного теплового потоку, його конвективного та радіаційних складників і коефіцієнтів теплообміну згідно з 4.3 або 4.4.

6.4 Як контрольні ділянки поверхні обирають специфічні чи характерні ділянки для випробовуваної ОК залежно від необхідності визначення локальних або усереднених параметрів теплообміну між ОК і Д.

6.5 Обрані ділянки поверхні ОК повинні мати поверхневий прошарок з одного матеріалу, однакового оброблення та стану поверхні й не повинні перебувати поблизу від елементів, що можуть змінити напрямок і значення вимірюваного теплового потоку. За необхідності поверхню обраної ділянки ОК

попередньо зачищають до повного усунення видимих та (чи) відчутних шорсткостей.

6.6 На обрану відповідно до 6.4 і підготовлену відповідно до 6.5 контрольну ділянку поверхні ОК установлюють ПТП, щільно притискаючи до об'єкта всією поверхнею, та закріплюють у цьому положенні, забезпечуючи постійний контакт із поверхнею ОК протягом усього циклу вимірювань. Під час кріплення ПТП між ним і ОК не допускається утворення повітряних проміжків.

6.7 Кріпити ПТП на поверхні ОК слід одним з таких способів:

- із застосуванням теплопровідного в'язкого мастила (наприклад, технічного вазеліну згідно з ГОСТ 5774), яке наносять на поверхню ПТП, що контактує з ОК;
- приклеюванням;
- механічним притисканням із використанням спеціальних вузлів кріплення, наприклад, штанги з пружиною або інших засобів, що не спотворюють поле теплового потоку в зоні вимірювання.

6.8 Під час установки ПТП на контрольованій поверхні слід дотримуватися таких вимог:

- захистити ПТП від дій, що спричиняють виникнення градієнту температури по поверхні ПТП;
- оклеїти поверхню ПТП матеріалом поверхневого шару ОК або зафарбувати фарбою з тим самим або близьким коефіцієнтом теплового випромінення, що й матеріалу поверхневого шару ОК. Відмінність між коефіцієнтами теплового випромінення допускається не більше ніж $\pm 0,05$;
- сторона ПТП, у поверхневому шару якої розміщено термочутливий елемент ПТ, повинна бути повернена до Д;
- комутаційні проводи ПТП, що йдуть на вхід вимірювача напруги, повинно бути виконано з монтажного мідного багатожильного екранованого проводу.

6.9 Термочутливий елемент ПТ, призначеного для вимірювання

температури Д, розміщують поблизу поверхні ОК на відстані (100 ± 20) мм від неї. Термочутливий елемент ПТ треба екранувати від сторонніх джерел теплового випромінення.

6.10 Термочутливий елемент ПТ, призначеного для вимірювання температури поверхні ОК, установлюють на ділянці, температурне поле якої не спотворюється внаслідок наявності ПТП на поверхні ОК. Термочутливий елемент ПТ розміщують від ПТП на відстані не менш, ніж три поперечних розміри ПТП.

6.11 У разі вимірювання температури теплосприймальної поверхні за допомогою ПТП, що не має вмонтованого в його поверхневий шар термочутливого елемента, застосовують термопару, спай якої приклеюють до поверхні ПТП, яка не контактує з поверхнею ОК.

6.12 У випадку застосування окремих ПТП використовуваний стандартний вимірювач напруги, що має обмеження щодо температури довкілля, розташовують у помешканні з температурою повітря, яка допускається для експлуатації даного приладу, та підключення до нього ПТП виконують за допомогою подовжувальних проводів, виконаних із монтажного багатожильного екранованого проводу завдовжки не більше 20 м.

6.13 Під час проведення вимірювань дотримуються умов і правил експлуатації, зазначених в технічній документації застосованого стандартного вимірювача напруги або приладу моделі ИТП.

7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ

7.1 Вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку провадять після відновлення умов теплообміну поблизу контрольних ділянок ОК, порушених під час виконання підготовчих операцій, і після відновлення початкового режиму теплообміну безпосередньо на контрольній ділянці, що був порушений під час встановлення ПТП і ПТ.

Примітка. Після виконання підготовчих операцій згідно з розділом 6 режим теплообміну на контрольній ділянці відновлюється орієнтовно через 5-

15 хв після кріплення ПТП із поперечним розміром не більше ніж 50 мм і завтовшки не більше ніж 2,5 мм і через 10-30 хв у випадку застосування окремого ПТП із поперечним розміром від 50 до 120 мм і завтовшки від 2,5 до 5 мм.

Показником відновлення режиму теплообміну є повторюваність результатів попередніх вимірів густини теплового потоку та температури в межах установленної похибки вимірювання.

7.2 Вимірювання поверхневої густини теплового потоку та (за потреби) температури виконують за таким регламентом:

а) вмикають вимірювальний прилад моделі ИТП та (чи) стандартний вимірювач напруги, прогрівують та перевіряють працездатність згідно з НТД на прилад;

б) виконують вимірювання поточних значень сигналів усіх застосованих ПТП із записом у протоколі вимірювання. Вимірювання виконують із кроком щодо часу не менше 2 хв і провадять доти, поки не буде записано підряд від 5 до 10 однакових показів чи груп показів за наявності двох і більше ПТП. Покази вважати однаковими, якщо відмінність між ними не перевищує ± 5 одиниць третьої (чи четвертої) значущої цифри.

Якщо покази не стабілізуються, прилад вимикають і аналізують можливі причини: нещільне прилягання ПТП до поверхні; наявність протягу, рвучкого вітру; поганий контакт виводів ПТП із клемми показувального приладу та ін. Усувають причини нестійкості показів і повторюють вимірювання;

в) у разі застосування приладу моделі ИТП провадять реєстрацію показів цифрового табло вимірювального пристрою приладу з записом у протоколі вимірювання не менше п'ятих послідовно повторюваних показів, різниця між якими повинна задовольняти вимогу 7.2, б);

г) в разі застосування спеціалізованого теплометричного пристрою моделі РКТП реєструють покази всіх перетворювачів із записом у протоколі вимірювання не менше п'ятих груп послідовно відтворюваних показів з урахуванням вимог 7.2, б).

8 ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

8.1 Результати серії одиничних вимірів поверхневої густини сумарного теплового потоку з застосуванням приладів моделі ИТП опрацьовують у такий спосіб:

- обчислюють середнє арифметичне значення $\bar{q}_{\Sigma, \text{вим}}$ за формулою:

$$\bar{q}_{\Sigma, \text{вим}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_{\text{вим}, j}, \quad (32)$$

де n — кількість зареєстрованих однакових відповідно до 7.2, б) показів $q_{\text{вим}, j}$ вимірювального цифрового пристрою приладу ИТП, причому $n \geq 5$;

— оцінюють відносну похибку вимірюваного сумарного теплового потоку згідно з наведеними у паспорті приладу даними.

8.2 Результати серії одиничних вимірювань поверхневої густини сумарного теплового потоку з застосуванням окремого ПТП і стандартного вимірювача напруги опрацьовують у такий спосіб:

- обчислюють для кожного j -го одиничного вимірювання $q_{\text{вим}, j}$ за формулою (13);
- обчислюють середнє арифметичне значення $\bar{q}_{\Sigma, \text{вим}}$ за формулою (32);
- оцінюють відносну похибку вимірювання з використанням наведених у паспортах окремого ПТП і стандартного вимірювача напруги даних за формулою:

$$\delta_{q_{\text{вим}}} = \pm 1,2 \sqrt{\delta_{\text{ПТП}}^2 + \delta_{\text{ВН}}^2}, \quad (33)$$

де $\delta_{\text{ПТП}}$ — відносна похибка ПТП,

$\delta_{\text{ВН}}$ — відносна похибка вимірювача напруги.

8.3 Результати одиничних вимірювань поверхневої густини сумарного теплового потоку з застосуванням двох ПТП або спеціалізованого теплотиметричного пристрою моделі РКТП опрацьовують у такий спосіб:

- обчислюють за формулою (13) та за формулою (32) для кожного з двох ПТП; $q_{\text{вим}, 1j}$ і $q_{\text{вим}, 2j}$ $\bar{q}_{\Sigma, \text{вим}, 1}$ і $\bar{q}_{\Sigma, \text{вим}, 2}$
- оцінюють відносну похибку вимірювань кожним ПТП за формулою (33).

8.4 Результати серії одиничних вимірювань температури ОС і температур поверхонь ОК і ПТП опрацьовують у такий спосіб:

- а) визначають для кожного одиничного вимірювання за градууювальною

характеристикою застосованого ПТ відповідної температури у градусах Цельсія:

- 1) T_{dj} - температури Д;
- 2) $T_{ок,j}$ - температури контрольованої поверхні ОК;
- 3) $T_{птп,j}$ - температури поверхонь ПТП, повернених до Д;
- 4) T_{1j} і T_{2j} - температури для відкритих поверхонь обох ПТП в пристрої

моделі РКТП;

б) обчислюють середні арифметичні значення перерахованих розмірів за відповідною формулою, аналогічною формулі (32);

в) оцінюють похибку вимірювання температури за паспортними даними застосованих вимірювальних приладів.

8.5 Для конкретного випадку вимірювання згідно з 4.3 або 4.4 обчислюють дійсне значення поверхневої густини сумарного теплового потоку за формулою (14) або (24) із дотриманням правил округлення.

8.6 Для розрахунку дійсних значень поверхневих густин конвективного та радіаційних складників сумарного теплового потоку й коефіцієнтів теплообміну з Д в конкретному випадку вимірювання згідно з 4.3 або 4.4 обчислюють дійсні значення шуканих величин за алгоритмом згідно з 4.3.3 або 4.4.2, використовуючи відповідну програму розрахунку (додаток В або Г). Приклад розрахунку дійсного значення поверхневої густини сумарного теплового потоку наведено в додатку М.

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КОРИГУВАЛЬНОЇ ПОПРАВКИ 6 І
ПОРЯДОК КОРИСТУВАННЯ НЕЮ

А.1 В основу визначення коригувальної поправки 5 узято вираз:

$$\delta = \left(\frac{R_{OK}}{R_{OK, ПТП}} - 1 \right) \cdot \left[1 + \frac{R_{OK}}{R_{OK, ПТП}} \cdot Bi_{OK} \cdot I(\rho, Bi_{OK}) \right]^{-1}, \quad (A.1)$$

де R_{OK} і $R_{OK, ПТП}$ — термічні опори, що визначаються формулами (10) і (11) цього стандарту,
 Bi_{OK} — критерій Біо для ділянки поверхні ОК без ПТП, у цьому разі лінійний розмір ділянки дорівнює еквівалентному лінійному розміру ПТП, а розрахункова формула має вигляд:

$$Bi_{OK} = r_{ПТП} / (R_{OK} \cdot \lambda_{OK}), \quad (A.2)$$

де $r_{ПТП}$ — еквівалентний лінійний розмір ПТП (зокрема, радіус);
 λ_{OK} — теплопровідність матеріалу ОК;
 $I(\rho, Bi_{OK})$ — безрозмірна функція, що дорівнює відношенню:

$$I(\rho, Bi_{OK}) = \frac{\int_0^{\infty} x^{-1} \cdot (x + Bi_{OK})^{-1} \cdot J_1(x) \cdot J_1(\rho \cdot x) dx}{\int_0^{\infty} (x + Bi_{OK})^{-1} \cdot J_1(x) \cdot J_1(\rho \cdot x) dx}, \quad (A.3)$$

де $J_1(x)$, $J_1(\rho x)$ — функції Бесселя першого роду 1-го порядку,
 x — змінна інтегрування,
 ρ — безрозмірний конструктивний параметр ПТП, що дорівнює

$$\rho = r_{че} / r_{ПТП}, \quad (A.4)$$

де $r_{че}$ — еквівалентний лінійний розмір чутливого елемента ПТП.

А.2 Значення поправки δ , обчисленої за формулою (А.1), наведено у номограмах на рисунках А.1 і А.2 залежно від критерію Bi_{OK} у діапазоні значень параметра ρ від 0 до 1 із кроком 0,1 і в актуальному діапазоні значень відношення термічних опорів $R_{OK}/R_{OK, ПТП}$. На рисунку А.1 наведено номограму для діапазону $0,2 \leq R_{OK}/R_{OK, ПТП} \leq 2,2$ із кроком 0,2, а на рисунку А.2 - те саме для піддіапазону $0,9 \leq R_{OK}/R_{OK, ПТП} \leq 1,1$ із кроком 0,02.

А.3 Для визначення поправки необхідна така вихідна інформація:

а) щодо застосовуваного ПТП:

- про значення $r_{че}$, $r_{ПТП}$, $h_{ПТП}$, $\lambda_{ПТП}$ (або $R_{ПТП}$), $\varepsilon_{ПТП}$ (паспортні дані);

б) щодо ОК в разі вимірювання усередині помешкання:

- про вид контрольованої поверхні: підлога, стіна чи стеля;

- про ефективну теплопровідність $\lambda_{ок}$ і випромінювальну здатність $\epsilon_{ок}$ (довідкові дані);

в) щодо ОК в разі вимірювання зовні ОК:

- про вид контрольованої поверхні: стіна чи дах;

- про температуру довкілля T_d і швидкість вітру v ,

- про значення ефективної теплопровідності $\lambda_{ок}$ і випромінювальної здатності $\epsilon_{ок}$

А.4 Для визначення поправки виконати такі операції:

а) обчислити термічний опір ПТП $R_{ПТП}$ за формулою (9) та безрозмірний конструктивний параметр ПТП ρ за формулою (А.4);

б) у разі вимірювання усередині помешкання:

1) знайти відповідно до виду контрольованої поверхні (підлога, стіна чи стеля) термічний опір конвективно-радіаційного теплообміну між ОК і Д $R'_{ок} = 1/\lambda'_{\Sigma}$ за графіком 1, 2 або 3 рисунку А.3 за умови, що $\epsilon = \epsilon_{ок}$;

2) знайти термічний опір конвективно-радіаційного теплообміну між ОК і Д у місці установлення ПТП $R'_{ок,ПТП}$ за формулою (11), до якої підставити значення $1/\alpha'_{\Sigma, ПТП}$ знайдене з відповідного графіка рисунка А.3 за умови, що $\epsilon = \epsilon_{ПТП}$;

в) у разі вимірювання зовні ОК:

1) знайти термічний опір конвективно-радіаційного теплообміну між ОК і Д $R''_{ок}$ за графіком рисунка А.4, що відповідає виду контрольованої поверхні (стіна чи дах), температурі довкілля T_d і значенню $\epsilon = \epsilon_{ок}$ залежно від швидкості вітру;

2) знайти термічний опір конвективно-радіаційного теплообміну між ОК і Д у місці установлення ПТП $R''_{ок, ПТП}$ за формулою (11), до якої підставити значення $1/\alpha''_{\Sigma, ПТП}$ знайдене з відповідного графіка рисунка А.4 за умови, що $\epsilon = \epsilon_{ПТП}$ (0,05 або 0,90), або кореляцією між графіками, що відповідають $\epsilon = 0,05$ і $\epsilon = 0,90$;

г) знайти відношення термічних опорів $R'_{ок}/R_{ок,ПТП}$ або $R''_{ок}/R_{ок,ПТП}$;

д) знайти критерій Біо Bi_{OK} за формулою (А.2), підставивши до неї $R_{OK}=R'_{OK}$ у разі вимірювання усередині помешкання або $R_{OK} = R''_{OK}$ у разі вимірювання зовні;

е) для знайдених значень $\rho, Bi_{OK}, R_{OK}/R_{OK,птп}$ за номограмою, наведеною на рисунку А.1 чи рисунку А.2, визначити коригувальну поправку δ , користуючись ключем: $Bi_{OK} \rightarrow \rho \rightarrow R_{OK}/R_{OK,птп} \Rightarrow \delta$, який наведено на рисунку А.2 стрілками.

Приклад розрахунку коригувальної поправки δ наведено в додатку М.

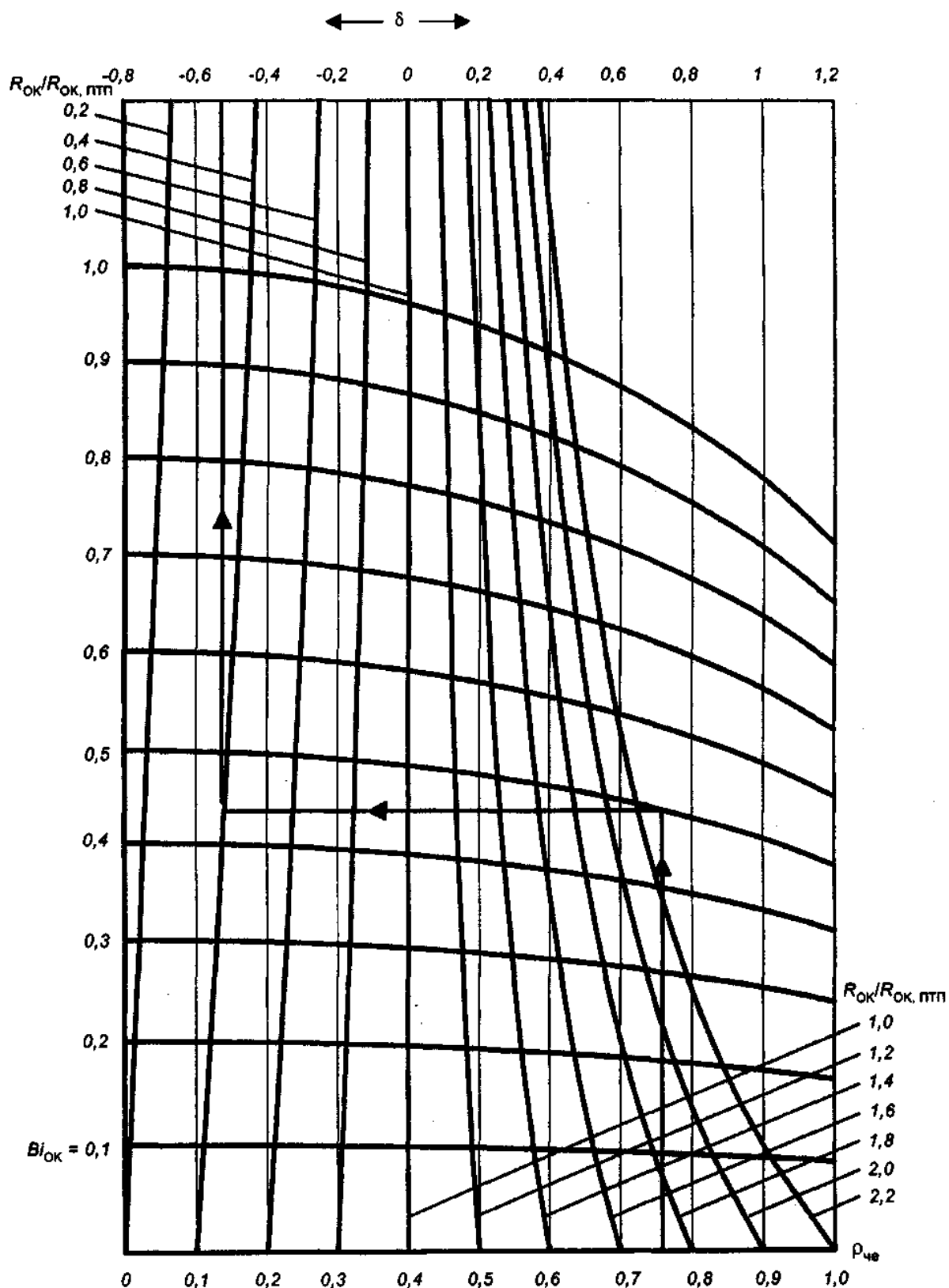


Рисунок А.1 — Номограма для визначення коригувальної поправки δ у діапазоні $0,2 < R_{ок}/R_{ок, птп} < 2,2$

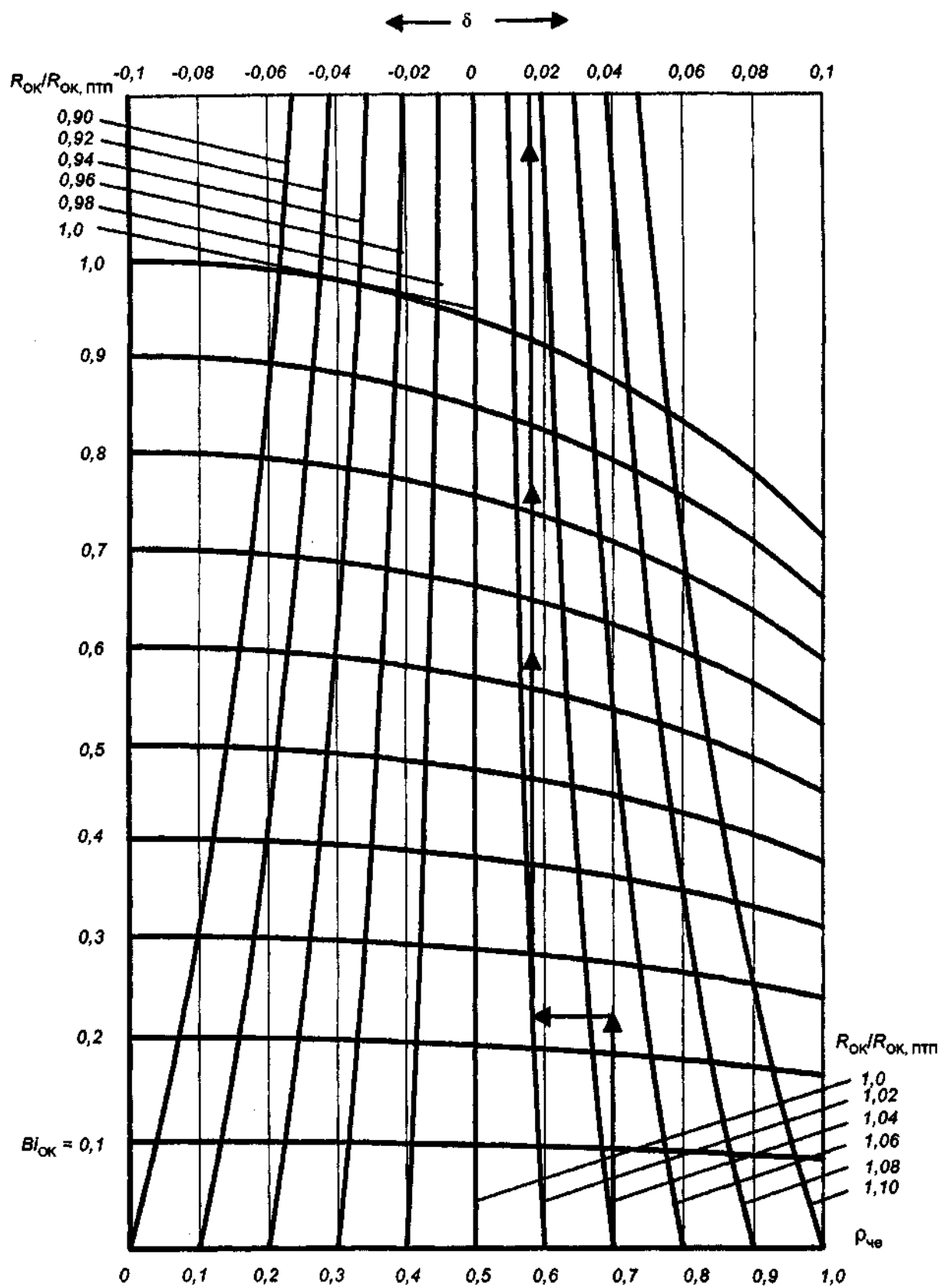


Рисунок А.2 — Номограма для визначення коригувальної поправки δ у піддіапазоні $0,9 < R_{OK}/R_{OK,птп} < 1,1$

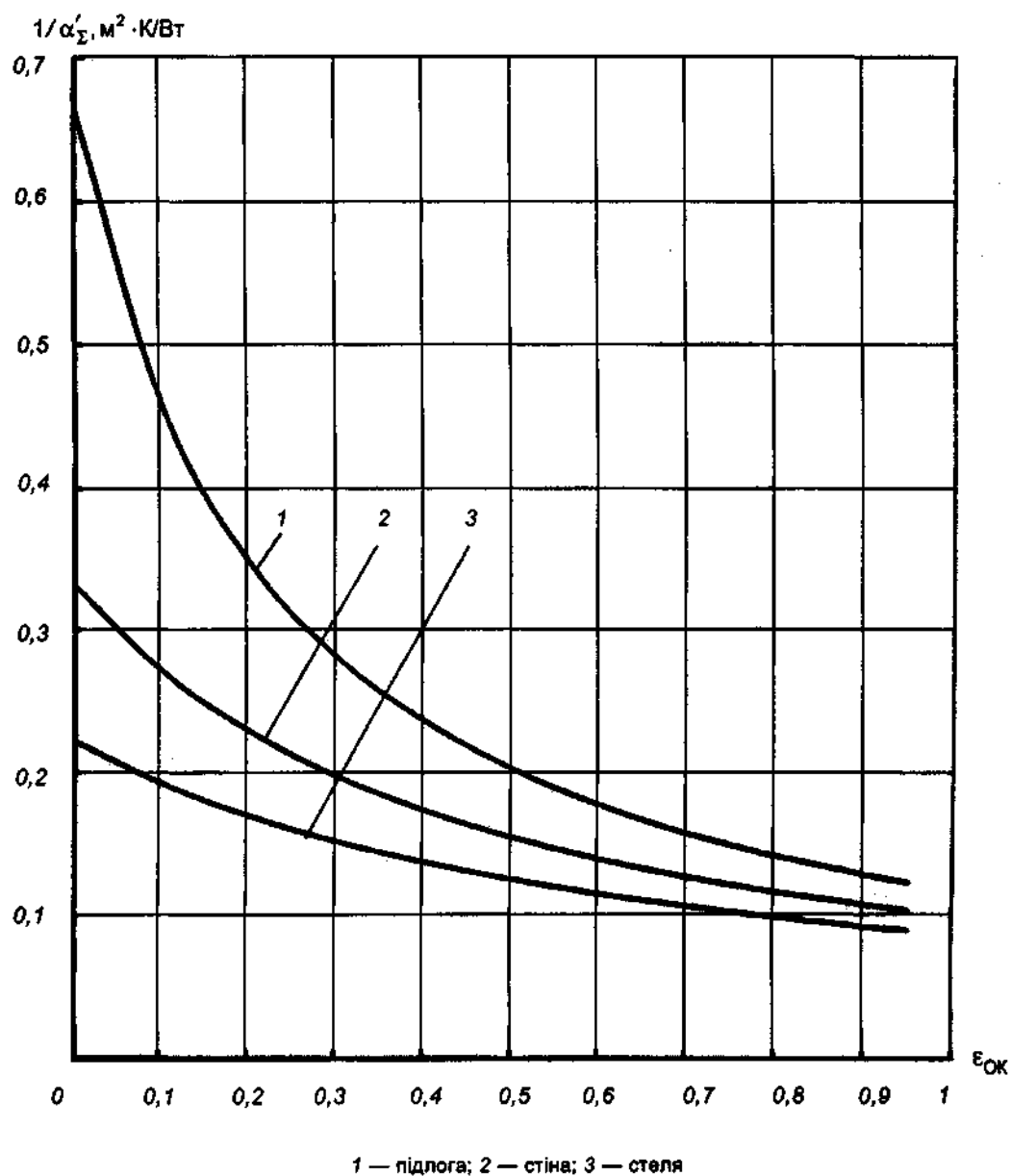


Рисунок А.3 — Сумарний термічний опір конвективно-радіаційного теплообміну між ОК і Д на внутрішній поверхні за середньої температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ залежно від випромінювальної здатності поверхні та її виду: підлога, стіна чи стеля

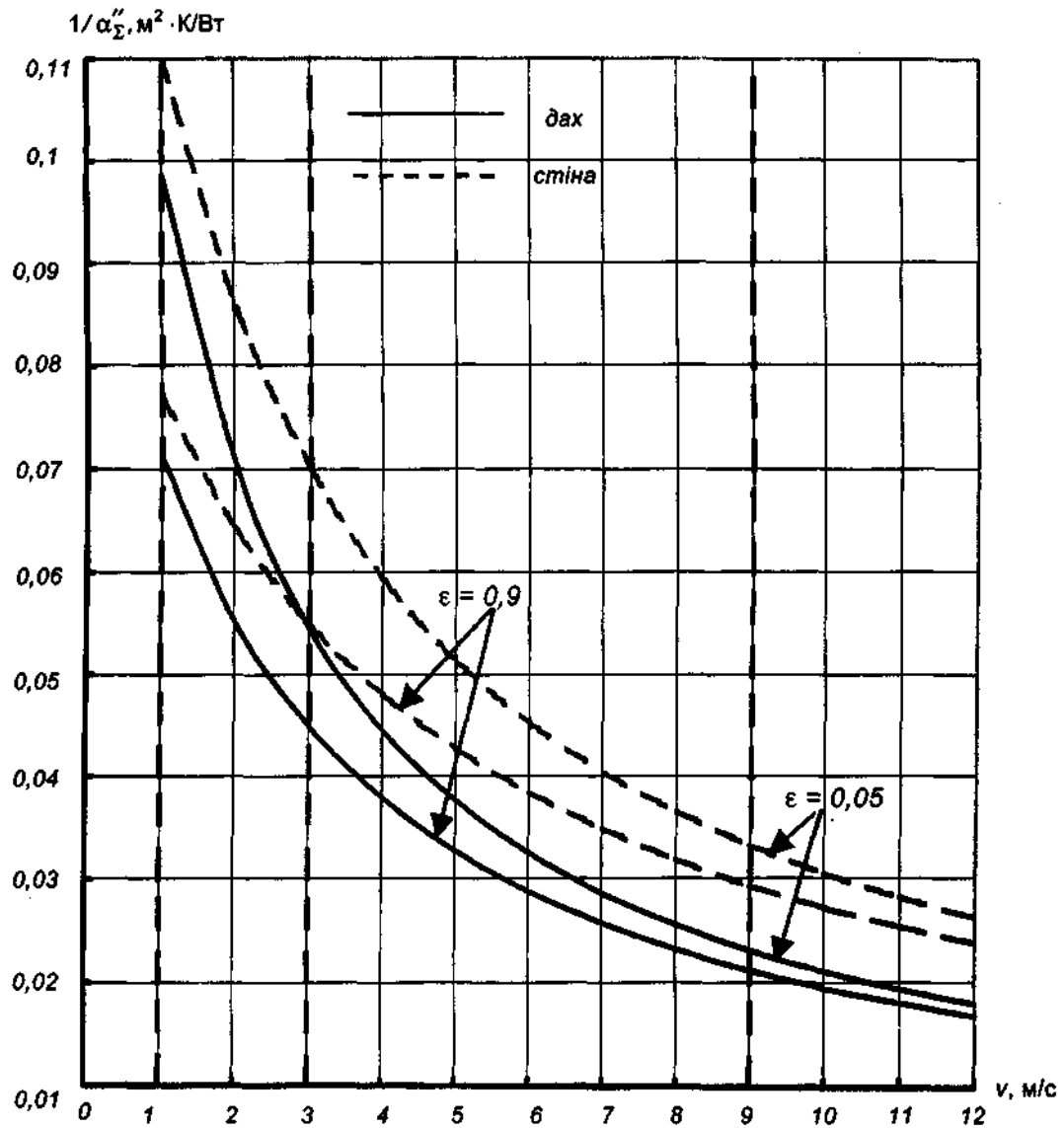


Рисунок А.4 — Сумарний термічний опір конвективно-радіаційного теплообміну між ОК і Д на зовнішній поверхні за середньої температури 0 °С залежно від швидкості вітру випромінювальної здатності поверхні та її виду: стіна чи дах

ДОДАТОК Б

(довідковий)

ТЕРМОРАДІАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ І ПОКРИТТІВ

Таблиця Б.1 - Інтегральний нормальний ступінь чорноти ($\epsilon_{t,n}$)

Матеріал	Температура, °C	($\epsilon_{t,n}$)
Азбестовий картон	40-400	0,93-0,94
Азбестовий папір	20	0,96
Азбошифер	20	0,96
Алюмінієва бронза	20	0,6
Алюмінієве пофарбування	50	0,5
Алюмінієвий лак по шорсткій поверхні	20	0,4
Алюміній сильноокиснений	50-500	0,2-0,3
Алюміній з шорсткою поверхнею	20-50	0,06-0,07
Алюміній полірований	50-500	0,04-0,06
Бронза полірована	50	0,1
Бронза пориста шорстка	50-150	0,55
Вода (шар завтовшки 0,1 мм і більше)	50	0,95
Вугілля	100-600	0,81-0,79
Гіпс	20	0,8-0,9
Гума м'яка сіра шорстка	20	0,86
Гума тверда	20	0,95
Дерево вистругане	20	0,8-0,9
Емаль біла	20	0,9
Жерсть біла стара	20	0,28
Залізо листове оцинковане блискуче	30	0,23
Залізо листове оцинковане окиснене	20	0,28
Змочена металева поверхня	20	0,98
Золото, старанно поліроване	200-600	0,02-0,03
Кварц плавлений шорсткий	20	0,93
Лак білий	40-100	0,8-0,95
Лак чорний блискучий, розпилений на залізі	20	0,87
Лак чорний матовий	40-100	0,96-0,98
Латунь листова, оброблена наждаком	20	0,2
Латунь листова прокатана	20	0,06
Латунь матова тьмяна	20-350	0,22
Латунь, окиснена за температури 600 °C	200-600	0,59-0,61
Латунь полірована	200	0,03
Мармур сіруватий полірований	20	0,93
Мідь окиснена	50	0,6
	500	0,88
Мідь полірована	50-100	0,02

Продовження таблиці Б.1

Матеріал	Температура, °C	($\epsilon_{t,n}$)
Мідь торгова, шабрена до блиску	20	0,07
Нікель, нанесений на чавунну поверхню	50	0,05
Нікель технічно чистий полірований	200-400	0,07-0,09
Олійні фарби різних кольорів	100	0,92-0,96
Папір	20	0,8-0,9
Сажа з рідким склом	20-200	0,96
Сажа лампова	20-400	0,95
Сажа, що нанесена на тверду поверхню	50-1000	0,96
Скло	20-100	0,94-0,91
	250-1000	0,87-0,72
	1100-1500	0,7-0,67
Сніг	-	0,96
Срібло чисте поліроване	200-600	0,02-0,03
Сталь алітована	50-500	0,79
Сталь іржава червона	20	0,69
Сталь з шорсткою плоскою поверхнею	50	0,95-0,98
Сталь легована (8% Ni, 18% Cr)	500	0,35
Сталь листова з блискучим шаром оксиду	20	0,82
Сталь листова шліфована	950-1100	0,55-0,61
Сталь, листовий прокат	50	0,56
Сталь нікельована матова	20	0,11
Сталь окиснена	200-600	0,8
Сталь оцинкована	20	0,28
Сталь щойнопрокатана	20	0,24
Сталь сильноокиснена	50	0,88
	500	0,98
Стальне лиття поліроване	750-1050	0,52-0,56
Толь	20	0,91-0,93
Фарфор глазурований	20	0,92
Цегла вогнетривка динасова	1000	0,66
Цегла вогнетривка корундова	1000	0,46
Цегла вогнетривка магнезитова	1000-1300	0,38
Цегла вогнетривка сильновипромінювальна	500-1000	0,8-0,9
Цегла вогнетривка слабовипромінювальна	500-1000	0,65-0,75
Цегла динасова глазурована шорстка	1100	0,85
Цегла динасова неглазурована шорстка	1000	0,8
Цегла червона шорстка	20	0,88-0,93
Цегла шамотна	20	0,85
	100	0,75
	1200	0,59
Цеглове мурування оштукатурене	20	0,94

Закінчення таблиці Б.1

Матеріал	Температура, °С	$(\epsilon_{t,n})$
Цинк листовий	50	0,2
Цинк, окиснений за температури 400 °С	400	0,11
Цинк полірований	200-300	0,04-0,05
Чавун обточений	800-1000	0,6-0,7
Чавун, окиснений за температури 600 °С	200-600	0,64-0,78
Чавунне литво	50	0,81
Шелак чорно-матовий	75-150	0,91
Шелак чорний, що блистить на залізі	20	0,82
Шлаки котельні	0-100	0,97-0,93
	200-500	0,89-0,78
	600-1200	0,76-0,70
	1400-1800	0,69-0,67

Таблиця Б.2 - Інтегральний напівсферичний ступінь чорноти $(\epsilon_{t,n})$

Матеріал	Температура, К	$(\epsilon_{t,n})$
Алюміній	303	0,03
Алюміній легкоокиснений	375-875	0,12-0,19
Алюміній очищений полірований	375-875	0,03-0,07
Алюміній сильноокиснений	375-875	0,215-0,32
Залізо	200-1100	0,08-0,25
	1500	0,11
Магnezіально-шпінелева кераміка	600-1200	0,4-0,5
Мідь	50-1100	0,02-0,6
Нікель	300-1500	0,06-0,2
Оксид заліза	1500	0,89
Оксид міді	1400	0,54
Свинець	302	0,05
Срібло	100-1300	0,02-0,1
Сталь	301	0,12
Сталь нержавіюча 1X18H9T	500-1250	0,17-0,31
Титан	900-1900	0,22-0,32
Титан технічний	1100-1750	0,25-0,28

ДОДАТОК В

(рекомендований)

**ПРОГРАМА (P4_3) РОЗРАХУНКУ ПОВЕРХНЕВИХ ГУСТИН
ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ ТА КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛООБМІНУ МІЖ ОК І
Д БЕЗ ЗАСТОСУВАННЯ ДОДАТКОВИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОВОГО
ВИПРОМІНЕННЯ ЗА ФОРМУЛАМИ (18)—(21)**

Текст програми

```

CLS
COLOR 14, 1
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " Програма розрахунку густин теплового потоку"
PRINT " та коефіцієнтів теплообміну між ОК і Д без застосування"
PRINT " додаткових джерел теплового випромінення"
PRINT " за формулами (18)—(21)"
PRINT ""
PRINT "=====
PRINT "| УВАГА! Перед користуванням програмою      |"
PRINT "| необхідно попередньо мати значення:          |"
PRINT "| - інтегрального ступеня чорноти контрольованої |"
PRINT "| поверхні (ОК) із додатка Б;                    |"
PRINT "| - коригувальної поправки дельта (знаходимо по  |"
PRINT "| одній з номограм додатка А);                   |"
PRINT "| - виміряних величин поверхневої густини        |"
PRINT "| теплового потоку, температур Д і ОК           |"
PRINT "=====
PRINT
PRINT
PRINT " (для подальшої роботи натисніть (BK) або(Enter) )"
PRINT ""
PRINT "Якщо Ви передумали користуватися програмою,"
INPUT "натисніть 7 і (BK) або (Enter)", a
IF a = 7 THEN END

CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
50 PRINT " ВВЕДІТЬ ВИХІДНІ ДАНІ:"
PRINT
PRINT " Введіть значення виміряних величин:"
INPUT " - поверхневої густини теплового потоку, Вт/кв.м: ", qizm
INPUT " - температури Д, К: ", TD
INPUT " - температури ОК, К: ", TOK
PRINT
INPUT " Введіть значення інтегрального ступеня чорноти ОК ", epsOK
INPUT " Введіть значення коригувальної поправки дельта ", delta
CLS
PRINT
PRINT " ПЕРЕВІРТЕ,"
PRINT " чи правильно Ви ввели виміряні й довідкові величини:"
PRINT "поверхнева густина теплового потоку, Вт/кв.м =";
PRINT USING "###.###"; qizm
PRINT "температура Д, К=";

```



```

PRINT USING "####.##"; ТД
PRINT "температура ОК, К=";
PRINT USING "####.##"; ТОК
PRINT "інтегральний ступінь чорноти ОК = ";
PRINT USING "#.###"; epsOK
PRINT "коригувальна поправка = ";
PRINT USING "#.###"; delta
PRINT
PRINT ""
PRINT " (для подальшої роботи натисніть (BK) або(Enter))"
PRINT
PRINT " ЯКЩО ВВЕДЕННЯ НЕПРАВИЛЬНЕ, натисніть 1 (один)"
PRINT " і клавішу введення (BK) або (Enter)"
INPUT " і повторіть введення необхідних значень", No
PRINT ""
PRINT
IF No = 1 THEN GOTO 50
51 GOSUB 99
CLS
PRINT ""
PRINT " РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ:"
PRINT
PRINT "Коефіцієнт сумарного теплообміну"
PRINT " за формулою (18), Вт/(кв.м*К) =";
PRINT USING "###. ###"; alfaSUMOK
PRINT "Коефіцієнт радіаційного теплообміну"
PRINT " за формулою (19), Вт/(кв.м*К) =";
PRINT USING "###. ###"; alfaEPSOK
PRINT "Коефіцієнт конвективного теплообміну"
PRINT " за формулою (20), Вт/(кв.м*К) =";
PRINT USING "###.###"; alfa
PRINT
PRINT "Поверхнева густина конвективного складника"
PRINT "сумарного теплового потоку за формулою (1), Вт/кв.м =";
PRINT USING "###.###"; qalfa
PRINT "Поверхнева густина радіаційного складника"
PRINT "сумарного теплового потоку за формулою (21), Вт/кв.м =";
PRINT USING "###.###"; qeps
PRINT ""
PRINT
PRINT " (результати розрахунку зберігаються"
PRINT " у вихідному файлі P4_3.rez /відповідно до пункту 4.3 цього стандарту/)"
PRINT ""
OPEN "O", #1, "P4_3.rez"
PRINT #1, " РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ:"
PRINT #1,
PRINT #1, "Коефіцієнт сумарного теплообміну"
PRINT #1, " за формулою (18), Вт/(кв.м*К) = ";
PRINT #1, USING "###. ###"; alfaSUMOK
PRINT #1, "Коефіцієнт радіаційного теплообміну"
PRINT #1, " за формулою (19), Вт/(кв.м*К) =";
PRINT #1, USING "###. ###"; alfaEPSOK
PRINT #1, "Коефіцієнт конвективного теплообміну"
PRINT #1, " за формулою (20), Вт/(кв.м*К) =";
PRINT #1, USING "###.###"; alfa
PRINT #1,

```

```

PRINT #1, "Поверхнева густина конвективного складника"
PRINT #1, "сумарного теплового потоку за формулою (1), Вт/кв.м =";
PRINT #1, USING "###.###"; qalfa
PRINT #1, "Поверхнева густина радіаційного складника"
PRINT #1, "сумарного теплового потоку за формулою (21), Вт/кв.м =";
PRINT #1, USING "###.###"; qeps
PRINT #1, " Для таких вихідних даних:"
PRINT #1, "поверхнева густина теплового потоку, Вт/кв.м =";
PRINT #1, USING "###.###"; qizm
PRINT #1, "температура Д, К=";
PRINT #1, USING "###.##"; ТД
PRINT #1, "температура ОК, К=";
PRINT #1, USING "###.##"; ТОК
PRINT #1, "інтегральний ступінь чорноти ОК = ";
PRINT #1, USING "#.###"; epsOK
PRINT #1, "коригувальна поправка = ";
PRINT #1, USING "#.###"; delta
PRINT #1,
77 END
99 '===== Підпрограма розрахунку =====
'=== Постійна Стефана-Больцмана, Вт/(кв.м*К ^4)
100 sigma = 5.67 *10 ^ (-8)
'=== Коефіцієнт сумарного теплообміну за формулою (18)
150 alfaSUMOK = qizm * (1 + delta) ^ (-1) * (ТД - ТОК) ^ (-1)
'=== Коефіцієнт радіаційного теплообміну за формулою (19)
200 alfaEPSOK = sigma * epsOK * (ТД ^ 4 - ТОК ^ 4) * (ТД - ТОК) ^ (-1)
'=== Значення коефіцієнта конвективного теплообміну за формою (20)
250 alfa = alfaSUMOK - alfaEPSOK
'=== Поверхнева густина конвективного складника
' сумарного теплового потоку за формулою (1)
300 qalfa = alfa * (ТД - ТОК)
'=== Поверхнева густина радіаційного складника
' сумарного теплового потоку за формулою (21)
350 qeps = qizm * (1 + delta) ^ (-1) - qalfa
400 RETURN

```

ПРИКЛАД ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМИ Р4_3

ВИХІДНІ ДАНІ

Поверхнева густина теплового потоку, Вт/кв.м — 40. 000
 Температура Д, К — 300. 00
 Температура ОК, К — 295. 00
 Інтегральний ступінь чорноти ОК — 0. 850
 Коригувальна поправка — 0.010

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Коефіцієнт сумарного теплообміну
 за формулою (18), Вт/(кв.м*К) — 7.921
 Коефіцієнт радіаційного теплообміну
 за формулою (19), Вт/(кв.м*К) — 5.076
 Коефіцієнт конвективного теплообміну
 за формулою (20), Вт/(кв.м*К) — 2.844
 Поверхнева густина конвективного складника
 сумарного теплового потоку
 за формулою (1), Вт/кв.м — 14.222
 Поверхнева густина радіаційного складника
 сумарного теплового потоку
 за формулою (21), Вт/кв.м — 25.382

ДОДАТОК Г

(рекомендований)

**ПРОГРАМА (P4_4) РОЗРАХУНКУ ПОВЕРХНЕВИХ ГУСТИН
ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ТА КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛООБМІНУ МІЖ ОК І
Д ЗА НАЯВНОСТІ ДОДАТКОВИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛООВОГО
ВИПРОМІНЕННЯ ЗА ФОРМУЛАМИ (22)—(28)**

Текст програми

```

CLS
COLOR 14, 1
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "Програма розрахунку густин теплового потоку"
PRINT " та коефіцієнтів теплообміну між ОК і Д за наявності"
PRINT " додаткових джерел теплового випромінення"
PRINT " за формулами (22)—(28)"
PRINT ""
PRINT "===== "
PRINT "| УВАГА! Перед користуванням програмою      |"
PRINT "| необхідно попередньо мати значення:         |"
PRINT "| - терморадіаційних характеристик двох       |"
PRINT "| вимірювальних ПТП і ОК з додатку Б;          |"
PRINT "| - виміряних температур Д, поверхонь         |"
PRINT "| ОК і двох ПТП                                |"
PRINT "===== "
PRINT
PRINT ""
PRINT " (для подальшої роботи натисніть (BK) або(Enter) )"
PRINT ""
PRINT "Якщо Ви чомусь передумали користуватися програмою,"
INPUT "натисніть 7 і (BK) або (Enter)", a
IF a = 7 THEN END
CLS
PRINT ""
50 PRINT " ВВЕДІТЬ ВИХІДНІ ДАНІ:"
PRINT
PRINT " Введіть значення виміряних величин:"
PRINT " - виміряної першим ПТП поверхневої густини"
INPUT " теплового потоку, Вт/кв.м: ", q1zm1
PRINT " - виміряної другим ПТП поверхневої густини"
INPUT " теплового потоку, Вт/кв.м: ", q1zm2
INPUT " - температури Д, К: ", TД
INPUT " - температури поверхні ОК, К: ", ТОК
INPUT " - температури поверхні першого ПТП, К: ", Т1
INPUT " - температури поверхні другого ПТП, К: ", Т2
PRINT ""
PRINT " Введіть довідкові значення"
PRINT " інтегрального напівсферичного ступеня чорноти"
INPUT " - першого ПТП ", eps1
INPUT " - другого ПТП ", eps2
INPUT " - поверхні ОК ", epsОК

```

```

PRINT " інтегральної напівсферичної поглинальної здатності"
INPUT " - першого ПТП ", A1
INPUT " - другого ПТП ", A2
INPUT " - поверхні ОК ", AOK
CLS
PRINT
PRINT " ПЕРЕВІРТЕ, чи правильно Ви ввели"
PRINT "виміряні значення:"
PRINT "поверхнева густина теплового потоку,"
PRINT "виміряна першим ПТП, Вт/кв.м = ";
PRINT USING "###.###"; qizm1
PRINT "поверхнева густина теплового потоку,"
PRINT "виміряна другим ПТП, Вт/кв.м = ";
PRINT USING "###.###"; qizm2
PRINT "температура Д, К =";
PRINT USING "####.##"; TD
PRINT "температура поверхні ОК, К =";
PRINT USING "####.##"; TOK
PRINT "температура поверхні першого ПТП, К =";
PRINT USING "####.##"; T1
PRINT "температура поверхні другого ПТП, К =";
PRINT USING "####.##"; T2
PRINT ""
PRINT " довідкові значення "
PRINT " інтегрального напівсферичного ступеня чорноти"
PRINT " - першого ПТП=", USING "##.##"; eps1
PRINT " - другого ПТП=", USING "##.##"; eps2
PRINT " - поверхні ОК=", USING "##.##"; epsOK
PRINT " інтегральної напівсферичної поглинальної здатності"
PRINT " - першого ПТП=", USING "##.##"; A1
PRINT " - другого ПТП=", USING "##.##"; A2
PRINT " - поверхні ОК =", USING "##.##"; AOK
PRINT
PRINT ""
PRINT " (для подальшої роботи натисніть (BK) або(Enter)) PRINT
PRINT " ЯКЩО ВВЕДЕННЯ НЕПРАВИЛЬНО, натисніть 1 (один)"
PRINT " і клавішу введення (BK) або (Enter)"
INPUT " і повторіть введення необхідних значень", No
PRINT ""
PRINT
IF No = 1 THEN GOTO 50
51 GOSUB 99
CLS
PRINT ""
PRINT " РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ:"
PRINT
PRINT "Коефіцієнт сумарного теплообміну"
PRINT " за формулою (27), Вт/(кв.м*К) =";
PRINT USING "###.###"; alfaSUMOK
PRINT "Коефіцієнт конвективного теплообміну"
PRINT " за формулою (28), Вт/(кв.м*К) =";
PRINT USING "###.###"; alfa
PRINT
PRINT "Поверхнева густина сумарного"

```

```

PRINT "теплового потоку за формулою (24), Вт/кв.м =";
PRINT USING "###.###"; qSUMD
PRINT "Поверхнева густина потоку "
PRINT "надхідного теплового випромінення за формулою (25), Вт/кв.м =";
PRINT USING "###.###"; qPAD
PRINT "Поверхнева густина потоку "
PRINT "поглиненого теплового випромінення за формулою (26), Вт/кв.м =";
PRINT USING "###.###"; qPOGL
PRINT "Поверхнева густина потоку "
PRINT "власного теплового випромінення за формулою (5), Вт/кв.м =";
PRINT USING "###.###"; qSOB
PRINT "Поверхнева густина потоку "
PRINT "вислідного теплового випромінення за формулою (7), Вт/кв.м =";
PRINT USING "###.###"; qEPSREZ
PRINT ""
PRINT
PRINT " (результати розрахунку зберігаються"
PRINT " у вихідному файлі P4_4.rez /за пунктом 4.4 цього стандарту/)"
PRINT ""
OPEN "O", #1, "P4_4.rez"
PRINT #1, " РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ:"
PRINT #1,
PRINT #1, "Коефіцієнт сумарного теплообміну"
PRINT #1, " за формулою (27), Вт/(кв.м*К) =";
PRINT #1, USING "###.###"; alfaSUMOK
PRINT #1, "Коефіцієнт конвективного теплообміну"
PRINT #1, " за формулою (28), Вт/(кв.м*К) =";
PRINT #1, USING "###.###"; alfa
PRINT #1,
PRINT #1, "Поверхнева густина сумарного"
PRINT #1, "теплового потоку за формулою (24), Вт/кв.м =";
PRINT #1, USING "###.###"; qSUMD
PRINT #1, "Поверхнева густина потоку "
PRINT #1, "вислідного теплового випромінення за формулою (25), Вт/кв.м =";
PRINT #1, USING "###.###"; qPAD
PRINT #1, "Поверхнева густина потоку "
PRINT #1, "власного теплового випромінення за формулою (5), Вт/кв.м =";
PRINT #1, USING "###.###"; qSOB
PRINT #1, "Поверхнева густина потоку "
PRINT #1, "вислідного теплового випромінення за формулою (7), Вт/кв.м =";
PRINT #1, USING "###.###"; qEPSREZ
PRINT #1, ""
PRINT #1, "Для таких вихідних даних:"
PRINT #1, "виміряні значення:"
PRINT #1, "поверхнева густина теплового потоку,"
PRINT #1, "виміряна першим ПТП, Вт/кв.м = ";
PRINT #1, USING "###.###"; qizm1
PRINT #1, "поверхнева густина теплового потоку,"
PRINT #1, "виміряна другим ПТП, Вт/кв.м = ";
PRINT #1, USING "###.###"; qizm2
PRINT #1, "температура Д, К =";
PRINT #1, USING "####.##"; ТД
PRINT #1, "температура поверхні ОК, К =";
PRINT #1, USING "####.##"; ТОК

```

```

PRINT #1, "температура поверхні першого ПТП, К =";
PRINT #1, USING "####.##"; T1
PRINT #1, "температура поверхні другого ПТП, К =";
PRINT #1, USING "####.##"; T2
PRINT #1, ""
PRINT #1, ""
PRINT #1, " довідкові значення: "
PRINT #1, " інтегрального напівсферичного ступеня чорноти"
PRINT #1, " - першого ПТП=", USING "##.##"; eps1
PRINT #1, " - другого ПТП=", USING "##.##"; eps2
PRINT #1, " - поверхні ОК=", USING "##.##"; epsOK
PRINT #1, "інтегральної напівсферичної поглинальної здатності"
PRINT #1, " - першого ПТП=", USING "##.##"; A1
PRINT #1, " - другого ПТП=", USING "##.##"; A2
PRINT #1, " - поверхні ОК =", USING "##.##"; AOK
PRINT
77 END
99 '==== Підпрограма розрахунку =====
'=== Постійна Стефана—Больцмана, Вт/(кв.м*К ^4)
100 sigma = 5.67 * 10 ^ (-8)
'=== Поверхнева густина сумарного
'=== теплового потоку за формулою (24)
125 dT1 = TД - T1; dT2 = TД - T2; dТОК = TД - ТОК
b1 = dT1 / dT2; bOK = dТОК / dT2:
K1 = A1 - A2 * b1; K2 = qizm1 + sigma * eps1 * T1 ^ 4; K3 = AOK - A2 * bOK; K4 =
qizm2 + sigma * eps2 * T2 ^ 4; K5 = A1 * bOK - AOK * b1
qSUMD = (K2 * K3 + K4 * K5 - sigma * epsOK * ТОК ^ 4 * K1) qSUMD = qSUMD * K1 ^ (-1)
'=== Поверхнева густина потоку
'=== надхідного теплового випромінення за формулою (25)
150 qPAD = K1 ^ (-1) * (K2 - b1 * K4)
'=== Поверхнева густина потоку
'=== поглиненого теплового випромінення за формулою (26)
175 qPOGL = AOK * qPAD
'=== Поверхнева густина
'=== власного теплового випромінення за формулою (5)
200 qSOB = sigma * epsOK * ТОК ^ 4
'=== Поверхнева густина
'=== вислідного теплового випромінення за формулою (7)
225 qEPSREZ = qPOGL - qSOB
'=== Коефіцієнт сумарного теплообміну за формулою (27)
250 alfaSUMOK = qSUMD / dТОК
'=== Коефіцієнт конвективного теплообміну за формулою (28)
300 alfa = K1 ^ (-1) * (A1 * K4 - A2 * K2) / dT2
400 RETURN

```

ПРИКЛАД ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМИ Р4_4

ВИХІДНІ ДАНІ

Виміряні значення:

Поверхнева густина теплового потоку,
виміряна першим ПТП, Вт/кв.м — 58. 000

Поверхнева густина теплового потоку,
виміряна другим ПТП, Вт/кв.м — 25. 000

Температура Д, К — 295. 00

Температура поверхні ОК, К — 288. 00

Температура поверхні першого ПТП, К — 288.20

Температура поверхні другого ПТП, К — 288.10

Довідкові значення:

Інтегральний напівсферичний ступінь чорноти

першого ПТП — 0.95

другого ПТП — 0.02

поверхні ОК — 0.90

Інтегральна напівсферична поглинальна здатність

першого ПТП — 0.95

другого ПТП — 0.02

поверхні ОК — 0.90

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Коефіцієнт сумарного теплообміну

за формулою (27), Вт/(кв.м*К) — 8.269

Коефіцієнт конвективного теплообміну

за формулою (28), Вт/(кв.м*К) — 3.518

Поверхнева густина сумарного теплового потоку

за формулою (24), Вт/кв.м — 57.886

Поверхнева густина потоку надхідного теплового випромінення

за формулою (25), Вт/кв.м — 427.038

Поверхнева густина потоку власного теплового випромінення

за формулою (5), Вт/кв.м — 351.071

Поверхнева густина потоку вислідного теплового випромінення

за формулою (7), Вт/кв.м — 33.263

ДОДАТОК Д

(рекомендований)

КУТОВІ КОЕФІЦІЄНТИ ВИПРОМІНЕННЯ ДЛЯ РІЗНИХ ВИПАДКІВ РОЗТАШУВАННЯ ДОДАТКОВИХ ДТВ ВІДНОСНО КОНТРОЛЬОВАНОЇ ПОВЕРХНІ ОК

Д.1 У разі оцінення можливого впливу додаткових ДТВ на результат вимірювання поверхневої густини сумарного теплового потоку через ОК перевіряють умову (29) обчисленням за формулою (30).

Кутовий коефіцієнт випромінення (коефіцієнт взаємної опроміненості ОК і ДТВ), що входить до формули (30), визначають у кожному конкретному випадку вимірювання, враховуючи взаємне розташування контрольованої поверхні ОК і додаткового ДТВ.

Для найчастіших випадків їхнього взаємного розташування далі наведено розрахункові формули та побудовано за ними номограми. У цьому випадку застосовують такі позначення:

- φ — кутовий коефіцієнт;
- dF — елементарна площинка контрольованої поверхні ОК;
- F — поверхня додаткового ДТВ різноманітної геометричної форми, наприклад прямокутник або коло, циліндр, сфера;
- a, b — лінійні розміри прямокутника F ;
- r — радіус кола;
- h — відстань між dF та F по нормалі до dF ;
- α — кут перетинання площин, де розташовані площинка dF і поверхня F .

Д.2 Елементарну площинку dF і прямокутник F розміщено в паралельних площинах. Нормаль до центру площинки dF проходить через вершину одного з кутів прямокутника F (рисунк Д.1,а). Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта така:

$$\varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a/h}{\sqrt{1+(a/h)^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{b/h}{\sqrt{1+(a/h)^2}} + \frac{b/h}{\sqrt{1+(b/h)^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{a/h}{\sqrt{1+(b/h)^2}} \right]. \quad (\text{Д.1})$$

$$\text{За умови, що } a/h \rightarrow \infty, \quad \lim_{dFF} \varphi_{dFF} = \frac{b/h}{4\sqrt{1+(b/h)^2}}; \quad \text{за умови, що } b/h \rightarrow \infty, \quad \lim_{dFF} \varphi_{dFF} = \frac{a/h}{4\sqrt{1+(a/h)^2}};$$

за умови, що $a/h \rightarrow \infty$ і $b/h \rightarrow \infty$, $\lim_{dFF} \varphi_{dFF} = 0,25$.

На рисунку Д.1,б наведено номограму, побудовану за формулою (Д.1).

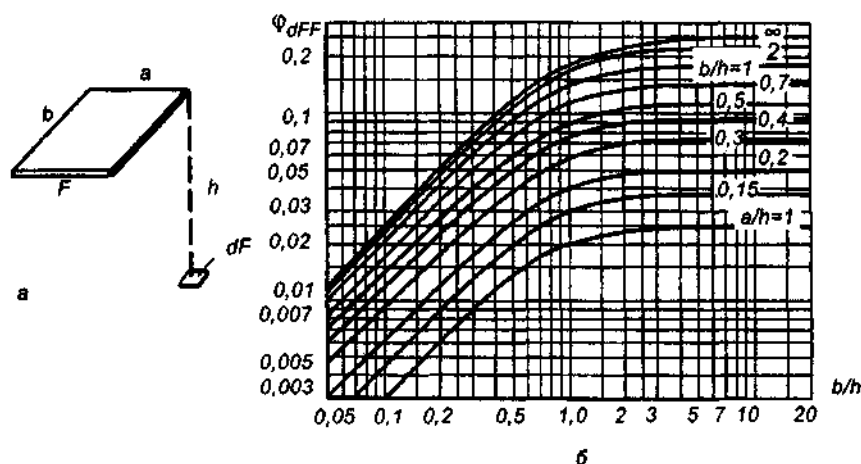


Рисунок Д.1

Д.3 Елементарну площинку dF і прямокутник F розміщено у паралельних площинах. Нормаль до центру площинки dF проходить усередині прямокутника F (рисунок Д.2) Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта така:

$$\Phi_{dFF} = \Phi_{dFF_1} + \Phi_{dFF_2} + \Phi_{dFF_3} + \Phi_{dFF_4}, \quad (\text{Д.2})$$

де $\Phi_{dFF_1}, \Phi_{dFF_2}, \Phi_{dFF_3}, \Phi_{dFF_4}$ — частинні кутові коефіцієнти, що визначають за номограмою рисунка Д.1,б.

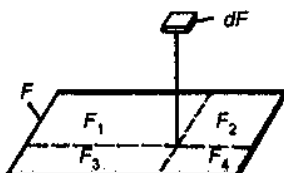


Рисунок Д.2

Д.4 Елементарну площинку dF і прямокутник F розміщено у паралельних площинах. Нормаль до центру площинки dF проходить поза прямокутником F_1 (рисунок Д.3).

Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта така:

$$\Phi_{dFF_1} = \Phi_{dFF_{1234}} - \Phi_{dFF_4} - \Phi_{dFF_{24}} - \Phi_{dFF_{34}}, \quad (\text{Д.3})$$

де частинні кутові коефіцієнти знаходять за номограмою рисунка Д.1,б.

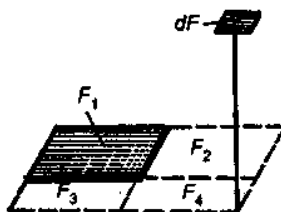


Рисунок Д.3

Д.5 Елементарну площинку dF і прямокутник F розміщено у площинах, що перетинаються під кутом α (рисунок Д.4,а). Пряма h у площині dF перпендикулярна стороні CD прямокутника F у точці C .

Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта така:

$$\varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{b}{h} + \operatorname{arctg} \frac{a/b \cdot \cos \alpha - h/b}{\sqrt{(a/b)^2 + (h/b)^2 - 2 \cdot ah/b^2 \cdot \cos \alpha}} + \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{(a/b)^2 + (h/b)^2 - 2 \cdot ah/b^2 \cdot \cos \alpha}} + \right. \\ \left. + \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 + (h/b)^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \cdot \left(\operatorname{arctg} \frac{a/b - h/b \cdot \cos \alpha}{\sqrt{1 + (h/b)^2 \cdot \sin^2 \alpha}} + \operatorname{arctg} \frac{h/b \cdot \cos \alpha}{\sqrt{1 + (h/b)^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \right) \right]. \quad (\text{Д.4})$$

$$\text{За умови, що } a/b \rightarrow \infty, \quad \lim \varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{b}{h} + \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 + (h/b)^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \cdot \left(\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{h/b \cdot \cos \alpha}{\sqrt{1 + (h/b)^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \right) \right].$$

За умови, що $h/b \rightarrow \infty$, $\lim \varphi_{dFF} = 0$.

За умови, що $h/b \rightarrow 0$, $\lim \varphi_{dFF} = 0,25 (1 + \cos \alpha)$.

Якщо $\alpha = 0^\circ$ і $a/b < h/b$, то $\varphi_{dFF} = 0$.

Якщо $\alpha = 0^\circ$ і $a/b > h/b$, то $\varphi_{dFF} = 0,50$.

Якщо $\alpha = 0^\circ$ і $a/b = h/b$, то $\varphi_{dFF} = 0,25$.

$$\text{Якщо } \alpha = 90^\circ, \text{ то } \varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \left[\operatorname{arctg} b/h - \frac{h/b}{\sqrt{(a/b)^2 + (h/b)^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{(a/b)^2 + (h/b)^2}} \right].$$

Якщо $\alpha = 90^\circ$ і $a/b \rightarrow \infty$, то $\lim \varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \operatorname{arctg} b/h$.

$$\text{Якщо } \alpha = 90^\circ \text{ і } a/b = h/b, \text{ то } \varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \left(\operatorname{arctg} b/h + \frac{1}{\sqrt{2}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{2} \cdot h} \right).$$

На рисунках Д.4,б, в, г, д та е наведено номограми, побудовані за формулою (Д.4) для значень кута α , що дорівнюють, відповідно 30, 60, 90, 120 і 150° .

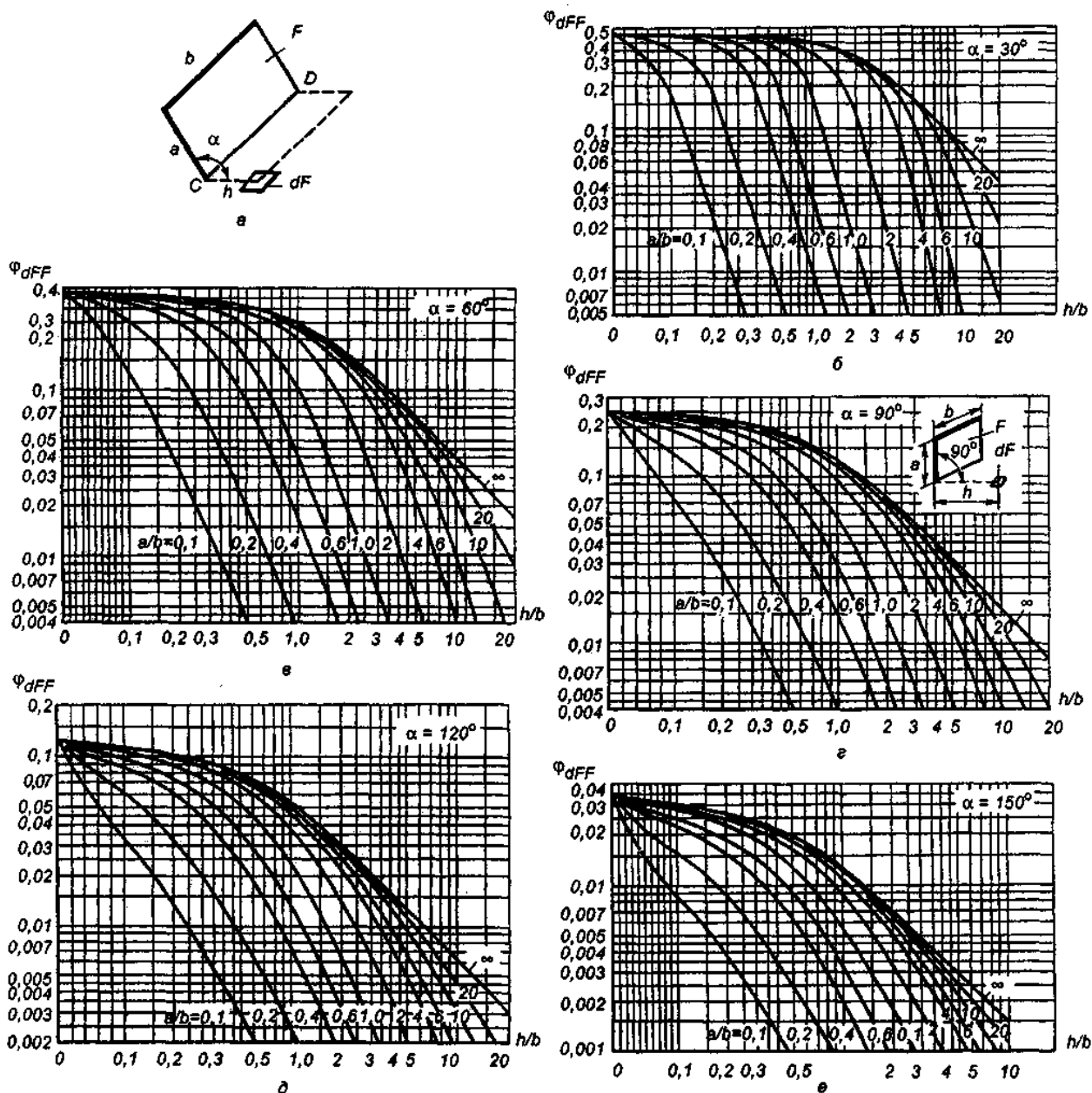


Рисунок Д.4

Д.6 Елементарну площинку dF і чотирикутник F , що складається з прямокутника F_1 і трикутника F_2 , розміщено у площинах, що перетинаються під кутом α (рисунок Д.5, а). Кут $\gamma = \frac{\pi}{2} + \beta$.

Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта така:

$$\varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \arctg b/h + \frac{a/b \cdot \cos \alpha - h/b}{2\pi Z} \left[\arctg \frac{(1 + \tg^2 \beta) + (a/b - b/h \cdot \cos \alpha) \cdot \tg \beta}{Z} - \arctg \left(\frac{\tg \beta}{Z} \cdot (a/b - h/b \cdot \cos \alpha) \right) \right] + \frac{\cos \alpha}{2\pi X} \left(\arctg \frac{h/b \cdot \cos \alpha}{X} + \arctg \frac{a/b - h/b \cdot \cos \alpha + \tg \beta}{X} \right),$$

де $X = \sqrt{1 + (h/b)^2 - (h/b \cdot \cos \alpha)^2}$.

$$Z = \sqrt{(1 + \tg^2 \beta) [(h/b)^2 - (h/b \cdot \cos \alpha)^2 + (a/b - h/b \cdot \cos \alpha)^2]}.$$

За умови, що $\alpha = 90^\circ$ і $a/b = 0$, формула набуває вигляду:

$$\varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \left(\arctg b/h - \frac{1}{\sqrt{1 + \tg^2 \beta}} \cdot \arctg \frac{\sqrt{1 + \tg^2 \beta}}{h/b} \right). \quad (\text{Д.5})$$

На рисунку Д.5,б наведено номограму, побудовану за формулою (Д.5) для різних значень кута β . За умови, що $\beta = 0$, цей випадок перетворюється у Д.4.

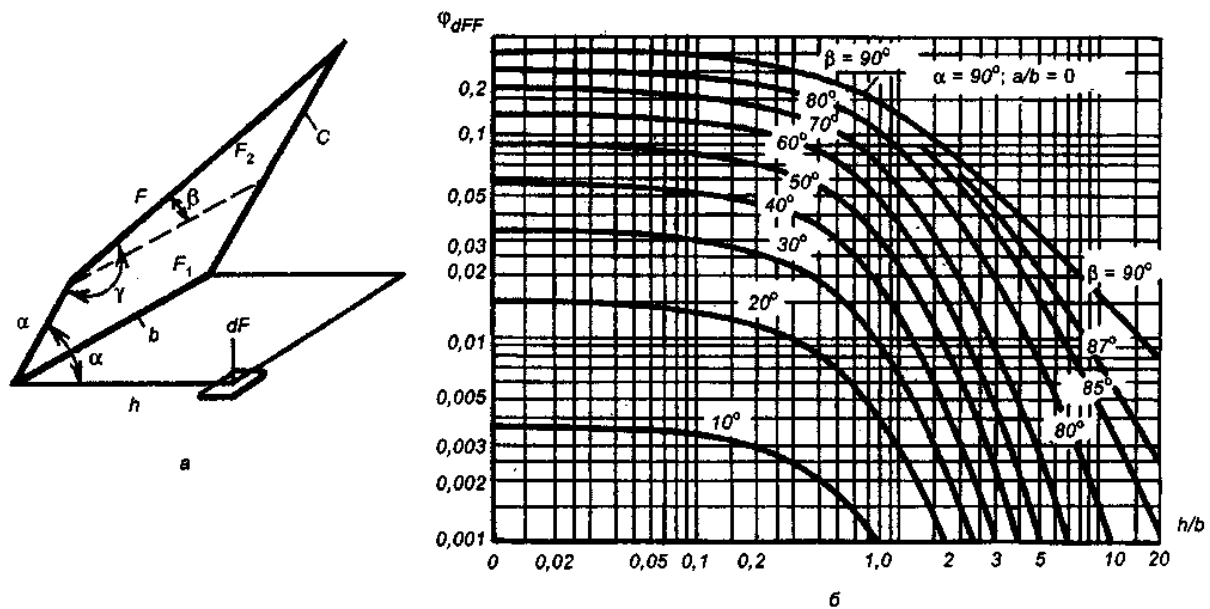


Рисунок Д.5

Д.7 Елементарну площинку dF і чотирикутник F , що складається з прямокутника F_1 і трикутника F_2 , розміщено у площинах, що перетинаються під кутом α (рисунок Д.6,а). Кут $\gamma = \frac{\pi}{2} + \beta$.

Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта така:

$$\varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \operatorname{arctg} b/h + \frac{\cos \alpha}{2\pi X} \left(\operatorname{arctg} \frac{a/b - h/b \cdot \cos \alpha}{X} + \operatorname{arctg} \frac{h/b \cdot \cos \alpha}{X} \right) +$$

$$+ \frac{a/b \cdot \cos \alpha - h/b + \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \alpha}{2\pi Z} \left(\operatorname{arctg} \frac{1 - (a/b - h/b \cdot \cos \alpha) \cdot \operatorname{tg} \beta}{Z} + \operatorname{arctg} \frac{(a/b - h/b \cdot \cos \alpha + \operatorname{tg} \beta) \cdot \operatorname{tg} \beta}{Z} \right),$$

$$\text{де } X = \sqrt{1 + (h/b)^2 - (h/b \cdot \cos \alpha)^2},$$

$$Z = \sqrt{(1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \left[(h/b)^2 - (h/b \cdot \cos \alpha)^2 + (a/b - h/b \cdot \cos \alpha + \operatorname{tg} \beta)^2 \right]}.$$

За умови, що $\alpha = 90^\circ$ і $a/b = 0$, формула набуває вигляду:

$$\varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} \operatorname{arctg} b/h - \frac{h/b}{2\pi Y} \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{Y} + \operatorname{arctg} \frac{1}{Y} \right), \quad (\text{Д.6})$$

$$\text{де } Y = \sqrt{(h/b)^2 + [1 + (h/b)^2] \cdot \operatorname{tg}^2 \beta}.$$

За умови, що $\alpha = 90^\circ$, $a/b = 0$ і $h/b = 0$, $\varphi_{dFF} = 0,25$.

$$\text{За умови, що } \alpha = 90^\circ, a/b = 0 \text{ і } h/b = 1, \varphi_{dFF} = \frac{1}{8} - \frac{1}{2\pi \sqrt{1 + 2\operatorname{tg}^2 \beta}} \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{\sqrt{1 + 2\operatorname{tg}^2 \beta}} + \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{1 + 2\operatorname{tg}^2 \beta}} \right).$$

На рисунку Д.6,б наведено номограму, побудовану за формулою (Д.6) для різних значень кута β . За умови, що $\beta = 0$, цей випадок перетворюється у Д.4.

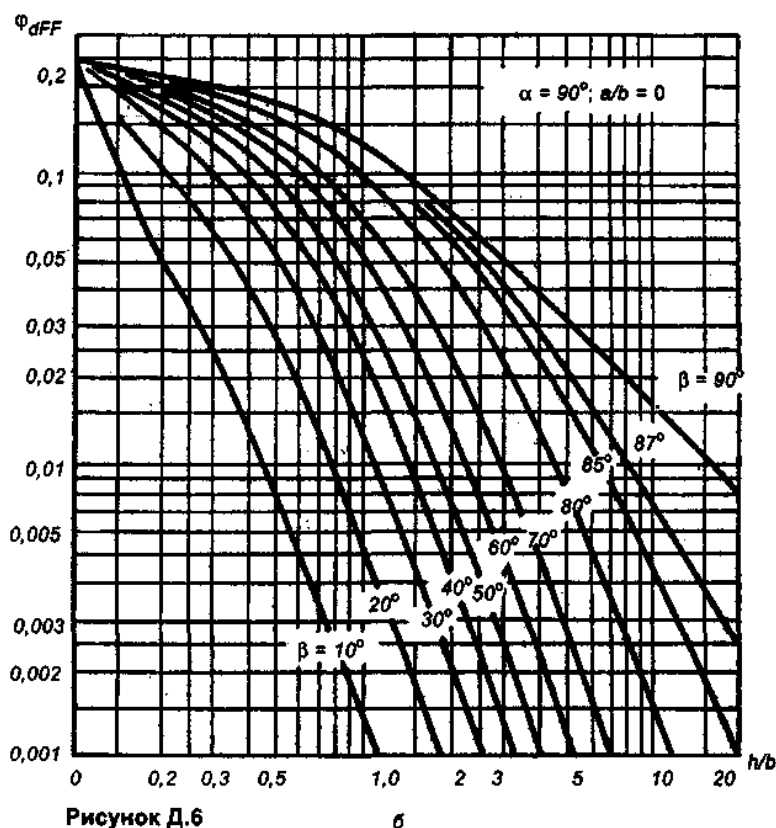
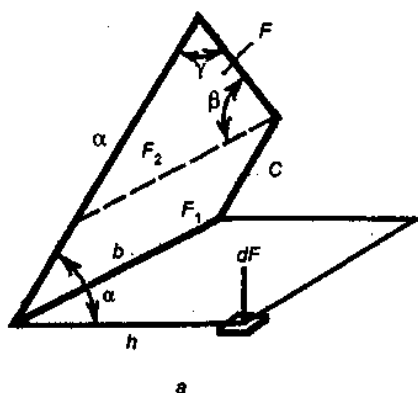


Рисунок Д.6

б

Д.8 Елементарна площинка dF і коло F (рисунок Д.7,а). Пряма, що з'єднує центр площинки dF із центром кола, перпендикулярна площині кола F .

За значень кута $\beta \leq \pi/2 - \alpha$ кутовий коефіцієнт $\varphi_{dFF} = \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha$ (рисунок Д.7,б).

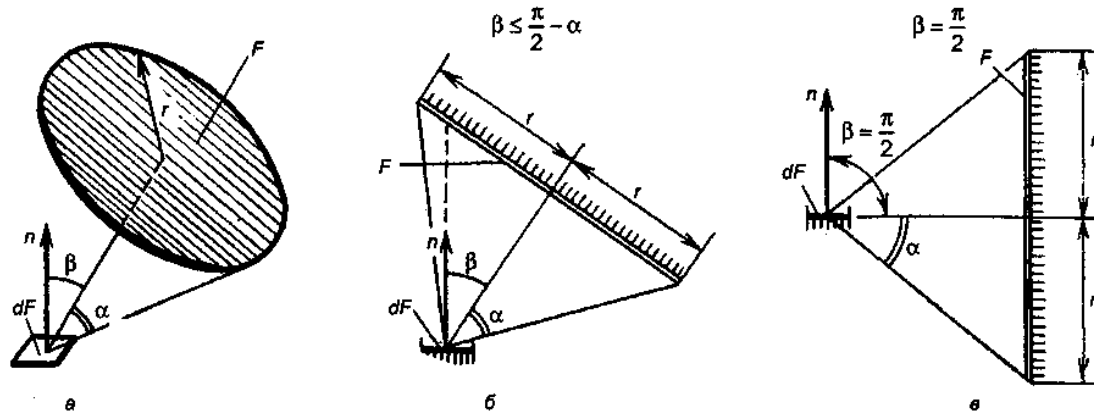


Рисунок Д.7

За значень кута $\beta = \pi/2$ кутовий коефіцієнт $\varphi_{dFF} = (\alpha - \sin\alpha \cdot \cos\alpha)/\pi$ (рисунок Д.7,в).

Д.9 Елементарну площинку dF і коло F розміщено у паралельних площинах (рисунок Д.8,а). Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта така:

$$\varphi_{dFF} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1 + (h/a)^2 - (r/a)^2}{\sqrt{1 + (h/a)^2 - 3(r/a)^2}} \right]. \quad (\text{Д.8})$$

За умови, що $h/a \rightarrow \infty$, $\lim \varphi_{dFF} = (r/h)^2 [1 + (r/h)^2]$.

За умови, що $h/a \rightarrow \infty$ і $r/h = 1$, $\lim \varphi_{dFF} = 0,5$.

За умови, що $h/a \rightarrow \infty$ і $r/h \rightarrow \infty$, $\lim \varphi_{dFF} = 1$.

На рисунку Д.8,б наведено номограму, побудовану за формулою Д.8 для різних значень відношення r/h .

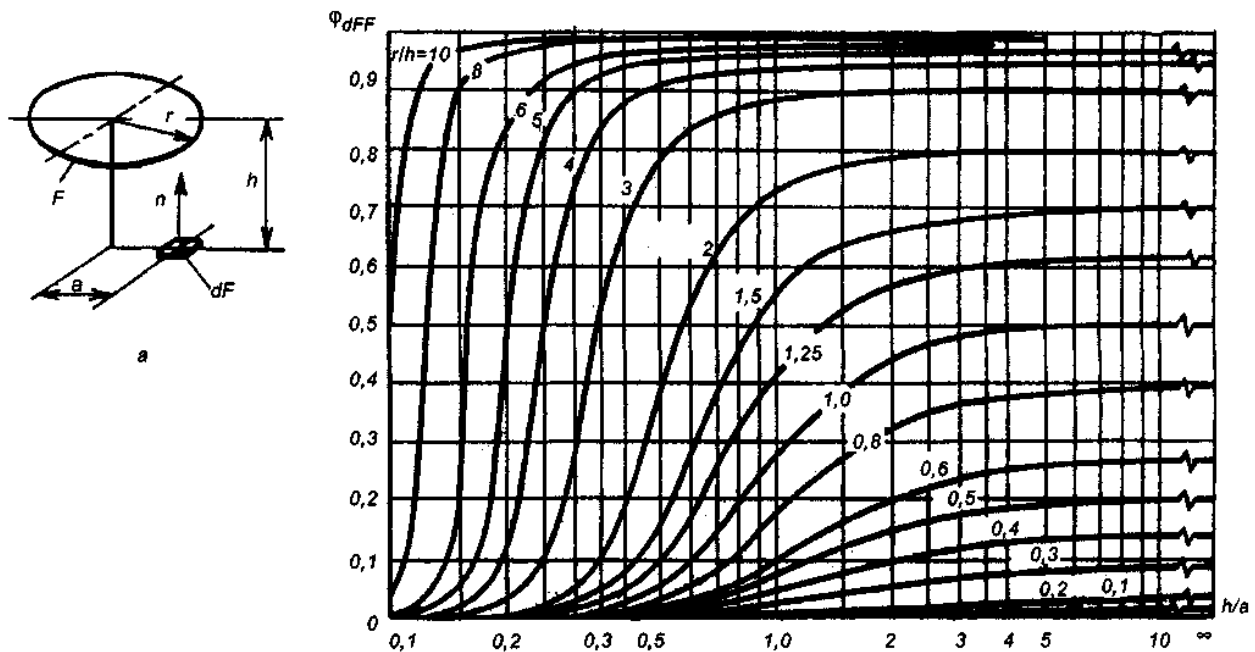


Рисунок Д.8

б

Д.10 Елементарну площинку dF і коло F розміщено у перпендикулярних одна відносно одної площинах (рисунок Д.9,а).

Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта така:

$$\Phi_{dFF} = \frac{h}{2a} \left[\frac{1 + (r/a)^2 + (h/a)^2}{\sqrt{(1 + (r/a)^2 + (h/a)^2)^2 - 4(r/a)^2}} - 1 \right]. \quad (\text{Д.9})$$

За умови, що $r/a = 1$, $\Phi_{dFF} = \frac{2 + (h/a)^2}{2\sqrt{4 + (h/a)^2}} - \frac{h}{2a}$.

На рисунку Д.9,б наведено номограму, побудовану за формулою (Д.9) для різних значень відношення r/a .

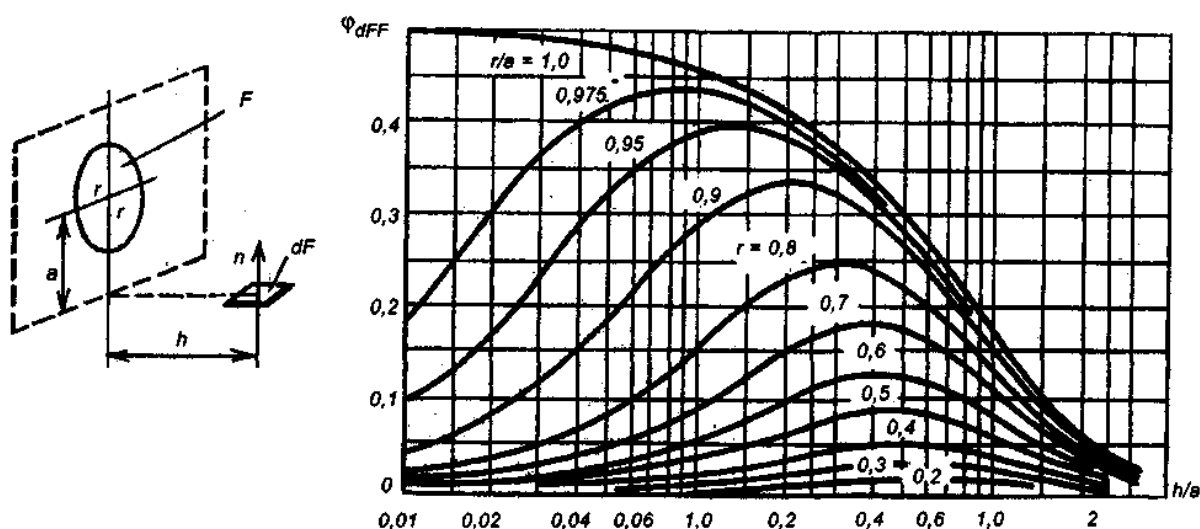


Рисунок Д.9

Д.11 Елементарна площинка dF і прямий круговий циліндр радіусом основи r та висотою l (рисунок Д.10,а). Нормаль до площинки dF проходить через центр основи циліндра перпендикулярно до його осі.

Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта така:

$$\Phi_{dFF} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{r}{l} \left[\arctg \frac{l/r}{\sqrt{(h/r)^2 - 1}} - \frac{l}{r} \arctg \frac{\sqrt{h/r - 1}}{\sqrt{h/r + 1}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{l} \cdot \frac{X + Z}{\sqrt{XZ}} \arctg \sqrt{\frac{(h/r - 1)X}{(h/r + 1)Z}} \right], \quad (\text{Д.10})$$

де $X = (h/r + 1)^2 + (l/r)^2$, $Z = (h/r - 1)^2 + (l/r)^2$.

На рисунку Д.10,б наведено номограму, побудовану за формулою (Д.10) для різних значень відношення h/r .

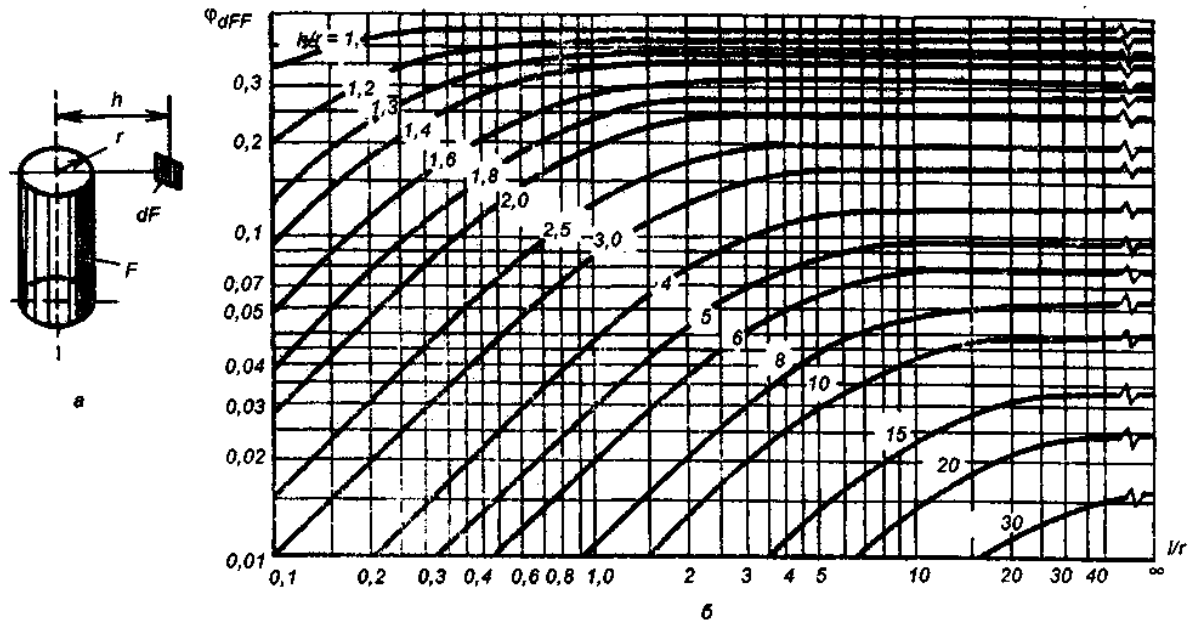


Рисунок Д.10

Д.12 Елементарна площинка dF і сфера радіусом r (рисунок Д.11, а). Кут між нормаллю до площинки dF і прямою, що з'єднує центри площинки dF і сфери, дорівнює α . Відстань від площинки dF до центру сфери — h .

Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта у випадку, коли з площинки dF видно всю сферу F , тобто $\alpha + \beta \leq \pi/2$, має вид:

$$\varphi_{dFF} = \frac{\cos \alpha}{(h/r)^2}.$$

Розрахункова формула для визначення кутового коефіцієнта у випадку, коли з площинки dF видно частину сфери F , має вид:

$$\varphi_{dFF} = \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sqrt{(h/r)^2 - 1}}{h/r \sin \alpha} + \frac{1}{2(h/r)^2} \left[\cos \arccos \left(-\frac{\sqrt{(h/r)^2 - 1}}{\tan \alpha} \right) - \sqrt{(h/r)^2 - 1} \cdot \sqrt{1 - (h/r)^2 \cos \alpha} \right] \right\}.$$

За умови, що $\pi/2 - \beta < \alpha < \pi/2$, тобто коли з площинки dF видно більше ніж половину сфери F , кутовий коефіцієнт знаходять за номограмою рисунка Д.11, б.

За умови, що $\pi/2 < \alpha < \pi/2 + \beta$, тобто коли з площинки dF видно менше ніж половину сфери F , кутовий коефіцієнт знаходять за номограмами рисунка Д.11, в.

За умови, що $\alpha = \pi/2$, тобто коли з площинки dF видно половину сфери F , кутовий коефіцієнт обчислений за формулою:

$$\varphi_{dFF} = \frac{1}{2\pi} (2\beta - \sin 2\beta), \text{ де } \beta = \arcsin r/h.$$

За умови, що $\alpha \geq \pi/2 + \beta$, тобто коли з площинки dF сферу F не видно, кутовий коефіцієнт $\varphi_{dFF} = 0$.

У області значень $1 < h/r < 1000$ кутовий коефіцієнт знаходять за номограмою, що наведено на рисунку Д.11, г для значення кута α від 0° до 150° .

За умови, що $h/r = 1$, $\varphi_{dFF} = \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha)$.

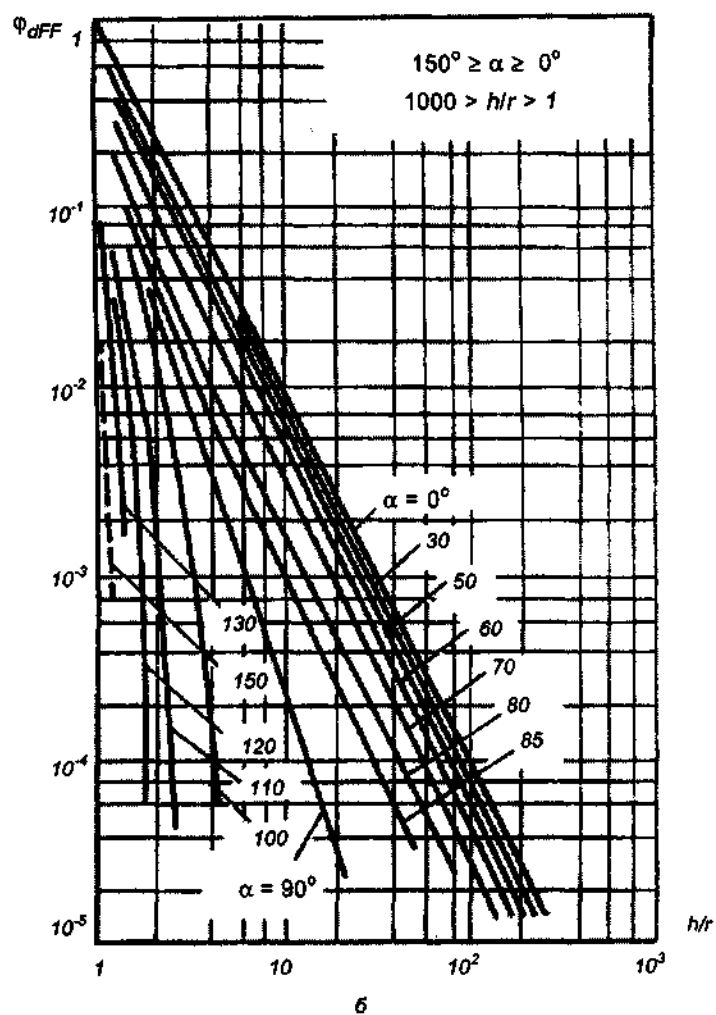
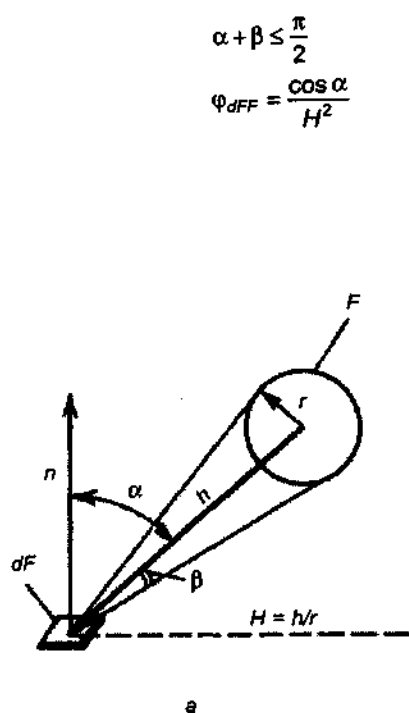


Рисунок Д.11

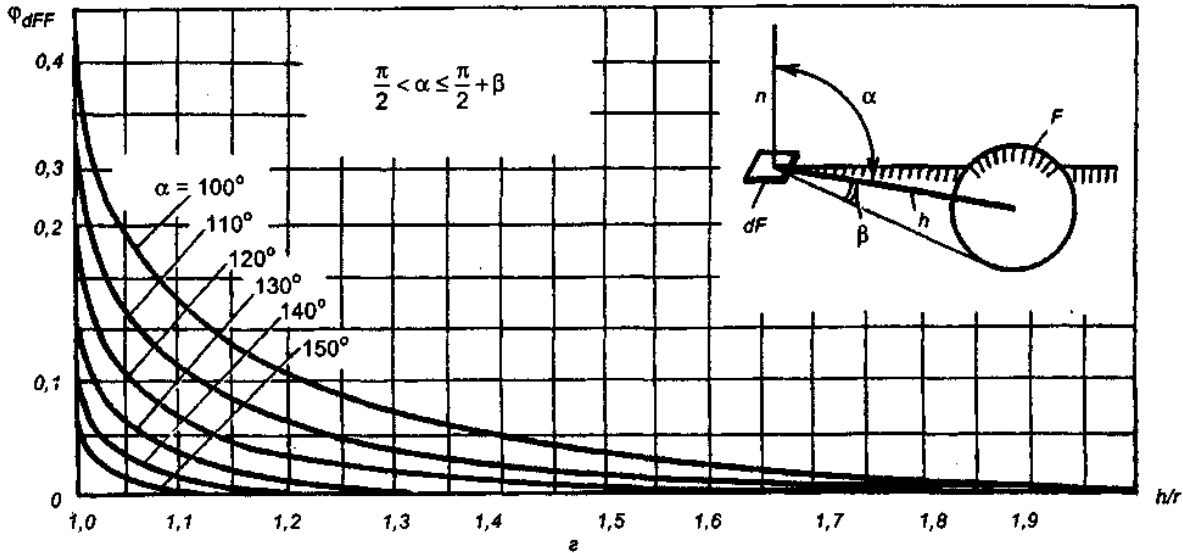
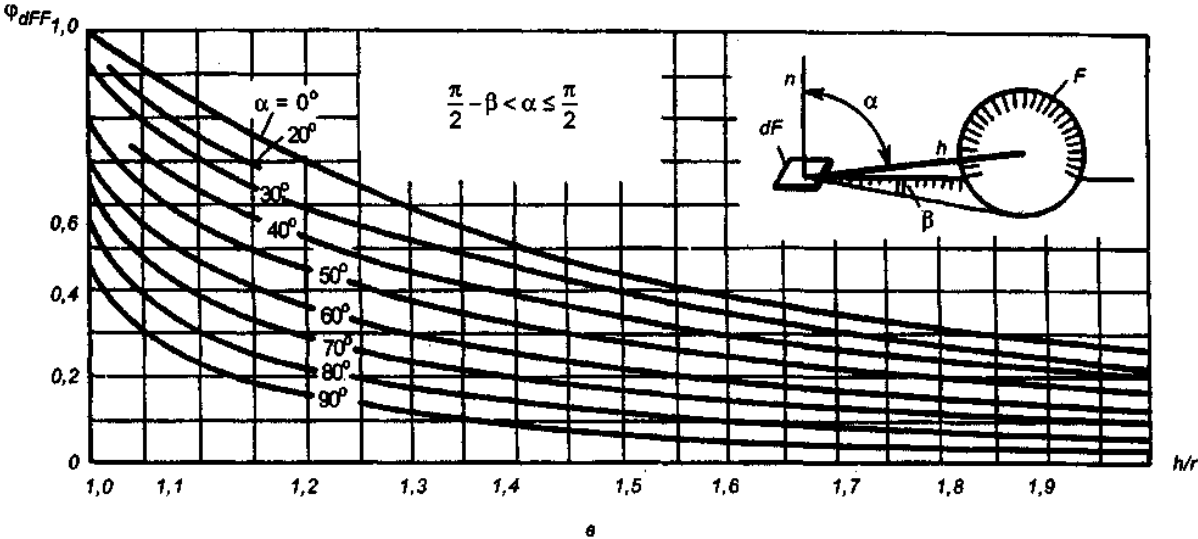


Рисунок Д.11

ДОДАТОК Е

(довідковий)

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЛАДУ МОДЕЛІ ИТП-22

Прилад ИТП-22 призначено для вимірювання поверхневої густини теплового потоку. Прилад складається з термоелектричного ПТП виду допоміжної стінки відповідно до ДСТУ 3756 і спеціалізованого цифрового вимірювально-показувального електронного пристрою з автономним батарейним електроживленням, призначеного для масштабування й вимірювання сигналу ПТП та представлення вимірювальної інформації в цифровому виді на рідкокристалічному табло в одиницях вимірюваної густини теплового потоку у ватах на квадратний метр. Залежно від особливостей об'єкту вимірювання прилад може бути укомплектовано додатковими ідентичними ПТП.

Діапазони вимірювання густини теплового потоку: від 2,0 до 19,99 Вт/м² (межа «20»), від 20,0 до 199,9 Вт/м² (межа «200») і від 200 до 1999 Вт/м² (межа «2000»).

Дискретність відліку густини теплового потоку: 0,01 Вт/м² на межі «20», 0,1 Вт/м² на межі «200» і 1 Вт/м² на межі «2000».

Припустима основна відносна похибка вимірювання густини теплового потоку у відсотках не перевищує похибки, розрахованої за формулою:

$$\delta = \pm (4 + 0,8 \cdot (x_{\text{пр}}/x_{\text{вим}} - 1)),$$

де $x_{\text{пр}} = 20, 200$ або 2000 Вт/м² відповідно до встановленої межі вимірювання,

$x_{\text{вим}}$ - виміряне поточне значення густини теплового потоку, Вт/м².

Термічний опір ПТП — не більше ніж $3 \cdot 10^{-3}$ м² · К/Вт.

Тривалість виходу показань цифрового пристрою на сталі значення - не більше ніж 2,5 хв.

Габаритні розміри ПТП: діаметр або найбільший поперечний розмір - від 20 до 120 мм, товщина - від 2,5 до 5 мм.

Габаритні розміри цифрового пристрою - не більше ніж 180x100x50 мм.

Маса приладу без пакування - не більше ніж 0,5 кг.

ДОДАТОК Ж

(довідковий)

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЛАДУ МОДЕЛІ ИТП-23

Прилад ИТП-23 призначено для вимірювання поверхневої густини теплового потоку через ОК і температури поверхні ПТП, поверненої до Д. Прилад складається з первинних перетворювачів: перетворювача теплового потоку відповідно до ДСТУ 3756 і перетворювача температури відповідно до ДСТУ 2837 чи ДСТУ 2858, змонтованих в одному корпусі, і спеціалізованого цифрового вимірювально-показувального електронного пристрою з автономним батарейним електроживленням, призначеного для масштабування й вимірювання сигналів перетворювачів та представлення вимірювальної інформації в цифровому виді на рідкокристалічному табло в одиницях вимірюваної величини: густини теплового потоку у ватах на квадратний метр і температури в градусах Цельсія.

Діапазони вимірювання густини теплового потоку: від 10,0 до 199,9 Вт/м² (межа «200») і від 200 до 1999 Вт/м² (межа «2000»).

Дискретність відліку густини теплового потоку: 0,1 Вт/м² на межі «200» і 1 Вт/м² на межі «2000».

Припустима основна відносна похибка вимірювання густини теплового потоку у відсотках не перевищує значення, розрахованого за формулою:

$$\delta = \pm (4 + 0,8 \cdot (x_{\text{пр}}/x_{\text{вим}} - 1)),$$

де $x_{\text{пр}} = 200$ або 2000 Вт/м² відповідно до встановленої межі вимірювання,
 $x_{\text{вим}}$ — виміряне поточне значення густини теплового потоку, Вт/м².

Діапазон вимірювання температур - від мінус 50 до 150 °С.

Дискретність відліку - 0,1 °С.

Припустима основна абсолютна похибка вимірювання температури становить:

- не більше ніж $\pm 0,3$ °С у діапазоні від мінус 30 до 30 °С,
- не більше ніж $\pm 1,0$ °С у діапазонах від мінус 50 до мінус 30 °С і від 30 до 150 °С.

Тривалість виходу показань цифрового пристрою на сталі значення - не більше ніж 2,5 хв.

Габаритні розміри ПТП: діаметр або найбільший поперечний розмір - від 20 до 120 мм, товщина - від 2,5 до 5 мм.

Габаритні розміри цифрового пристрою - не більше ніж 180x100x50 мм.

Маса приладу без пакування - не більше ніж 0,5 кг.

ДОДАТОК И

(довідковий)

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЛАДУ МОДЕЛІ ИТП-24

Прилад ИТП-24 призначено для вимірювання поверхневої густини теплового потоку через ОК і двох різниць температур: зовнішньої і внутрішньої поверхонь ОК (наприклад, стіни) і повітря по різні боки ОК (наприклад, зовні й усередині помешкання). Прилад складається з комплекту первинних перетворювачів (від одного до шести) теплового потоку й різниць температур (двох) і спеціалізованого мікропроцесорного вимірювально-показувального пристрою з автономним електроживленням, призначеного для масштабування й вимірювання сигналів первинних перетворювачів та представлення вимірювальної інформації в цифровому виді на рідкокристалічному табло в одиницях вимірюваної величини: густини теплового потоку у ватах на квадратний метр й різниці температур у градусах Цельсія.

Діапазони вимірювання густини теплового потоку: від 2,0 до 19,99 Вт/м² (межа «20») і від 20,0 до 199,9 Вт/м² (межа «200»).

Дискретність відліку густини теплового потоку: 0,01 Вт/м² на межі «20» і 0,01 Вт/м² на межі «200».

Припустима основна відносна похибка вимірювання густини теплового потоку у відсотках не перевищує значення, розрахованого за формулою:

$$\delta = \pm (4 + 0,8 \cdot (x_{\text{пр}}/x_{\text{вим}} - 1)),$$

де $x_{\text{пр}} = 20$ або 200 Вт/м² відповідно до встановленої межі вимірювання,
 $x_{\text{вим}}$ — виміряне поточне значення густини теплового потоку, Вт/м².

Діапазон вимірювання різниці температур - від мінус 50 до 50 °С.

Припустима основна абсолютна похибка вимірювання різниці температур - $\pm 0,3$ °С.

Тривалість виходу показань цифрового пристрою на сталі значення - не більше ніж 5 хв.

Габаритні розміри ПТП: діаметр або найбільший поперечний розмір - від 80 до 120 мм, товщина - від 2,5 до 5 мм.

Маса приладу - не більше 1 кг.

ДОДАТОК К

(довідковий)

**ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО
ТЕПЛОМЕТРИЧНОГО ПРИСТРОЮ МОДЕЛІ РКТП**

Пристрій моделі РКТП призначено для визначення складників сумарного теплового потоку в разі складного радіаційно-конвективного теплообміну. Пристрій застосовують у комплекті зі стандартним вимірювачем напруги постійного струму.

Пристрій - нерознімна плоска конструкція, що містить два ПТП (1 і 2 на рисунку К.1) з однаковими розмірами (згідно з ДСТУ 3756), змонтованих на спільній температуровирівнювальній підкладці 3, що забезпечує умови ізотермічності для поверхонь ПТП, які контактують з нею. Інші поверхні цих ПТП мають теплосприймальні платівки 4 і 5. Платівки, що забезпечують контрастність терморадіаційних характеристик, виконано з нержавіючої сталі, причому одну з платівок (наприклад, 4) виконано чорною, а іншу (5) - білою. Пристрій містить хромель-алюмелеві термопари (ТХА) для вимірювання температур T_1 і T_2 теплосприймальних платівок ПТП і поверхні ОК (6).

Діапазон вимірювання густини теплового потоку - від 10 до 2000 Вт/м².

Межі припустимої основної відносної похибки вимірювання густини теплового потоку не перевищують $\pm 5 \%$.

Діапазон значень середньої температури пристрою - від мінус 50 до 100°C.

Абсолютна похибка вимірювання температури не перевищує $\pm 0,5$ °C.

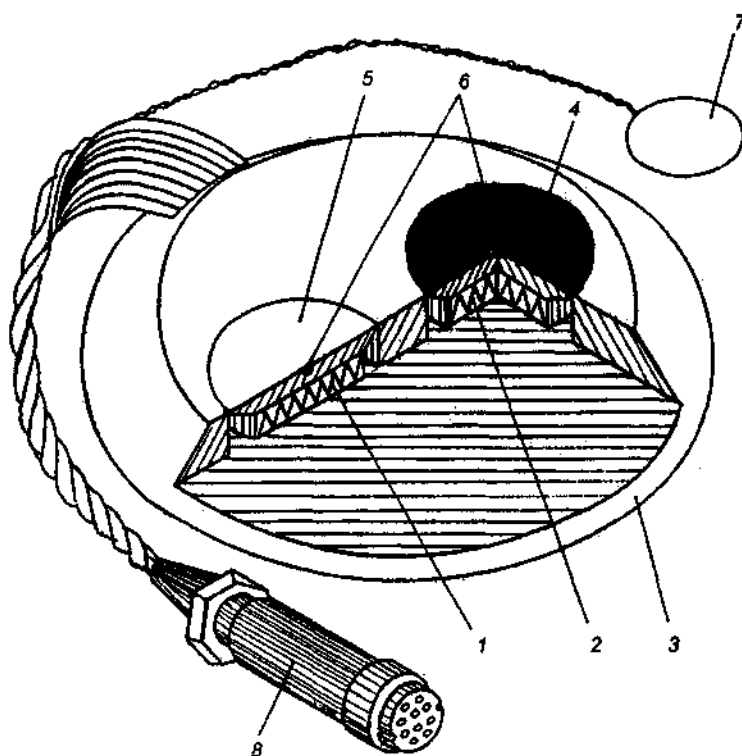
Діапазон значень інтегральної напівсферичної випромінювальної (поглинальної) здатності теплосприймальної поверхні, відповідно, «чорного» ПТП - від 0,85 до 90 і «білого» - від 0,02 до 0,25.

Межа термічного опору - $2 \cdot 10^{-3}$ К·м²/Вт.

Тривалість виходу показань виробу на сталі значення - не більше ніж 2,5 хв.

Габаритні розміри - 35 x 60 x 5 мм.

Маса приладу без пакування - не більше ніж 0,10 кг.



1,2 — ПТП; 3 — підкладка, що вирівнює температуру; 4 — платівка теплосприймаюча («чорна»);
 5 — те ж саме («біла»); 6 — спай термоелектричних перетворювачів температури;
 7 — виносний термоелектричний перетворювач температури; 8 — роз'єм РС

Рисунок К.1 — Схема пристрою РКТП

ДОДАТОК Л

(довідковий)

**ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНФОРМАЦІЙНО-
ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ МОДЕЛІ ІВП-1**

Пристрій моделі ІВП-1 призначено для використання як нестандартизованого робочого засобу для вибору та аналого-цифрового перетворення сигналів термоелектричних перетворювачів ПТП і (або) ПТ, розташованих на контрольованій поверхні ОК та передавання вимірювальної інформації на персональний комп'ютер для її оброблення за відповідними програмами з метою визначення термічного опору теплообміну між ОК і Д.

Структурну схему ІВП-1 наведено на рисунку Л.1.

Пристрій дає змогу підключити до 256 перетворювачів (ПТП і ПТ) через з'єднувачі X1...X16. З'єднувачі X1...X16 призначено для контролю сигналів ПТП і ПТ вольтметрами.

З'єднувач X17 кабелем з'єднується з портом COM1 ПЕОМ, чим через інтерфейс RS-232 забезпечується обмін інформацією між ПЕОМ і ІВК. Шнур живлення ІВП від мережі підключається до з'єднувача X18.

Кожний комутатор K1...K16, побудований на герконових реле типу РСС-64, має 16 диференцій-них входів, забезпечує послідовне підключення каналів до підсилювача за командами, які знаходяться з ПЕОМ через мікропроцесорний пристрій.

Після підсилення в ПС аналогові сигнали ПТП і ПТ надходять до аналого-цифрового перетворювача ЦАП, з якого в цифровій формі передаються в ПЕОМ.

Вторинне джерело живлення збудоване за трансформаторною схемою.

Діапазон значень вимірювальних вхідних напруг - ± 100 мВ.

Роздільна здатність - 1 мкВ.

Абсолютна похибка вимірювання сигналів перетворювачів - ± 5 мкВ.

Живлення від мережі напругою (220 ± 22) В і частотою (50 ± 1) Гц.

Споживана потужність - не більше 5 В·А.

Габаритні розміри - 440 х 220 х 470 мм.

Маса - не більше ніж 10 кг.

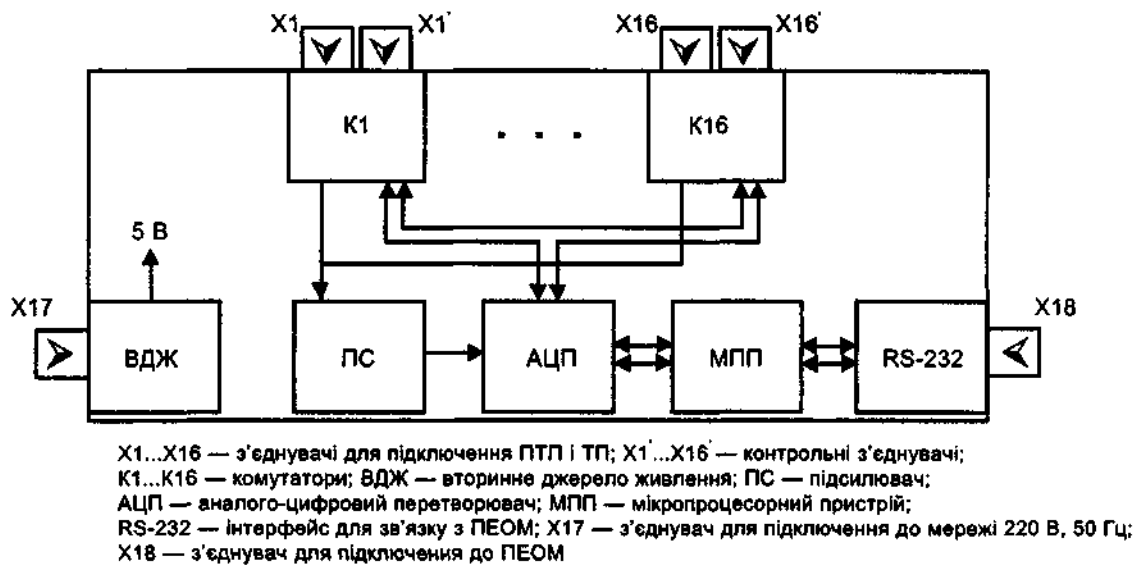


Рисунок Л.1 — Структурна схема пристрою ІВП-1

ДОДАТОК М

(довідковий)

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ДІЙСНОГО ЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ
ГУСТИНИ СУМАРНОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ

М.1 Приклад розрахунку наведено для випадку вимірювання на поверхні ОК усередині помешкання з застосуванням приладу моделі ИТП-22 (чи аналогічного до нього).

М.2 Об'єкт вимірювання - ОК: стіна, яку викладено з цегли, вкрито штукатуркою та шпалерами. Усередині помешкання немає додаткових ДТВ.

М.3 Вихідна інформація:

а) щодо застосовуваного ПТП:

- радіус $r_{\text{ПТП}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$;
- радіус чутливого елемента $r_{\text{ЧЕ}} = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$;
- термічний опір $R_{\text{ПТП}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;
- інтегральний напівсферичний ступінь чорноти поверхні ПТП $\epsilon_{\text{ПТП}} = 0,95$;

б) щодо ОК:

- вид контрольованої поверхні - стіна;
- ефективна теплопровідність ОК $\lambda_{\text{ОК}} = 0,75 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;
- інтегральний напівсферичний ступінь чорноти поверхні $\epsilon_{\text{ОК}} = 0,90$.

М.4 Результати вимірювання

М.4.1 Результати прямих вимірювань наведено в таблиці.

Номер виміру, i	1	2	3	4	5
Покази цифрового устрою приладу, $q_{\text{вим}, i}$, Вт/м ²	41,2	43,1	42,3	40,5	41,6

М.4.2 Результат обчислення за формулою (32): $q_{\text{вим}} = 41,7 \text{ Вт/м}^2$.

М.5 Розрахунок дійсного значення поверхневої густини сумарного теплового потоку $q_{\Sigma, \delta}$.

М.5.1 Визначають значення коригувальної поправки δ за алгоритмом, наведеним в А.4, підпунктах а), б), д), е) додатка А:

— обчислюють безрозмірний конструктивний параметр ПТП $\rho = r_{\text{че}}/r_{\text{ПТП}} = 0,7$;

— знаходять за графіком 2 рисунка А.3 значення $1/\alpha'_{\Sigma}$, відповідно:

$1/\alpha'_{\Sigma, \text{ОК}} = 0,110 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ за умови, що $\epsilon = \epsilon_{\text{ОК}}$ та $1/\alpha'_{\Sigma, \text{ПТП}} = 0,105 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ за умови, що $\epsilon = \epsilon_{\text{ПТП}}$;

— знаходять за графіком 2 рисунка А.3 два значення сумарного термічного опору між ОК і Д $1/\alpha'_{\Sigma}$ за умови, що $\epsilon = \epsilon_{\text{ОК}} = 0,90$ та $\epsilon = \epsilon_{\text{ПТП}} = 0,95$, відповідно, $1/\alpha'_{\Sigma, \text{ОК}} = 0,110 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ і $1/\alpha'_{\Sigma, \text{ПТП}} = 0,105 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ та відповідні їм значення термічного опору вільної поверхні ОК $R'_{\text{ОК}} = 1/\alpha'_{\Sigma, \text{ОК}} = 0,110 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ і термічного опору поверхні ОК у місці встановлення ПТП відповідно до формули (11):

$$R'_{\text{ОК, ПТП}} = 1/\alpha'_{\Sigma, \text{ПТП}} + R_{\text{ПТП}} = 0,105 + 0,002 = 0,107 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

— обчислюють відношення термічних опорів:

$$R'_{\text{ОК}}/R'_{\text{ОК, ПТП}} = 0,110/0,107 = 1,02;$$

— обчислюють за формулою (А.2) значення критерію Біо:

$$Bi_{\text{ОК}} = 0,02/(0,110 \cdot 0,75) = 0,24;$$

— знаходять за номограмою рисунка А.2 для обчислених значень $Bi_{\text{ОК}} = 0,24$, $\rho = 0,7$ та $R'_{\text{ОК}}/R'_{\text{ОК, ПТП}} = 1,02$ значення коригувальної поправки $\delta = + 0,015$.

М.5.2 Обчислюють за формулою (14) дійсне значення поверхневої густини сумарного теплового потоку:

$$q_{\Sigma, \delta} = 41,7 (1 + 0,015)^{-1} = 41,08 \text{ Вт/м}^2.$$

УДК 536.2:536.3:536.5:536.6:629.7:697.34 91.080

Ключові слова: огорожувальна конструкція, довкілля, теплообмін, конвекція, теплове випромінення, коефіцієнти теплообміну, тепловий потік, поверхнева густина теплового потоку, перетворювачі теплового потоку та температури.