

Висновок

Як видно з викладеного, штучні шкіри являють собою складні багатокомпонентні композиційні матеріали різноманітного призначення й сполуки. Тому не дивно, що створення наукових основ їхнього одержання й формування виробів з них ґрунтується на фундаментальних досягненнях фізики, хімії й фізичній хімії полімерів. Сьогодні ця область полімерної науки й технології продовжує активно розвиватися. Отримані в цей час результати дозволили фактично вирішити завдання заміни натуральних шкір їхніми штучними аналогами, які при правильному підборі пакету матеріалів та регламентуванні умов експлуатації, не поступаються першим. Для повноцінної заміни натуральних матеріалів слід вирішити окремі завдання покращення гігієнічних властивостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Берлин А.А. Современные полимерные композиционные материалы (ПМК). Соросовский Образовательный Журнал. 1995. № 1. С. 57-65.
2. Гальбрайт Л.С. Химические волокна // Там же. 1996. № 3. С. 42-48.
3. Андрианова Г.П., Полякова К.А., Фильчиков А.С., Матвеев Ю.С. Химия и технология полимерных пленочных материалов и искусственных кож. 2-е изд. М.: Легпромбытиздат, 1990. Т. 1. 304 с.; Т. 2. 384 с.
4. Справочник по искусственным кожа́м и пленочным материалам. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. 342 с.
5. Андрианова Г.П. Искусственные кожи - типы, строение, свойства и применение 1999, Журнал. ХІМІЯ
6. Вивчення можливості використання порошкоподібного природного мінералу цеоліту для наповнення картонів з метою поліпшення їх властивостей. Фордзюн Ю.І., Кривич І.Г., Подубинський В.Я. стаття, Хмельницький: Вісник ТУ "Поділля" 2002

УДК 624:012

РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРНИХ ПЕРЕПАДІВ У ПЕРЕРІЗАХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІД ЧАС ПРОСУШУВАННЯ

Й.Й.ЛУЧКО д.т.н., **В.Ф.ЛАЗАР**, **О.М.ГАЙДА**

У роботі розглядається визначення температурних відмінностей у поперечних перерізах (відрізках) елементів під час висихання. Розроблений метод розрахунку розподілу деформації від внутрішньої температури у перерізах під час висихання бетону у армованих елементах. При цьому встановлено два етапи: час зростання температури при висиханні та час витримки при постійній температурі. Також запропонована залежність розрахунку від тривалості висихання бетону.

Проблема та її актуальність

Вплив просушування на властивості бетону та залізобетону за підвищених температур (130-150⁰С) і незначної вологості середовища майже не вивчали. Однак усі фізичні процеси висихання бетону залишаються майже такими самими, як і під час висихання в нормальних температурних і вологісних режимах. Переважно змінюється лише швидкість протікання цих процесів. Вплив вологи і температури на напружено-деформований стан бетонних та залізобетонних виробів найбільш глибоко вивчив С.А. Александровський [1, 2 та ін.].

Запропоновані для практичних розрахунків диференційні рівняння [1, 3] зумовлюють серйозні труднощі, оскільки відсутні дані про теплофізичні характеристики бетону. Розподілення температури за перерізами висушуваних бетонних та залізобетонних елементів з урахуванням випаровування вивчено недостатньо [3, 4]. Тому метою даних експериментально-теоретичних досліджень є визначення температурних процесів у перерізах елементів під час висушування.

Результати досліджень

Припустимо, що перед просушуванням температура по всьому перерізу виробу дорівнює T_0 , [3,4] тоді

$$T = T_0 + b\tau + \frac{(b+p)R^2}{2a} \left(\frac{x^2}{R^2} - \frac{2}{B_i} - l \right) + \frac{(b+p)R^2}{a} \phi \left(\frac{a\tau}{R^2}; \frac{x}{R} \right), \quad (1)$$

де T – температура в точці на поточний момент часу; T_0 – початкова температура виробу; τ – час підняття температури, год.; b – швидкість підняття температури, ⁰С/год.; a – коефіцієнт теплопровідності, м²/год. $\phi \left(\frac{a\tau}{R^2}; \frac{x}{R} \right)$ – функція, яка представляє суму нескінченного ряду:

$$\phi \left(\frac{a\tau}{R^2}; \frac{x}{R} \right) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^{n+1}}{\mu_n^3} \cos \mu_n \frac{x}{R} \exp \left(-\mu_n^2 \frac{a\tau}{R^2} \right), \quad (2)$$

$$\mu_n = \frac{2n-1}{2} \pi; \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \quad (3)$$

Для спрощення розрахунків розподілення температури для дво- і тривимірних елементів запропоновано ввести поправочний коефіцієнт K , який залежить від форми і співвідношення розмірів перерізу виробів [4]. Наприклад, для призми з співвідношенням ширини до висоти $b/h=1:2$ $K=1,1$. Тоді формула (1), яка описує розподіл температури в перерізі необмеженої пластини товщиною $2R$, така:

$$T = T_0 + b\tau + \frac{(b+p)R^2}{2aK} \left(\frac{x^2}{R^2} - \frac{2}{Bi} - 1 \right) + \frac{(b+p)R^2}{a} \phi. \quad (4)$$

Тут невідомі $p = rD/c\gamma$ - інтенсивність випаровування, де r - прихована теплота перетворення, дж/кг; D - об'ємна інтенсивність випаровування, вт/м^3 ; c - питома теплоємність, дж./кг.град.; γ - питома вага бетону, Н/м^3 ; $a = \lambda/c\gamma$ - коефіцієнт температуропровідності, де λ - коефіцієнт теплопровідності, вт./м.град. ; $Bi = aR/\lambda$ - критерій **Bio** для переносу тепла.

Інтенсивність випаровування тісно пов'язана з критерієм Булігіна, який характеризує відносну затрату тепла для випаровування рідини. Він пов'язаний з молярним переносом пари і не впливає на розподіл температури і вологості [5]. Тому його вплив можна знехтувати, і залежність (4) буде мати такий вигляд:

$$T = T_0 + b\tau + \frac{bR^2}{2aK} \left(\frac{x^2}{R^2} - \frac{2}{Bi} - 1 \right) + \frac{bR^2}{a} \phi. \quad (5)$$

З досягненням $T = T_{\max}$ на поверхні бетону температура залишається постійною і вирівнюється тільки по перерізу, тобто проходить зменшення перепаду температури між окремими точками перерізу. Відповідно, появу небажаних найбільших температурних перепадів можна очікувати тільки під час підвищення температури. Перепад температури між окремими точками

$$\Delta T_x = T - T_0 = b\tau + \frac{bR^2}{2aK} \left(\frac{x^2}{R^2} - \frac{2}{Bi} - 1 \right) + \frac{bR^2}{a} \phi. \quad (6)$$

Цей метод розрахунку порівнювали з іншим, запропонованим нами для двовимірних елементів будь-якої конфігурації поперечного перерізу. Розрахунок за цим методом розподілення температури в балках прямокутного перерізу порівнювався з експериментальними даними а також з результатами інших авторів [6]. Для розв'язку двомірної задачі використано диференційне рівняння типу:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_b \Delta^2 T. \quad (7)$$

З дотриманням таких початкових умов:

$$\left. \begin{aligned} T(x, y, 0) &= T_0, \\ -X < x < X, \\ -Y < y < Y \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

та крайових:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T(\pm X, y, \tau)}{\partial x} + \frac{a_i}{\lambda} [T_0 + b_i \tau - T(\pm X, y, \tau)] &= 0, \\ \frac{\partial T(x, -Y, \tau)}{\partial y} + \frac{a_i}{\lambda} [T_0 + b_i \tau - T(x, -Y, \tau)] &= 0, \\ \frac{\partial T(x, Y, \tau)}{\partial y} + \frac{a_i}{\lambda} [T_0 + b_i \tau - T(x, Y, \tau)] &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

умов, де a_B - коефіцієнт дифузії тепла; α_T - коефіцієнт теплопровідності бетону, який може бути різний в різних сторонах виробу (наприклад, при просушуванні однієї поверхні через піддон); b_i - швидкість підігріву; X, Y - абсциса і ордината точки балки. Інші позначення пояснені вище.

З рівнянь (6),(8) та(9) випливає, що сформульована задача є так званою третьою крайовою задачею. Для її розв'язання використали числовий метод, в основу якого покладено апроксимацію вихідної задачі різними схемами. З урахуванням простоти практичного використання і точності обчислень, для розв'язання задачі обрали локально-одномірний метод (ЛОМ) [7,8,9], який дозволяє отримати розв'язок квазілінійних рівнянь параболічного та гіперболічного типів з будь-якою кількістю просторових змінних і придатний для довільної області.

Для застосування методу ЛОМ для визначення розподілу температури в перерізах, коли теплофізичні властивості бетону і швидкості підвищення температури різні, тобто для розв'язку задачі, (7), (8),(9) потрібно замінити змінні (рис.1) [8]

$$\left. \begin{aligned} x + X &= x_1, \\ y + Y &= x_2, \\ b_i \tau &= \tau_n, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

після чого одержимо

$$c(x_1, x_2, \tau_n) \frac{\partial T}{\partial \tau_n} = \sum_{n=1}^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k_i(x_1, x_2, \tau_n) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right], \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} k_i(x_1, x_2, \tau_n) \frac{\partial T}{\partial x_i} - T \sigma_i^o(x_1, x_2, \tau_n) &= \mu_i^o(x_1, x_2, \tau_n) \Big|_{x_i=0}, \\ k_i(x_1, x_2, \tau_n) \frac{\partial T}{\partial x_i} + T \sigma_i^{m_i}(x_1, x_2, \tau_n) &= \mu_i^{m_i}(x_1, x_2, \tau_n) \Big|_{x_i=m_i}, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

де $k_i; \mu_i^o; \mu_i^{m_i}; \sigma_i^o; \sigma_i^{m_i}$ - достатньо гладкі функції;

$$0 < k \leq k_i; \sigma_i^o \geq 0; \sigma_i^{m_i} \geq 0; (\sigma_i^o)^2 + (\sigma_i^{m_i})^2 \neq 0; k - \text{ стала величина}$$

Розглядали бетонний та залізобетонний елемент, в якому коефіцієнти температуропроводності α_1 знизу (з піддону) відрізняються від коефіцієнтів α_2 , з інших боків елемента.

$$c(x_1, x_2, \tau'_n) = k_i(x_1, x_2, \tau'_n) = 1;$$

$$\sigma_1^0(x_1, x_2, \tau'_n) = \sigma_1^{m_1}(x_1, x_2, \tau'_n) = \sigma_1^0(x_1, x_2, \tau'_n) = a \frac{\alpha_1}{\lambda};$$

$$\sigma_2^{m_2}(x_1, x_2, \tau'_n) = a \frac{\alpha_2}{\lambda};$$

$$\mu_1^0(x_1, x_2, \tau'_n) = \mu_2^0(x_1, x_2, \tau'_n);$$

$$\mu_1^{m_1}(x_1, x_2, \tau'_n) = -a \frac{\alpha_1}{\lambda} (T_0 + b \tau'_n);$$

$$\mu_2^{m_2}(x_1, x_2, \tau'_n) = a \frac{\alpha_2}{\lambda} (T_0 - b \tau'_n).$$

Розрахунок для такої системи виконувався на ЕОМ. Розподіл температури в перерізі визначали за різних позначень параметрів процесу $\alpha_1, \alpha_2, b, \tau, t_c, \lambda$.

Допустимий перепад температури в перерізі окреслюється за допустимими напруженнями. Зі зміною температури та розмірів елемента відносні деформації

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \frac{\Delta l}{l} \pm \alpha_t \Delta T, \quad (13)$$

де α_T - коефіцієнт температурного розширення бетону; ΔT - зміна температури.

Умовно приймаємо, що бетон температуропружний і лінійно-деформувальний матеріал, та отримуємо такі температурні напруження в перерізах висушуваних елементів:

$$\sigma = \frac{\alpha_t E_t (T - T_0)}{1 - \mu}. \quad (14)$$

Як відомо, фізико-механічні характеристики бетону залежать від температури.

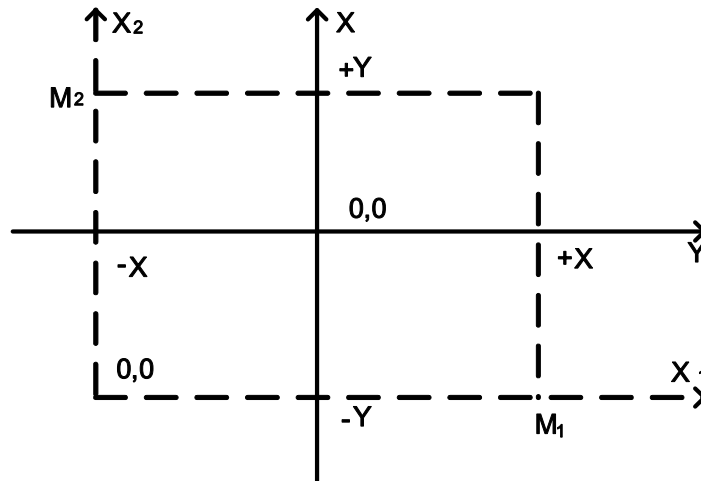


Рис.1. Схема заміни координат

Величини α_t і E_t , які входять у формулу (14) змінюються по перерізу залежно від зміни температури [10, 11, 12, 13]. Дослідження [13] показують, що залежність α_t і E_t від температури можна вважати лінійною.

$$\left. \begin{aligned} \alpha_T &= [10 - 0,003(T - 20)]10^{-6}, \\ E_T &= E_0[1 - 0,00214(T - 20)]. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

У [11] підтверджено, що під час нагріву вологого бетону до 200°C значення α_{Tt} зменшується, що і відображає формула (15). Напруження визначені за формулою (14) дійсні, оскільки в ній не враховано вплив пластичних деформацій.

Згідно з теорією С.В. Олександровського [2] для розрахунку температурних напружень треба застосовувати коефіцієнт приведення пружних напружень до повних напружень, які шукаються $H(t, \tau)$. Для цього необхідно мати ряд значень дослідних параметрів [2]. Однак дослідних даних про вплив нагріву під час просушування бетону на вказані коефіцієнти поки що недостатньо [10, 11, 14]. Для визначення деформацій повзучості при нагріванні запропонована формула:

$$C_T(t) = C_T(t, \tau) = C_{o,T} (1 - e^{-0,001(T-\tau)}), \quad (16)$$

де C_T - міра повзучості нагрітого бетону; $C_{o,T}$ - гранична міра повзучості нагрітого бетону, котру пропонується визначати за формулою

$$C_{o,T} = 0,00025(3,2W - 0,025)^2(T - 20)e^{-0,01(T-20)}. \quad (17)$$

Тоді з урахуванням вищесказаного і [2], коефіцієнт зникання напруження внаслідок повзучості під час нагрівання дорівнюватиме:

$$H(t) = H(t, \tau) = \frac{1 + C_{o,t} E_{o,t} e^{-\gamma(1-C_{o,t} E_{o,t})(t-\tau_1)}}{1 + C_{o,t} E_{o,t}}. \quad (18)$$

Розрахунки за формулою (18) показують, що при температурі 80⁰С і витримці протягом 1 год. $H(t, \tau) = 0,78$ (при $E_{o,T} = 3 \cdot 10^4$ МПа). Однак великі перепади під час просушування бетону перед його просочуванням лише короткочасні, оскільки з ростом температури відразу починається її вирівнювання по перерізу. У зв'язку з тим практично допустимий перепад температури можна встановити без врахування прояву повзучості. Тоді за формулою (14)

$$T - T_o \leq \frac{R_{p,t}(1-\mu)}{\alpha_T E_T}. \quad (19)$$

Тут $R_{p,T}$ - тривкість під час розтягування бетону. Враховуючи вплив температури на зміну модуля деформації і коефіцієнту α_T за формулою (15), одержимо:

$$T - T_o \leq \frac{R_{p,t}(1-\mu)}{[10 - 0,0036(T-20)]^* [1 - 0,00214(T-20)] E_o} \cdot 10^6. \quad (20)$$

Після відповідних перетворень нерівність (20) набуде вигляду:

$$T - T_o \leq \frac{R_{\mu}(1-\mu)}{(10,5 - 0,0253T + 0,000008T^2) E_o} \cdot 10^8. \quad (21)$$

Однак, міцність бетону при розтягуванні також залежить від температури

$$R_{p,T} = m_{p,T} R_p, \quad (22)$$

де R_p - міцність при нормальній температурі; $m_{p,T}$ - коефіцієнт, який залежить від температури.

Ми вивчали залежність R_p під час згину при температурах до 130⁰С. Досліджували теплооброблені і природного твердіння бетони з водоцементним відношенням $B/C = 0,40; 0,53; 0,66$ і кількістю цементу $C = 400 \text{ кг/м}^3$. Встановлено, що

$$m_{p,T} = \frac{R_{p,\mu,t}}{R_{p,\mu}} = 1 - \frac{T_{MAX}}{300} + \left(\frac{T_{MAX}}{400} \right)^2. \quad (23)$$

З формули (21) з урахуванням формул (22) і (23) отримуємо:

$$T - T_o \leq \frac{R_p(1-\mu) \left[1 - \frac{T_{MAX}}{300} + \left(\frac{T_{MAX}}{400} \right)^2 \right]}{(10,5 - 0,0253T + 0,000008T^2) E_o} \cdot 10^6. \quad (24)$$

З формул (5) та (24) або (5) та (20) визначаємо допустиму швидкість росту температури, яка не викликає у бетоні розтягуючих напружень, що перевищують міцність бетону на розтягування:

$$\tau = \frac{T_{MAX} - T_0}{\Delta T_x + T_0 - T_{MAX}} \cdot \frac{R^2}{a} \left[\frac{0,5 \left(\frac{x^2}{R^2} - \frac{2}{B_i} - 1 \right) + \phi \right]. \quad (25)$$

З врахуванням міцнісних і деформаційних властивостей бетону, у формулу (24) слід підставити значення $\Delta T_x = (T - T_0)$ з формули (20). Аналіз формул (20) та (25), а також деякі наші досліди [15] та дані інших авторів [11, 13] показують, що з підвищенням температури майже однаково знижуються міцність на розтяг та модуль пружності. Деяко менше зниження E_b компенсує зниження α_t . В результаті співвідношення $R_{pt} / (\alpha_t E_{(t)})$ зі збільшенням температури під час сушіння бетону майже не змінюється. Про це свідчать графіки на рис.2. і це дає підстави при підборі режиму сушки температурний період чи швидкість зростання температури приймати згідно з формулою (20). Практично це дає ті ж результати, що й використання формули (24), але спрощує розрахунок.

Якщо під час сушіння неармованих бетонних виробів на їх напружений стан найбільше впливають температурні напруження, що зменшуються, то під час сушіння армованих – найбільше впливає усадка бетону, якій чинить опір арматура. Температурні напруження швидко зменшуються, оскільки перепад температури по перерізу теж зменшується.

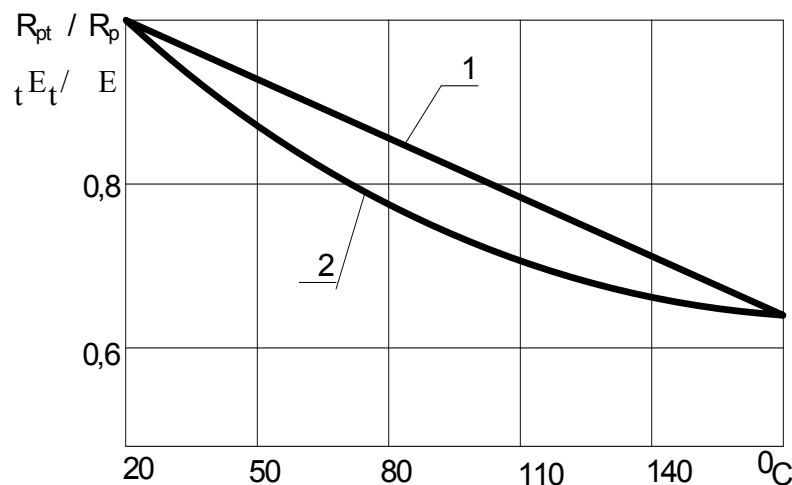


Рис.2. залежність співвідношень R_{pt}/R_p (1) і $\alpha_t E_t / \alpha E$ (2) від температури.

Висновки

Розроблена методика розрахунку розподілу внутрішніх температурних деформацій при сушці бетонних та залізобетонних виробів, причому швидкість підйому температури при сушці виробів розраховується з врахуванням міцності бетону, який піддається сушці. Таким чином запропоновані залежності для розрахунку тривалості сушки бетону. При цьому виділяється два етапи: час підйому температури та час витримки при постійній температурі. Розрахунок тривалості сушки необхідний для встановлення величини та характеру виявлення усадкових деформацій.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести). М.: Стройиздат, 1976.
- 2 Александровский С.В. Теория теплопроводности бетона.// Массивные и стержневые конструкции. М.: Госстройиздат, 1952.
- 3 Ликов А.В. Теория теплопроводности. М.: «Высшая школа», 1967.
- 4 Дмитриевич А.Д. Тепло- и массообмен при твердении бетона в паровой среде. М.: Стройиздат, 1967.
- 5 Марьянов Н.В. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона. М.: Стройиздат, 1977.
- 6 Марчюкайтис Г.В., Мотуза А.К., Яницкас А.Ю. Определение температурного поля в железобетонных прямоугольных балках, теплообработанных в металлических формах.//Труды Вильнюсского ИСИ,- 1973.Вып.5.
- 7 Самарский А.А. Однородные разностные схемы для нелинейных уравнений параболического типа.//Журнал вычислит. математики и матем. физ. , № 1, том 2, 1962.
- 8 Самарский А.А. Об одном экономическом разностном методе решения многомерного параболического уравнения в произвольной области. //Там же.-1962.-1, №5.
- 9 Фрязинов И.В. О разностной аппроксимации граничных условий для третьей краевой задачи Там же.-1964.-4, №6.
- 10 Гитман Ф.Е., Олимпиаев В.Г. Расчет железобетонных перекрытий на огнестойкость. М.: Стройиздат, 1970.
- 11 Милованов А.Ф. Расчет жаростойких железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1976.
- 12 Милонов В.М., Горячев В.Н. Расчет толстостенных железобетонных конструкций на неравномерный нагрев. М.: Стройиздат, 1972.
- 13 Самойленко В.Н. Расчет собственных температурных напряжений в статически определимых железобетонных элементах.//Работа железобетонных конструкций при высоких температурах. М.: Стройиздат, 1972.
- 14 Самойленко В.Н. Расчет деформации усадки и ползучести бетона.// Работа железобетонных конструкций при высоких температурах. М.: Стройиздат, 1972.
- 15 Марчюкайтис Г.В. О физико-механических свойствах горячего бетона после его термообработки.// Материалы науч. конф. молодых ученых Литовской ССР, посвященной 50-летию Великого Октября.- Вильнюс, 1967.