МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ З КУРСУ „ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ І УСТАНОВКИ У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИРОБІВ І МАТЕРІАЛІВ”

для студентів
спеціальності 7.092104 «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

Київ 2010

УДК 621.1 (075.8)
ББК 31.3.+30.605
Т34

Укладачі: В.М. Кокшарьов, канд. техн. наук, доцент
В.В Павлюк, канд. техн. наук, доцент

Рецензент О.А. Волянський, канд. техн. наук, професор

Відповідальний за випуск В.І. Гоц, канд. техн. наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри технології виробництва бетонних і залізобетонних конструкцій, протокол № 7 *від 13 лютого 2009 р.*

Теплові процеси і установки у виробництві будівельних конструкцій виробів і матеріалів: Методичні вказівки до виконання контрольних робіт /Уклад.: В.М. Кокшарьов, В.В. Павлюк. - К.: КНУБА, 2009-25с.

Розглянуто розрахунки теплових процесів і окремих елементів теплотехнічного обладнання для виготовлення будівельних матеріалів і виробів.

Призначено для студентів спеціальності 7.092104 "Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів".

Загальні положення

Теплова обробка є найбільш енергоємним технологічним етапом виготовлення виключно усіх будівельних матеріалів і конструкцій, і тому практичні навички (вміння) розрахунку теплових процесів і теплотехнічного обладнання є необхідністю для кожного фахівця спеціальності 7.092.104.

Мета практичних занять - закріплення теоретичних знань у процесі індивідуальної роботи над розрахунками процесів теплообміну, окремих елементів теплових установок; здобуття навичок користування довідковими матеріалами, номограмами тощо.

Завдання вибирається студентом із таблиці варіантів, яка є в кожній вправі, згідно з його порядковим номером у списку групи. Відсутні дані студент самостійно вибирає з додатків 1-4, довідкової літератури, використовує підручники.

Вправа 1

Визначити розміри топки для згоряння різних видів палива, виходячи з таких даних:

Номер варіанта	Вид топки	Паливо	Витрати за умовним паливом, кг\год
1	Ланцюгова	АО	2600
2	Камерна	Мазут	3000
3	Шарова, ручна	АРШ	200
4	Ланцюгова	АН	3000
5	Шарова з закидувачем	АРШ	500
6	Ланцюгова	АРШ	3500
7	Циклонна	АО	1500
8	Ланцюгова	Буре вугілля	1800
9	Циклонна	Торф	2000
10	Шарова з закидувачем	АРШ	800

Послідовність виконання вправи: визначення теплової потужності

топки; визначення об'єму топкового простору; визначення висоти топкового простору і площі дзеркала горіння.

Для визначення розмірів топки необхідно визначити теплотворну здатність палива:

$$Q=Q_P B, \qquad (1)$$

де Q_p - теплотворна здатність палива; B ~ витрати палива.

Об'єм топкового простору, м^3:

$$V_T = 0{,}28 \cdot Q/(Q/V_T)н, \qquad (2)$$

$(Q / V_T)н$ - нормативна теплова напруга, кВт/м^3.

Основні нормативні показники наведені у дод. 1.

Висота топкового простору (середня):

$$H_{сер} = V_T/R_П \qquad (3)$$

Площа дзеркала горіння, м^2:

$$R=0{,}278 \cdot Q/(Q/R)H, \qquad (4)$$

де $(Q/R)н$ - нормативна теплова напруга, кВт/м^2.

Приклад розв'язування вправи 1.

Визначити розміри топки: V_T, $R_П$, $H_{мер}$.

Топка ланцюгова, паливо АРШ. Витрати за умовним паливом - 2000 кг/год.

За формулою (2)

$$V_r = 0{,}278 \cdot 10^{-3} \cdot 29300 \cdot 2000/290 = 56{,}3 \text{ м}^3.$$

Паливо	$Q_р$; кДж/кг
Антрацит	29 300
Буре вугілля	17 000
Мазут	41000
Торф	14 000

За формулою (4)

$$R_п = 0{,}278 \cdot 10^3 \cdot 29300 \cdot 2000/940 = 16{,}7 \text{ м}^2.$$

За формулою (3)

$$H_{мер} = 56{,}3/16{,}7 - 3{,}36 \text{м}.$$

Вправа 2

Визначити опір газового тракту виходячи з таких даних:

Номер варіанта	Довжина, м	Температура газів, °С	Швидкість газів, м\с	Поперечний переріз, мм	Місцевий опір прямих кутів
1	20	200	2,0	200х300	5
2	40	250	2,5	200х400	6
3	60	300	3,0	300х400	7
4	80	350	3,5	300х500	8
5	100	400	4,0	400х400	9
6	110	450	4,5	400х500	10
7	120	500	5,0	400х600	11
8	130	550	5,5	500х500	12
9	140	600	6,0	500х600	13
10	150	650	6,5	500х700	14

Розв'язання вправи передбачає визначення повного аеродинамічного опору теплової установки або її вентиляційних систем.

Склад роботи і послідовність виконання

1. Складання схеми повітропроводів і вентиляційних каналів.
2. Визначення опору ходу повітря і газів.

Для виконання роботи викреслюється схема газоходів і повітропроводів з зазначенням довжин і розмірів ділянок.

Опір руху повітря і газів складається із витрат на тертя і місцевого опору.

Витрати на тертя в прямих каналах $P_{тер}$ залежать від їх довжин і поперечного перерізу, динамічного тиску і дослідного коефіцієнта тертя, який залежить від жорсткості каналу й числа Рейнольдса, Н/м^2:

$$P_{тер} = \beta \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho_0 \cdot (1 + t_Г / 273) \cdot [(t_Г + 273)/(t_{СТ} + 273)]^{0,573} \qquad (5)$$

За відсутності теплового обміну на відрізку останній множник опускається. При русі у каналі некруглого перерізу замість діаметра ставиться еквівалентний діаметр:

$$d_e = 4f/П, \qquad (6)$$

де ·∫- площа перерізу, м; *П* - периметр каналу, м.

Для каналів прямокутного перерізу $d_e = 2ав/(а+в)$, число

Рейнольдса $R_e = \frac{\upsilon}{\gamma}$ де γ - коефіцієнт кінетичної в'язкості газів, м^2/с, який залежить від температури.

Втрати місцевих опорів, Н/м^2:

$$P_M = \xi \cdot v^2 / 2 \cdot \rho_0 \cdot (1 + t/273). \qquad (7)$$

Таблиця місцевих опорів наведена в [1, с. 54, рис. 9].

Самотяга є геометричним тиском вертикального або похилого відрізків газоходу. її розраховують за формулою, Н/м^2:

$$P_c = H \cdot (\rho_П / 1 + t_П / 273) - \rho_Г / (1 + e/273), \qquad (8)$$

де *Н*- висота ділянки, м; $\rho_П$ - густина повітря, кг/м^3; $t_П$ - температура повітря, °С.

Самотяга допомагає руху газів і перешкоджає йому, якщо газ проходить вниз вертикальною ділянкою.

Загальний опір руху газів теплової установки визначають як суму затрат місцевих і на тертя:

$$P_з = \sum P_{ТЕР} + \sum P_M + \sum P_C . \qquad (9)$$

Приклад розв'язання вправи 2.

Визначити опір прямокутного каналу l = 40 м перерізом 500х300 мм, якщо наведена швидкість руху газів *о = 2* м/с при *t* = 300 °С, кількість прямих кутів - 5.

За умовами прикладу $P_{сад}$=0. Затрати на тертя за довжиною газоходу визначають за формулою (5). Для цегляних каналів β= 0,05. Для металевих повітропроводів β = 0,045.Для повороту каналу під прямим кутом ξ = 1,2

Еквівалентний діаметр

$d_e = 2ab /(a + b) – 2 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}3/(0{,}5 + 0{,}3) = 0{,}376$ м.

Густина повітря ρ = 1,2 кг/м^3.

$P_{тер} = 0{,}05 \cdot 40/0{,}376 \cdot 4/2 \cdot 1{,}2 \cdot (1 + 300/273) = 26$ н/м^2.

Місцеві опори, Н/м^2:

$$P_M = \sum \xi \frac{v_0}{2} \cdot \rho_0 \cdot (1 + t_2/273) = 1{,}2 \cdot 5 \cdot 4/2\ (1 + 300/273) = 30{,}4 \text{ Н/м}^2$$

Загальний опір

$$P_{ЗАГ.} = \sum P_{ТЕР} + \sum P_M = 56{,}4 Н/м^2 .$$

Вправа 3

Визначити самотягу вертикального газоходу, якщо виходити із наведених у таблиці даних; побудувати графік змін самотяги залежно від температури.

Номер варіанта	Висота каналу, м	Температура газів,°С	Температура повітря ,°С		
1	10	100	-10	0	+10
2	20	150	-15	0	+15
3	ЗО	200	-20	0	+20
4	40	250	-25	0	+25
5	50	300	-30	0	+30
6	60	350	-25	0	+30
7	70	400	-20	0	+25
8	80	450	-15	0	+20
9	90	500	-10	0	+25
10	100	550	-15	0	+30

Приклад розв'язання вправи 3.

Визначити самотягу каналу висотою 50 м, якщо температура газів 500 °С, температура повітря 20 °С. Густина повітря і газів зведена до нормального стану, відповідно $\rho_{п.о}$=1,2 кг/м^3; $\rho_{г.о}$=1,3 кг/м^3

$P_c^{=} 50 \cdot 9{,}8 \cdot (1{,}2\backslash(1 + 20/273) - 1{,}3/(1 + 500\backslash 273) = 364$ Н/м^2.

Вправа 4

Визначити потужність вентилятора якщо виходити з таких даних:

Номер варіанта	Подача газуУ, м^3 /год	Тиск *Pi,* н/м^2	Концентрація твердих частинок, г/м	К.к.д. вентилятора	К.к.д. приводу
1	3500	50	-	0,4	0,95
2	4000	55	-	0,45	0,95
3	4500	60	-	0,5	0,95
4	5000	65	0,1	0,55	0,9
5	5500	70	0,15	0,6	0,9
6	6000	75	0,2	0,65	0,9
7	6500	80	0.25	0,6	0,9
8	7000	85	0,3	0,55	0,85
9	7500	90	0,35	0,50	0,85
10	8000	95	0,4	0,45	0,85

Добір вентиляторів

Потрібна потужність на валу вентилятора при характеристиці мережі ***V,*** м^3/год і ***P,*** Н\м^2:

$$N = V \cdot P/(1 + \mu)/3{,}6 \cdot 10^6 \cdot \eta_в \cdot \eta_{пр} \qquad (10)$$

де μ - концентрація твердих частинок; $\eta_в$ - к.к.д. вентилятора; $\eta_{пр}$ - к.к.д. привода.

Приклад розв'язання вправи 4.

Визначити параметри роботи вентилятора і потрібну потужність його привода, якщо частота обертів змінилася від 720 до 1000 об/хв. Подача газу вентилятором спочатку складала 8000 м^3/год; тиск, що розвивав вентилятор - 80 кН/м^2; μ = 1; ККД вентилятора - 0,6.

$V_2 = V_1\, n^2\, n^1\, (D_2/D_1)^3 = 8000\ 1000/720\ (500/500)^3 = 11100$м^3/год;

$P_2 = P_1\, (n_г/n_1)^2 \cdot (D_2/D_1)^3 = 80\ (1000/720)^2\ (500/500)^3 = 154$кн/м^2;

$N = 11100 \cdot 154(1+1)/3{,}6 \cdot 10^6 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}95 = 1{,}6$кВт.

Вправа 5

Визначити потік теплоти випромінювання від газів, якщо виходити з таких даних:

Номер варіанта	Температура, К		Об'ємні частини, %		Розміри робочого простору, м
	газів $T_г$	стінки, $T_{ст}$	CO_2	H_2O	
1	800	473	10	8	3x3x4
2	900	573	12	10	4x4x5
3	1000	673	14	12	5x5x6
4	1100	773	15	10	6x6x7
5	1200	873	8	10	7x7x8
6	1250	973	10	12	8x8x9
7	1300	1073	12	14	9x9x10
8	1350	1173	10	15	10x10x11
9	1400	1273	15	15	11x11x12
10	1450	1373	10	10	12x12x13

Потік теплоти випромінюванням розраховують при обробці виробів димовими газами і при прогріванні інфрачервоним випромінюванням. Тепловий потік від димових газів, Вт/м :

$$g = C_0 \cdot \varepsilon_{CT} \cdot \left[\varepsilon_{\Gamma} (T_{\Gamma}/100)^4 - A_M \left(\frac{T_{CT}}{100} \right)^4 \right], \qquad (11)$$

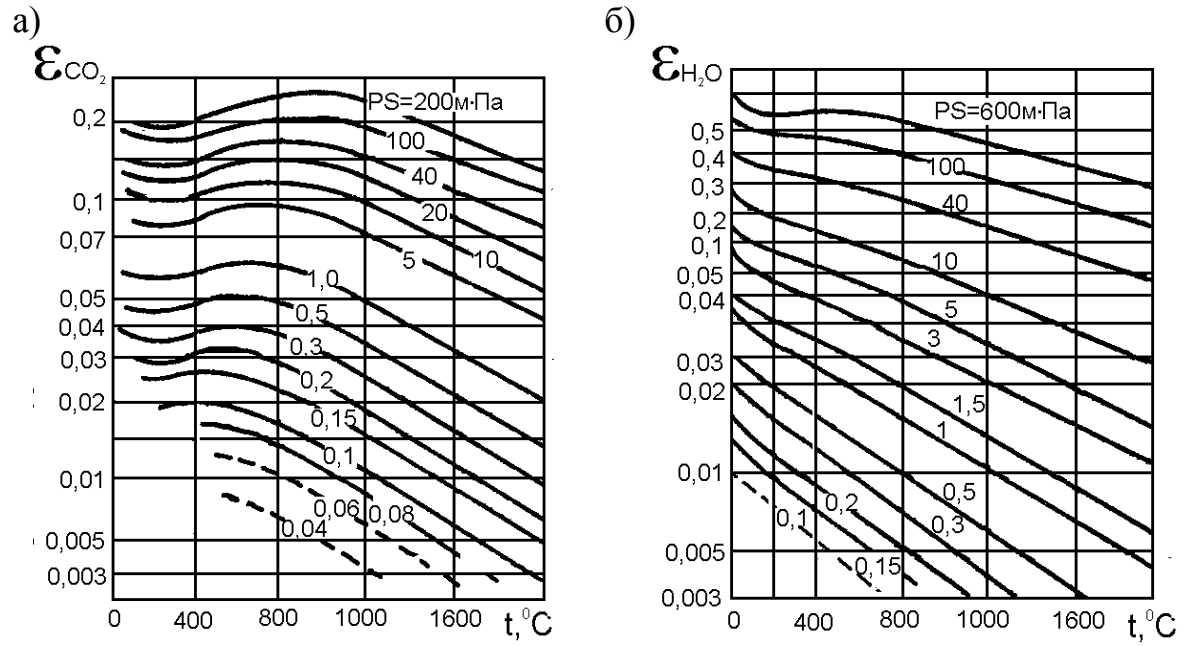


Рис. 1 Графіки для визначення ступеню чорноти CO_2 (а) та водяної пари (б)

де C_o - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, C_o= 5,7 Вт/(м^2 К^4); ε_{CT}= 0,8.. .0,9 - ступінь чорноти повного нормального випромінювання матеріалів кладки печі; $\varepsilon_г = \varepsilon co_2 + \beta \varepsilon н_2 о$ — ступінь чорноти димових газів; εco_2 - ступінь чорноти вуглекислоти [рис. 1а] обчислюють залежно від температури газу і добутку парціального тиску вуглекислоти P_{CO_3} і ефективної товщини газового шару, м:

$$S = 3{,}6 \cdot V/F,$$

де V — об'єм, заповнений випромінюючим газом, м^3 ; F — площа стін, що обмежують цей об'єм, м^2 ; $\varepsilon н_2 о$- ступінь чорноти водяної пари, обчислюють за рис. 1б аналогічно εco_2; (ступінь чорноти різних матеріалів наведено в додатку 2) β - поправочний коефіцієнт на парціальний тиск $P_{н_2 о}$, що залежить від $P_{н_2 о}$ і S; β = 1... 1,15 і тим більше, чим більше $P_{н_2 о}$ і менше S, в середньому -1,1; $T_Г$, T_{CT} — абсолютна температура газів і стінки, К;

$A_Г$ — поглинаюча властивість газів, яка залежить від температури стінки:

$$A_Г = \varepsilon_{co_2} \cdot (T_Г / T_{CT})^{0,65} + \beta\varepsilon_{H_2O}. \qquad (12)$$

Приклад розв'язання вправи 5.

Визначити потік теплоти випромінюванням від газів до стінки, якщо температура газів 1000 °С, температура стінки 900 °С, об'ємні частки: CO_2 - 12 %, H_2O - 10 %. Розміри робочого простору 0,2х2х0,3 м. Парціальні тиски P_{CO_2} і P_{H_2O} різнозначні їх об'ємному вмісту в димових газах, тобто P_{CO_2}= 0,12 і P_{H_2O} =0,1 атм. або відповідно 12 і 10 кН/м^2.

Ефективна товщина газового шару

$$S = 3,6 \cdot 0,2 \cdot 2\ 0,3/2 \cdot [(0,2\ 2 + 0,3\ 2 + 0,3 \cdot 0,2)] = 0,2 \text{ м}.$$

Добуток $P_{C02} \cdot S$ = 12 -0,2 ·2,4 кН/м^2; $P_{H2O} \cdot S = 10 \cdot 0,2 \cdot 2$кН/м^2. Значення ε_{C02}, ε_{C20} визначаємо за рис. 1 а, б при температурі 1000 °С відповідно 0,062 і 0,032; при 900 °С - 0,067 і 0,037.

Поправка β обох випадках 1,08:

$$\varepsilon_г = 0,062 + 1,08 - 0,032 = 0,097;$$

$$A_Г = 0,067 \cdot (1273/1173)^{0,65} + 1,08\ 0,035 = 0.11:$$

$$g = 5,7 \cdot 0,9 \cdot [0,097 \cdot (1273/100)^4 - 0,11 \cdot (1173/100)^4].$$

Вправа 6

Визначити температуру центру бетонного виробу, якщо початкова температура t=10 °С, температура гріючого середовища 100 °С, виходячи з таких даних:

Номер варіанта	Час прогрівання, год	Розрахункова товщина R, м	Коефіцієнт тепловіддачі Вт/(м^{2}К)	Характеристика матеріалу		
				середня густина p, Кг/м^3	коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м К)	питома теплоємності С, кДж/(кгК)
1	0,5	0,05	100	2400	1,56	0,84
2	1,0	од	50	2400	1,56	0,84
3	1,5	0,15	100	2000	1,28	0,89
4	2,0	0,2	50	2000	1,28	0,89
5	2,5	0,25	100	2000	1,28	0,89
6	3,0	0,3	150	1600	0,5	0,88

7	3,5	0,45	150	1600	0,5	0,98
8	4,0	0,4	100	1600	0,5	0,98
9	4,5	0,45	150	2400	0,56	0,84
10	5,0	0,5	150	2400	0,56	0,84

Прогрівання і охолодження бетону відбувається за рахунок теплообміну теплопровідністю. Для визначення необхідного терміну нагрівання використовують рівняння нестаціонарної теплопровідності.

При розрахунках температури матеріалу в точці з координатою х при його нагріванні і охолодженні використовують критеріальні залежності:

$$\theta = (t_c - t_x)/(t_c - t_п) = \int\cdot(Fo, Bi, x/R), \qquad (13)$$

де θ - безрозмірна температура; t_c, t_n - температура відповідно середовища і початкова температура тіла; Fo - критерій Фур'є; α - коефіцієнт температуропроводності, що характеризує швидкість нагрівання матеріалу за однакових умов, м ^{2}/год:

$$\alpha = 3{,}6\frac{\lambda}{c\rho}; \qquad (14)$$

де Ві — критерій Біо, який зв'язує зовнішні умови теплообміну з теплопровідністю матеріалу і його характерним для теплообміну розміром. Теплофізичні характеристики різних матеріалів наведено в додатку 3.

Приклад розв'язання вправи 6.

Найти температуру центра і поверхні виробу, якщо час нагрівання виробу 3 год, розрахункова товщина його *2R*=0,3 м, початкова температура виробу $t_П$ =20 °С, температура гріючого середовища t_c=100°С, а коефіцієнт його тепловіддачі α=11,6 Вт/(м^2 ·К), коефіцієнт теплопровідності матеріалу λ=1,3 Вт/(м·К); питома теплоємність - *С* =1,04 кДж/(кг·К); густина - ρ=2200 кг/м^3.

Обчислимо коефіцієнт температуропроводності:

$$\alpha = 3{,}6\frac{1{,}3}{1{,}04\cdot 2200} = 0{,}002 м/год$$

Визначимо критерій Біо:

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda} = \frac{11{,}6\cdot 0{,}15}{1{,}3} = 0{,}65$$

Визначимо критерій Фур'є

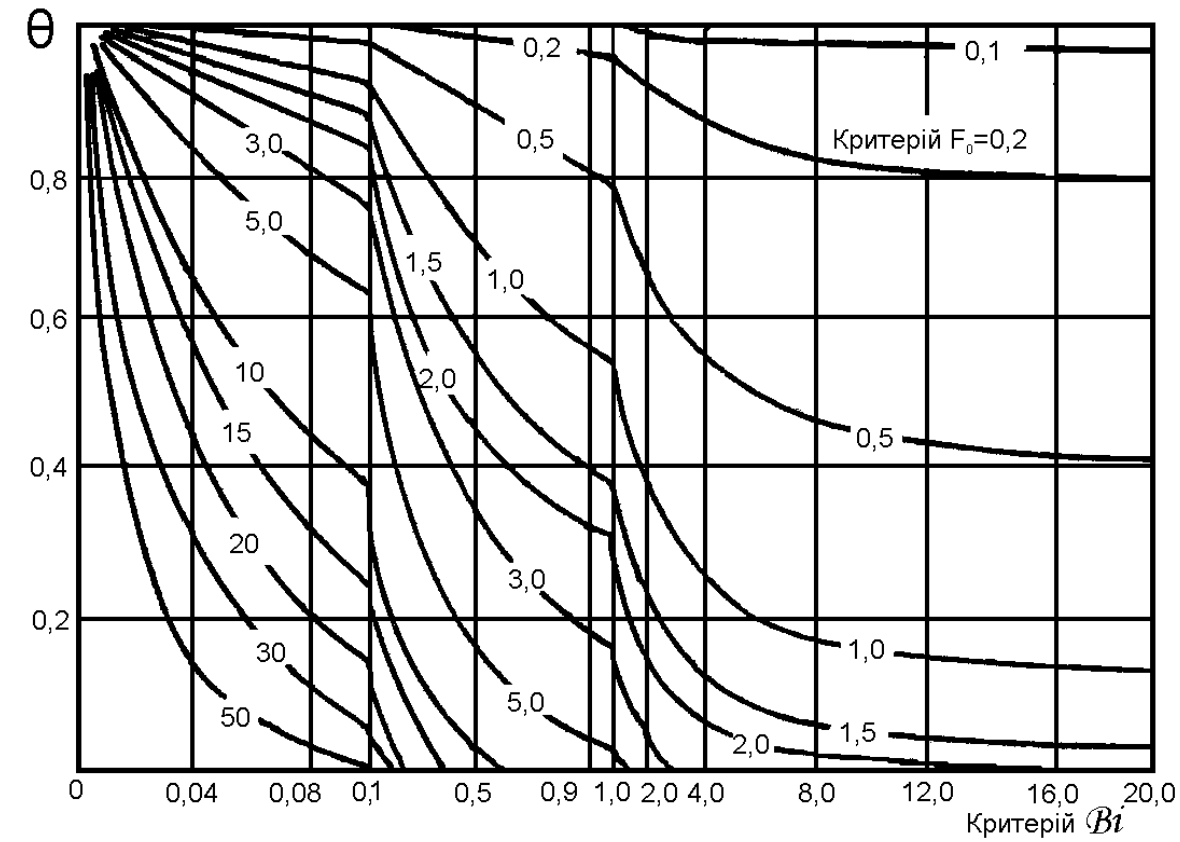
$$F_o = \frac{\alpha\tau}{\lambda} = \frac{0{,}002\times 3}{0{,}15} = 1{,}05$$

За графіком (рис. 2 а) за критерієм Ві знаходимо безрозмірну температуру θ_n для центра виробу, яка дорівнює 0,61 і шукану:

$$\theta_Ц = \frac{100 - tЦ}{100 - 20} = 0{,}61;$$

$t_Ц$=100-0,61(100-20)051,2 С

а)



б)

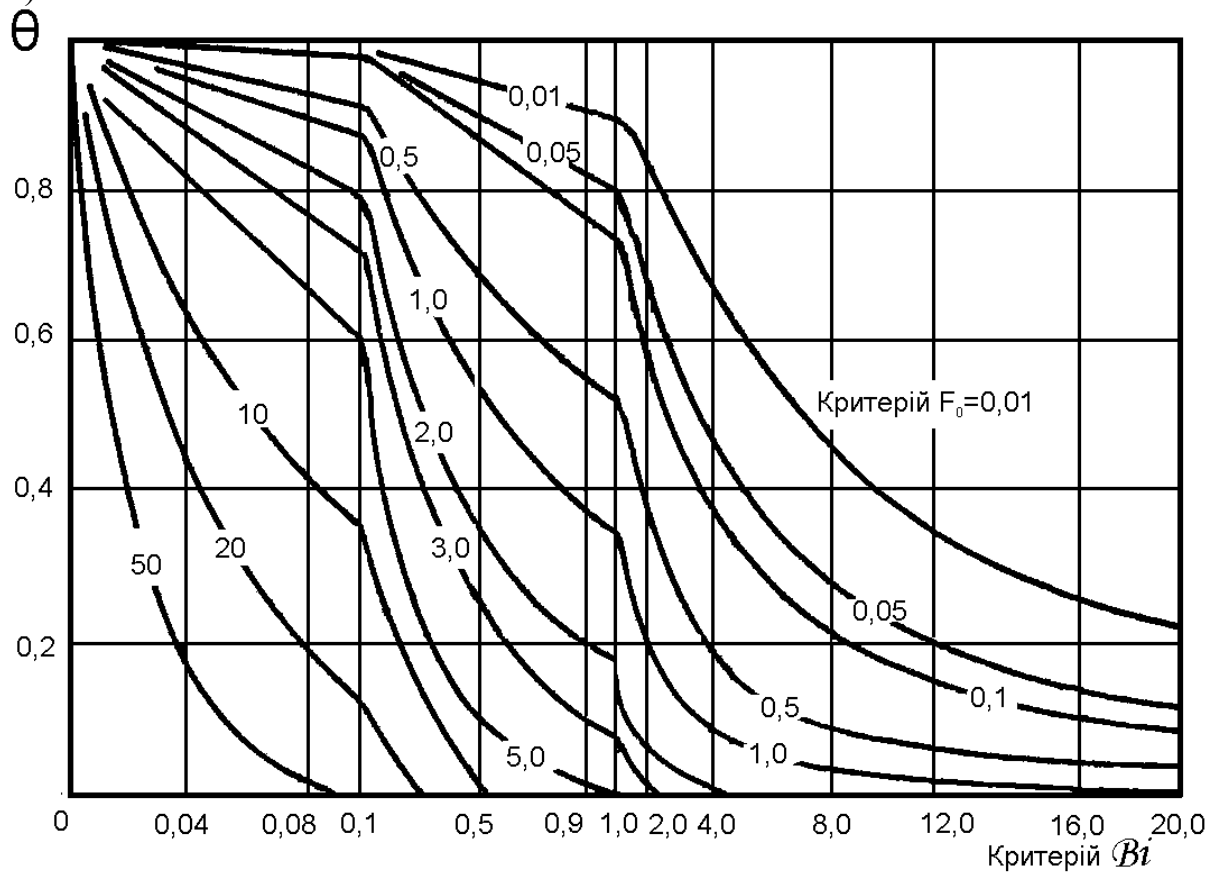


Рис. 2 Графіки для визначення температури центру (а) та на поверхні (б) пластини

Аналогічно за графіком (рис. 2б) знаходимо за B_i і F_0 безрозмірну температуру для поверхні виробу $\theta_П$, яка дорівнює 0,41.

Тоді шукана температура на поверхні виробу $t_п$ складає

$$\frac{100-tn}{100-20}=0,46; tn=100-0,46\cdot(100-20)=63,2^oC$$

Вправа 7

Обчислити втрати теплоти через огородження теплової установки, якщо виходити з таких даних:

№ варіанта	Матеріал стін	λ_1, Вт/м^2·°К	α_1, Вт/м^2	α_2, Вт/м^2·°К	$t_В$, °С	$t_{нс}$ °С	δ, мм
1	Залізобетон	1,57	50	4,5	55	25	400
2	Шлакобетон	0,53	60	5,0	60	24	400
3	Цегла	0,82	70	5,5	65	23	400
4	Керамзито-бетон	0,41	80	6,0	70	22	400
5	Залізобетон	1,55	90	6,5	75	21	300
6	Шлакобетон	0,59	100	7,0	80	20	300
7	Керамзито-бетон	0,72	105	7,5	85	19	300
8	Залізобетон	1,50	ПО	8,0	90	18	250
9	Шлакобетон	0,50	115	8,5	95	17	250
10	Залізобетон	1,45	120	9,0	100	16	100

Втрати теплоти через огородження постійно діючих установок обчислюють за формулою, Вт/м^2:

$$Q_{нс}=3,6к(t_B - t_{HC}), \qquad (15)$$

де t_B, t_{HC} - температура відповідно в середині робочого простору установки та у навколишньому середовищі, °С.

Коефіцієнт теплопередачі

$$K=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\sum\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_2}} \qquad (16)$$

де α_1, α_2 - коефіцієнти тепловіддачі відповідно на внутрішній і зовнішній поверхні стін, Вт/(м^2 К); $\frac{\delta}{\lambda}$ - термічний опір стінки, м^2 К/Вт; λ - коефіцієнт теплопровідності кожного шару, Вт/мК.

Приклад розв'язання вправи 7.

Теплова установка огороджена збірним залізобетоном товщиною 400 мм. Теплопровідність матеріалу стін λ = 1,57 Вт/м К. Коефіцієнт тепловіддачі від середовища до стін α_1 = 40,6 Вт/м^2 К. Коефіцієнт тепловіддачі у навколишнє середовище $\alpha_2^=$ 5,8 Вт/м^2 К.

Температура в середині установки - 80 °С, поверхнева температура - 20 °С.

Визначимо тепловий потік через огородження установки, використавши формулу (16):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{40,6} + \frac{1}{1,57} + \frac{1}{5,8}} = 2,16 Вт / м^2 К$$

За формулою (15):

$Q_{нс}$=3,6х2,16х(353-293) = 468Вт/м^2.

Вправа 8

Обчистили теплоту екзотермії, яка виділяється при тепловій обробці виробів із бетону, що має жорсткість 60 с. Вихідні дані такі:

№ варіанта	Бетон	Товщина виробу, мм	Температура ізотермічної витримки, °С
1	Бетон важкий на ПЦ М400	80	80
2	Бетон важкий на ПЦ М400	140	80
3	Бетон важкий на ПЦ М400	220	80
4	Бетон важкий на ПЦ М400	400	80
5	Керамзитобетон-1000 кг\м^3 ПЦМ400	140	80
6	Керамзитобетон-1400 кг/м^3 ПЦ М400	280	95
7	Керамзитобетон-1400 кг/м^3 ПЦМ400	140	95
8	Керамзитобетон-1400 кг/м^3 ПЦ М400	280	95
9	Шлакобетон-1200 кг/м^3 ПЦМ400	140	95
10	Керамзитобетон-1200 кг/м^3 ПЦМ400	280	95

Кількість теплоти, яка виділяється у бетоні при його тепловій обробці, залежить від активності цементу, водоцементного відношення, середньої температури бетону і тривалості прогрівання:

$$q_{екз} = \frac{\theta Ma}{162 + 0{,}95 \cdot \theta} \cdot \sqrt{B/Ц}, \qquad (17)$$

де

$$\theta = 0{,}5(t_1 + t_2)\tau_1 + t_2\tau_2 + 0{,}5(t_2 + t_3)\tau_3 \qquad (18)$$

a = 0,32+0,0020 - якщо θ < 290 °С-год, $\boldsymbol{Q}$ = 0,84+0,002θ - якщо θ > 290 °С-год.

Приклад виконання вправи 8.

Визначимо теплоту екзотермії цементу у виробі товщиною 100 мм. Жорсткість суміші - 60 с, водоцементне відношення - 0,45, цемент М400; початкова температура t = 20 °С, t_2 = 80 °С, t_3 = 40 °С. За дод. 4 визначимо режим теплової обробки: 2,5 +6+1,5 при товщині до 100 мм.

$$\theta = 0{,}5(80+20)\cdot 2{,}5+80\cdot 6+0{,}5(80+40)\cdot 1{,}5 = 695 \text{ С}\cdot\text{год}$$

$$a=0{,}84+0{,}002\cdot 695 = 2{,}23$$

$$q_{екз} = \frac{695 \cdot 400 \cdot 2{,}23}{162 + 0{,}95 \cdot 695} \cdot \sqrt{0{,}45} = 505{,}8 \quad кДж/кг$$

Вправа 9

Дібрати оптимальні розміри пропарювальної камери і розрахувати необхідну кількість камер, якщо виходити з таких даних:

Номер варіанта	Тип виробу	Розміри виробу, мм	Час підігрівання, год.	Річний обсяг виробництва, **м^3**
1	ПНС16 1,5	5970*1490 (h)	12	40 000
2	ПНС12 3	11970*1785 (h)	14	70 000
3	ПКЖН-1	11960*2980 (h)	14	60 000
4	ПК59-12	5860*1200 (h)	12	80 000
5	КЖС-Прі	5970*1490 (h)	12	70 000
6	ПКЖН-1	5970*1490 (h)	14	50 000
7	ПКЖН-1	11960*2980(h)	12	90 000
8	ПНС-1	5970*490 (h)	14	40 000
9	ПНС12-3	11970*1785 (h)	14	45 000
10	ПТК59- 12	5860*1200 (h)	12	70 000

Для розрахунку ямної пропарювальної камери викреслюється ескіз укладання виробів в установці з додержуванням необхідних розмірів і

проміжків.

Обсяг виробництва установки теплової обробки циклічної дії залежить від розміру камери, кількості завантажених виробів у камеру, тривалості оберту камер. Тривалість обробки в ямній камері $\tau_к$ визначаємо залежно від типу камери, виду бетону та товщини виробу згідно з додатком 4.

:

Приклад розв 'язання вправи 9

Річний обсяг виробництва цеху 70000 м^3 панелей, об'єм однієї панелі -1,5 м^3, у камеру укладається 12 виробів.

Визначимо необхідну кількість камер, якщо виходити з того, що цикл вивантаження-завантаження 2,5 год, а час прогрівання - 14 год.

1. Визначаємо річне число обертів камери за рік:

$$m_{річ} = \frac{\tau \cdot Кв}{\tau_к} = \frac{4008}{16{,}5} = 243,$$

де τ - кількість годин роботи протягом року при двозмінній роботі; $\tau_к$ - середня тривалість оберту камери, 16,5 год.; Кв = 0,942; $\tau_{річ}$ = 16,24 262 0,942 = 4008 год.

2. Обчислимо об'єм виробів які пройшли теплову обробку за один оберт:

$$V_б = \frac{P_{річ}}{m_{річ}} = \frac{70.000}{243} = 288 м^3.$$

3. Розраховуємо необхідну кількість установок:

$$n_k = \frac{V_б}{V_{в \times п}} = \frac{288}{1{,}5 \times 12} = 16 уст.$$

Вправа 10

Розрахунок витрат теплоти на прогрів заповнювачів для бетону; на опалення, вентиляцію та побутові потреби цеху ЗБК. Витрата теплоти на прогрів заповнювачів.

1. Нагрів сухої частини заповнювача

$$Q_c = 0{,}88\rho_Н(t_2 - t_1)V \qquad (19)$$

де $\rho_н$ - насипна щільність заповнювача, кг/м ; V - об'єм заповнювача, м^3.

2. Розморожування та нагрів води в заповнювачі

$$Q_р = 0{,}01\omega\ p_н\ V(-2{,}1t_1 + 335 + 4{,}2t_2), \qquad (20)$$

де ω - вологість заповнювача, %; t_1 t_2 - початкова і кінцева температура, °С.

Приклад розв'язання вправи 10.

Визначити витрату теплоти на розморожування і нагрів заповнювача від мінус 20 °С до 30 °С 1 м^3 щебеню, який має насипну щільність 1800 кг/м^3 та вологість 3,6 %

$$Q_c = 0{,}88\ 1800\ (30 - (-20)) = 79000 \text{ кДж/м}^3$$

$$Q_P = 0{,}01\ 3{,}6\ 1800\ (-2{,}1\ (-20) + 335 + 4{,}2\ 30) = 32595 \text{ кДж/м}^3$$

$$\sum Q = 111595 \text{кДж/м}^3$$

Завдання

Об'єм заповнювача прийняти згідно з номером варіанта (м^3); його вологість прийняти як 0,5 номера варіанта (%).

Список літератури

1. Кокшарьов В.М., Кучеренко О.О. Теплові установки: Підручник. - К.: Вища шк., 1990. - 335 с.

2. Кучеренко О.О. Теплові установки заводів збірного залізобетону. - К.: Вища шк., 1977. - 280 с.

3. ДБН А.3.1 8 – 96 Проектування підприємств з виробництва залізобетонних виробів.

4. ДБН Г.1 6-96 Тимчасові норми витрат теплової енергії по виробництву ЗБВ.

Додаток 1

Основні нормативні показники топкових пристроїв

Вид топки і палива	α	Q/R,кВт/м^2	Q/V_T, кВт/м^3	$q_x + q_л$, %

Шарова з закидувачем для АРШ	1,6	1050	290	0,5+18
Ланцюгова для АРШ	1,5	940	290	0+14
Ланцюгова для АС іАМ	1,3	1160	350	0+7
Шахтно-ланцюгова для торфу	1,3	2220	290	1+2
Камерна для мазуту	1,15	4000	250	1
Циклонна	1,1	11600-3500 15000 - за перерізом 5800		

Додаток 2

Матеріали	Т, °С	ε
Алюміній шорсткуватий	25	0,056
Папір тонкий	20...200	0,9... 0,95
Гіпс	20...100	0,9
Дерево	20	0,9
Цегла вогнестійка	20...70	0,8...0,9
Фарби масляні	1000	0,75... 0,85
Сталь окислена:	20...100	0,8...0,95
гладка	25...525	0,78.-0,95
оцинкована	25	0,25...0,30
Штукатурка вапняна	20... 100	0,9

Додаток 3

Теплофізичні характеристики матеріалів

Матеріал	Темпера тура t	кг/м^{3}Середня щільність,	Вт/(мК)Коефіцієнт теплопровідності λ,	К)Теплоємність С кДж/	м^2/сКоефіцієнт темпе- раттуропроводності,
Залізобетон	20	2500	1,63	0,84	27,9
Те саме	20	2400	1,56	0,84	22,95
Те саме	60	2200	1,55	0,84	30,2
Бетон з гранітним щебенем або гравієм	20	2400	1,45	0,84	25,84
Бетон з цегельним щебенем	20	1900	1,16	0,84	26,2
Великопустотний безцементний бетон	20	1900	0,99	0,84	22,3
Те саме	20	1600	0,76	0,80	21,4
Бетон ґрунтоцементний	20	2000	0,885	0,91	17,6
Шлакобетон	20	1860	0,82	0,83	19,2
Те саме	0	1500	0,70	0,80	30,9
Те саме	0	1200	0,57	0,75	20,8
Золобетон	20	1640	0,506	0,98	11,34
Керамзитобетон	20	1500	0,524	0,84	15,0
Те саме	20	1250	0,396	0,95	12,0
Те саме	20	1200	0,314	0,82	11,5
Те саме	20	950	0,23	0,77	11,3
Те саме	20	900	0,214	0,83	9,6
Керамзитобетон на портландцементі	20	1700	0,41	0,56	15,4
Те саме	20	1300	0,256	0,58	12,4
Те саме	20	900	0,22	0,78	11,2
Силікатний бетон на керамзиті	20	1850	0,63	0,84	14,7

Додаток 4

Норми технологічного проектування підприємств збірного залізобетону

Розрахункові режими теплової обробки виробів із важких бетонів тунельних камер під укриттям для досягнення бетоном відпускної

міцності.

Таблиця 4.1

Товщина виробу з бетону, мм	Запроектована марка бетону	Режим теплової обробки в паровому середовищі при температурі ізотермічного нагрівання 80... 90 °С, год
До 200	200 і менше 300...400 500... 600	3,5+7+2 3+6+2 3+5+2
200... 400	200 і менше 900...400 500...600	3,5+9+2,5 3+7,5+2,5 3+6+2,5
Понад 400	200 і менше 900...400 500... 600	3,5+9,5+3 3+8+3 3+6,5+3

Розрахункові режими теплової обробки виробів з легких бетонів для досягнення бетоном відпускної міцності.

Таблиця 4.2

Вид легкого бетону	Щільність від формова-ного бетону, кг\м^3	Марка бетону	Товщина бетону у виробах, мм	Режим при температурі ізотермічного прогрівання 90...95°С, год
Керамзитобетон	800... 1200	до 100	до 200	2+5+1
Термозитобетон			200 і більше	2+7+1
Аглопорито-бетон	1200... 1800	понад 100	до 200	2+7+1
Шлакобетон			200 і більше	2+8+2
Перлітобетон	600... 800 800... 1200	до 50 понад 50	до 200 200 і більше 80...200 200 і більше	2+4+1 2+5+1 2+5+1
Легкий бетон поризований піною	800...1300	до 100	до 200 200 і більше	3+5+5 3+6+3

Примітка І. Цикл першої обробки легких бетонів ідентичний для усіх видів

Продовження дод. 4

теплоносія і типів агрегатів теплової обробки.

Примітка 2. При поризації бетону газом тривалість нагрівання скорочується на 1 год.

Таблиця 4.3

Товщина бетону у виробах, мм	Запроектована марка бетону	Режим нагрівання при 85...95 °С, год
до 100 101... 200	150 150	1+4+5 1+5+6
до 100 101... 200	200 200	1+3,5+4,5 1+4+5
до 100 101... 200	300 300	1+3+4 1+3,5

Примітка 1. Режим підігрівання складається із підйому температури у тепловому відсіку + ізотермічна витримка з подачею пари у відсік + витримка без подання у відсік.

Примітка 2. При підігріванні виробів з двох боків загальний цикл теплової обробки зменшується на 1 год.

Таблиця 4.4

Розрахункові режими теплової обробки наперед напружених конструкцій з важких бетонів при виготовленні на стендах для досягнення бетоном відпускної міцності

Режим теплової обробки	Час, год
Підйом температури до 80 °С	1
Ізотермічне витримування при 80 °С	7
Охолодження	1

Режим теплової обробки при виготовленні виробів у приміщеннях або на полігонах при температурі навколишнього повітря 10 °С.

Продовження дод. 4

Таблиця 4.5

Режим двостадійної теплової обробки виробів із бетонів для досягнення бетоном відпускної міцності

Вид технології	Товщина виробів, мм	Марка бетону	Розрахунковий режим, год	
			перша стадія тривалості витримки при температурі 80 °С	друга стадія тривалості витримки при температурі 60...80 °С до досягнення бетоном розпалубочної міцності
Агрегатно-поточна Конвеєрна Стендова	до 250 200... 400 до 100 101—200 101...200	до 200 понад 200 до 200 понад 200 150 200 150 200	3,5+3+0,5 3+3,5+0,5 3,5+5+0,5 3+4+0,5 1 +2,5 +1,5 1+4+1,5 1+4+1,5 1+3+1,5	6 6 6 5 6 5 6 5

Примітка І. Перша і друга стадії теплової обробки можуть проводитися в агрегатах будь-яких типів.

Пргшітка 2. Час між першою і другою стадіями теплової обробки не повинен бути більшим за 2 год. Витримка виробів при температурі зовнішнього повітря нижче від 0 °С, після закінчення теплової обробки в тепловому приміщенні або у спеціальних установках - за температури не нижче від 10 °С.

Таблиця 4.6

Вид бетону	Товщина виробу, мм	Тривалість витримки, год.
Важкий	до 200 понад 200	6 8
Легкий або комбінований	до 200 понад200	8 12

Продовження дод. 4

Таблиця 4.7

Режим теплової обробки виробів при атмосферному тиску

Вид бетону	Жорсткість, с	Час роботи по періодам при ізотермічній витримці, год.		
		60 °С	80 °С	95…100 °С
Важкі бетонні вироби	30…60	2+4+1,5	2,5+6+1,5	3+3+2
На портламендцементі товщиною, мм				
до100	30…60	2+9+1,5	2,5+5+1,5	3+2+2
100…200	30…60	2+14+1,5	3,5+10+2,5	3,5+3+2,5
	80…100	2+9+1,5	2,2+5,2	3,5+2+2,5
200…400	30…60	3+14+2	3,5+6+2,5	4+3+3
	80…100	3+9+2	3,5+5+2,5	4+2+2
> 400	30…60	3+14+2,5	4+6+3	4,5+3+3,5
	80…100	3+9+2,5	4+5+3	4,5+2+3,5
Керамзитобетон щільністю 800… 1260 кг/м^3				
товщиною менше від 200	30…60		5+6+2	3,5+3+3,5
200 мм і більше	30…60		4+6+2,5	4,5+3+3,5
Керамзитобетон щільністю 1200… 1800 кг/м^3				
товщиною менше від 200	30…60		2,5+8+1,5	3+4+2
200 мм і більше	30…60		3,5+8+2	4+4+3

Режим теплової обробки

Призначення попереднього витримування - досягнення бетоном визначеної початкової міцності, необхідної для прийняття ним дії температури без порушення його структури. Чим вищі марка цементу, температура навколишнього середовища і нижче водоцементне відношення, тим коротший час попереднього витримування. Дозволена швидкість підвищення температури середовища у камері залежить від початкової міцності бетону.

Продовження дод. 4

Початкова міцність бетону при стиску, кг/см^2	Швидкість підвищення температури середовища у камері, °С / год.
2...3	10
З...3,5	20
4…5	30
5…6	40
7…6	60

Примітка. Підвищення температури середовища у камері зі швидкістю понад 60 °С/год. не залежить від початкової міцності бетону і не рекомендується через те, що можливі температурні градієнти по перерізу виробу. Бетони з підвищеними вимогами повинні пропарюватися по м'якому режиму за температури не більшої від 80 °С і швидкості 10...15 °С/год., з регульованим охолодженням. При вивантаженні виробів перепад температури між бетоном і навколишнім середовищем не повинен перевищувати 40 °С. Період підвищення температур середовища у камері особливо важливий при пропарюванні розпалублених виробів і виробів у формах з великою площею відкритої поверхні, що не мають достатнього витримування. За таких умов підвищення температури середовища у камері незалежно від товщини виробу доцільно виконувати у прогресивно-зростаючому темпі: в першу годину 10 °С/год. , у другому - 15...20 °С/год, далі 20...30 °С/ год.

При ручному регулюванні подання пари рекомендується застосовувати режим зі ступінчатим підвищенням температури, за 1,5 год підвищенням температурі до 35…40 °С, витримування при цій температурі протягом 1… 1,5 год, а далі інтенсивне підвищення температури до максимально прийнятої за 1 год.

При застосуванні бетонної суміші високої пластичності (понад 7 см) тривалість прогрівання повинна збільшитись на 20…30 %, а при застосуванні жорстких бетонних сумішей (менше 6 см) – скорочена на 15-20 %. Оптимальна температура ізотермічного витримування при застосуванні шлакопортландцементів і пуцоланових портландцементів оптимальною температурою прогрівання може бути температура 90…95 °С.

Температура середовища у камері після ізотермічного прогрівання повинна знижуватись у такий спосіб, щоб перепад температур поверхні виробу і зовнішнього повітря не перевищував 40 °С.

Навчально−методичне видання

ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ І УСТАНОВКИ У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИРОБІВ І МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки

До виконання контрольних робіт для студентів спеціальності 7.092104 «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

Укладачі **КОКШАРЬОВ** Валерій Миколайович
ПАВЛЮК Віталій Володимирович