

ных порошков, полученных при введении в исходный ОФС смеси мелкодисперсных компонентов в количестве 30 %. В качестве мелкодисперсного наполнителя использовали смесь ОФС и извести, полученную совместным помолом до удельной поверхности $350 \text{ м}^2/\text{кг}$. Соотношение извести к ОФС изменялось от 0,5 до 1,5. В качестве части вяжущего в состав вводили шлак фракции 25, 75 и 125 мкм в количестве от 0 до 100 % массы наполнителя. Отношение количества воды к мелкому наполнителю равнялось 0,25. Образцы формовали при удельном давлении 20 МПа. Изделия, для которых прочность на сжатие сырца оказывалась более 0,4 МПа, подвергали автоклавной обработке в течение 7 ч при давлении пара 1,0 МПа. Результаты изучения прочностных показателей образцов представлены на рис. 5.

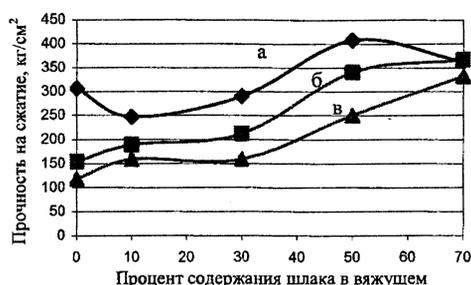


Рис. 5. График зависимости прочности на сжатие автоклавированного материала от процента содержания шлака фракции 75 мкм в вяжущем при отношении В/ОФС: а – 1,5; б – 1,0; в – 0,5

УДК 536.62.50

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Канд. техн. наук, доц. **ВОРОНОВА Н. П., ПИСАРИК С. П.**

Белорусский национальный технический университет

Ограждающие конструкции представляют собой сложные системы, состоящие из разных строительных материалов. Для исследования процессов теплопереноса в них необходимо рассматривать краевые задачи для геометриче-

ских тел различной конфигурации; знать теплофизические характеристики строительных материалов (c – коэффициент теплоемкости; λ – коэффициент теплопроводности; ρ – плотность вещества); начальное распределение тем-

ВЫВОД

Увеличение отношения И/ОФС приводит к повышению прочности на сжатие материала от 11,8 до 41 МПа. Введение шлака в состав сырьевой смеси также способствует возрастанию прочностных показателей. С использованием отработанной формовочной смеси и гранулированного ваграночного шлака можно получать силикатные материалы прочностью на сжатие от 10 до 40 МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Боженев, П. И.** Технология автоклавных материалов / П. И. Боженев. – Л.: Стройиздат, 1978. – 368 с.
2. **Боженев, П. И.** Комплексное использование минерального сырья и экология / П. И. Боженев. – М.: Изд-во АСВ, 1994. – 264 с.
3. **Соломатов, В. И.** Элементы общей теории композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1980. – № 8. – С. 61–70.

Поступила 30.06.2006

ператур $T(x, 0)$; учитывать вид теплообмена с поверхности с помощью граничных условий разного рода. Так, ряд задач теплопереноса можно описать математической моделью:

$$C(T) \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{x^n} \frac{\partial}{\partial x} \left(x^n \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right), 0 < x < a; \quad (1)$$

$$\left(A_1 T + A_2 \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=0} = A_3; \quad (2)$$

$$\left(B_1 T + B_2 \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=a} = B_3; \quad (3)$$

$$T(x, 0) = f(x). \quad (4)$$

Задачи (1)–(4) представляют собой краевую задачу для уравнения теплопроводности в обобщенной постановке, где искомая функция $T(x, t)$ характеризует значение температуры T в любой момент времени t и в любой точке x на интервале длиной a . При $n = 0$ система (1)–(4) рассматривается в прямоугольной системе координат, при $n = 1$ – в цилиндрической, при $n = 2$ – в сферической. Задавая параметры A_1, B_1, A_2, B_2 в (2) и (3), можно варьировать граничные условия задачи. При $A_2 = B_2 = 0$ создаются граничные условия I рода, при $A_2 = B_2 = 1, A_1 = B_1 = 0$ – граничные условия II рода, а при $A_2 \neq B_2 \neq 0$ – граничные условия III рода.

Для решения задачи в такой постановке удобно применять метод конечных разностей [1]. Аппроксимируем уравнение (1) на четырехточечном шаблоне, который изображен на рис. 1 (такой шаблон не единственный).

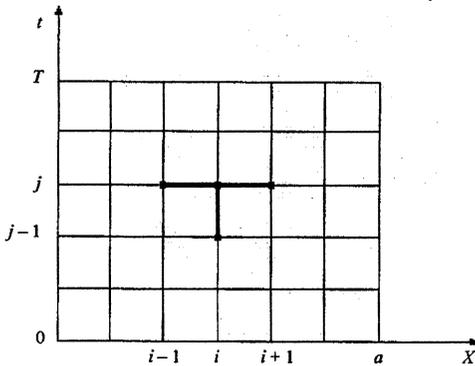


Рис. 1

В результате получим неявную двухслойную разностную схему

$$\lambda u_{i+1,\gamma} - (1 + 2\lambda) u_{i,\gamma} + \lambda u_{i-1,\gamma} = -u_{i,\gamma-1}, \quad (5)$$

где $\lambda = \frac{\tau}{h^2}$; h, τ – шаги сетки по координате и времени; $u_{i,\gamma}$ – значения искомой функции в узлах сетки (x_i, τ_γ) , причем $x_i = ih, i = 0, 1, \dots, n, h = \frac{a}{n}, \tau_\gamma = \gamma\tau, \gamma = 0, 1, \dots, m, \tau = \frac{T}{m}$. Данная разностная схема аппроксимирует уравнение (1) с погрешностью $O(\tau + h^2)$.

Схема (5) аппроксимирует уравнение теплопроводности только во внутренних узлах сетки, поэтому число уравнений в схеме (5) меньше числа неизвестных $u_{i,\gamma}$. Недостающие уравнения получают из граничных условий (2), (3):

$$A_1 T(0, \tau_\gamma) + A_2 \lambda \frac{\partial T(0, \tau_\gamma)}{\partial x} = A_3; \quad (6)$$

$$B_1 T(a, \tau_\gamma) + B_2 \lambda \frac{\partial T(a, \tau_\gamma)}{\partial x} = B_3.$$

Схема (5), (6) – неявная, поэтому значения $u_{i,\gamma}$ находят, как решение системы линейных уравнений. Для решения такой системы можно применять любой алгоритм решения систем линейных алгебраических уравнений, однако система (5) обладает трехдиагональной матрицей и рациональнее всего решать ее методом прогонки. Таким образом, решив систему разностных уравнений, найдем значения функции $T(x, t)$ на временном слое γ , если известно решение на временном слое $\gamma - 1$.

Алгоритм численного решения задачи имеет следующий вид: на нулевом слое $\gamma = 0$ решение известно из начального условия $u_{i,0} = f(x_i)$. На каждом следующем слое искомая функция определяется, как решение систем (5), (6).

Применение неявной разностной схемы при вычислениях обеспечивает ее устойчивость при любых значениях параметра λ . Преимущества такой схемы особенно ощутимы при сравнении с явной разностной схемой, которая получается при аппроксимации уравнения (1) на шаблоне, изображенном на рис. 2.

Явная схема оказывается устойчивой только при $\lambda \leq \frac{h^2}{2}$. Это означает, что вычисления по явной схеме придется вести с очень малым шагом по τ , что может привести к большим затратам машинного времени. В неявной схеме вы-

числения на одном шаге требуют больше операций, чем в явной. Но зато величину шага τ можно выбрать как угодно большой без риска нарушить устойчивость схемы. Все это позволяет значительно уменьшить машинное время, необходимое для решения задачи. Схема (5) обладает сходимостью. Это означает, что при $h, \tau \rightarrow 0$ решение разностной задачи (5), (6) стремится к точному решению краевой задачи (1)–(4).

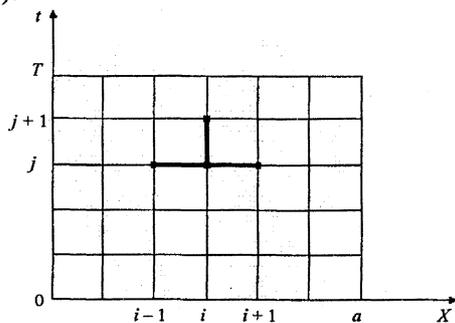


Рис. 2

Предложенный алгоритм реализован и апробирован при исследовании теплопереноса во многих строительных конструкциях [2].

Рассмотрим плоскопараллельную стенку из диатомового кирпича толщиной $a = 0,4$ м с начальной температурой $T(x, 0) = 625$ °С. Требуется найти распределение температур в последующие моменты времени, если на обеих поверхностях стенки (т. е. при $x = -0,2$ м и $x = 0,2$ м) во время процесса охлаждения поддерживается температура 0 °С (т. е. $T(-0, 2; \tau) = T(0, 2; \tau) = 0$). Теплофизические характеристики диатомового кирпича [3]: $\rho = 560$ кг/м³; $c = 0,25$ ккал/(кг · град); $\lambda = 0,1 + 0,00016T$.

Результаты вычислений по предложенному алгоритму с шагом $H = 0,05$ м и $\tau = 7/8$ ч пред-

ставлены в табл. 1, на основании которой можно построить графическую зависимость.

Таблица 1

| $\tau, \text{ч}$ | $x, \text{м}$ | | | | |
|------------------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------------|
| | 0 (середина степени) | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 (поверхность степени) |
| 0 | 625 | 625 | 625 | 625 | 625 |
| 7/8 | 625 | 625 | 625 | 488 | 0 |
| 1 3/4 | 625 | 625 | 560 | 383,5 | 0 |
| 2 5/8 | 625 | 594 | 512 | 338 | 0 |
| 3 1/2 | 592 | 572,5 | 477 | 304 | 0 |
| 4 3/8 | 571 | 539 | 451 | 280 | 0 |
| 5 1/4 | 541 | 514 | 423 | 263 | 0 |
| 6 1/8 | 517 | 486 | 401,5 | 245 | 0 |
| 7 | 488 | 464 | 379 | 231,5 | 0 |
| 7 7/8 | 468 | 437,5 | 361,5 | 215 | 0 |
| 8 3/4 | 441 | 420 | 339 | 206 | 0 |
| 9 5/8 | 424 | 396 | 323,5 | 193,5 | 0 |
| 10 1/2 | 401 | 379,5 | 307 | 183,5 | 0 |
| 11 3/4 | 383 | 361 | 291 | 175 | 0 |
| 12 1/4 | 366 | 342,5 | 278 | 165 | 0 |
| 13 1/8 | 348 | 326,5 | 263,5 | 157 | 0 |

ВЫВОД

Предложенная обобщенная модель теплопереноса позволяет рассчитывать температурные поля внутри строительных конструкций и на их поверхности при различных геометрических формах тел, начальных и граничных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самарский, А. А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1990.
2. Воронова, Н. П. Об одном методе решения задач теплопереноса в строительных конструкциях / Н. П. Воронова, Р. М. Евдокименко // Прикладные проблемы механики жидкости и газа: материалы IX МНТК. – Севастополь, 2000.
3. Франчук, А. У. Таблицы теплофизических показателей строительных материалов / А. У. Франчук. – М.: Отд. информ. и патентно-лиценз. работы, 1969.

Поступила 6.06.2005