

УДК.620.22

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕЛИОТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЖИДКИМИ СРЕДАМИ.

Проф. Ж.Т. Айменов¹, Проф. А.Х.Алиазаров², доц. Х.М. Матгозиев³
 директор НИИ при ЮКГУ¹, Республики Казахстан НамИСИ², ТАСУ³. Узбекистан

Ключевые слова: строительные материалы, моделирование, тепловая обработка, источник тепла, гидратации, излучения, солнечная радиация, золоцементные материалы, теплоперенос, лучепоглощения, тепловыделение, термообработки.

Аннотация: Показана математическая модель нестационарных полей температуры в многокомпонентных цементных материалах.

Анализ используемого в практике производства многокомпонентных цементных материалов теплового воздействия на структурообразующую среду показал, что оно требует усовершенствования, так как одни и те же режимы тепловой обработки применяются без достаточного обоснования для различных материалов, учета их отдельных компонентов, гелиоформ, массивности. К неучтенным параметрам можно отнести такие, как динамика тепловосприятия материала в различные периоды теплового воздействия, влияние химически активных добавок на кинетику тепловыделения, его способность аккумулировать теплоту, обусловленной малой теплопроводностью и большой удельной теплоемкостью и способностью выделять тепло при гидратации вяжущего (микроструктуры), а также учет солнечной радиации при твердении вяжущих материалов и изделий (макроструктуры) [1. стр. 100].

Поэтому, при разработке режимов теплового воздействия на многокомпонентных цементных материалы необходимо создавать такие температурные режимы и технологические приемы, которые обеспечивали бы оптимальное тепловыделение и эффективное его использование при структурообразовании (твердении) с учетом солнечной радиации.

Одним из способов исследования температурных полей в многокомпонентных цементных материалах при тепловлажностной обработке и проверки ее эффективности является математическое моделирование процесса тепловой обработки [2. стр. 93]. Допустим, что температурный режим обогреваемой среды задается зависимостью $t(0, r) = Y(\tau)$, которая чаще всего описывает широко распространённый в практике режим постепенного, с заданной скоростью $U[\tau^0 C/c]$ набора в камере температуры от первоначальной t_0 до максимальной t_{max} . Далее, изотермическая выдержка изделия при температуре t_{max} , а затем понижение температуры среды. Большой интерес представляют первые две фазы: под'ем температуры и изотермическая выдержка изделия. Установим, что поля температур в изделии описываются уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) + \frac{q_v}{c \cdot \rho}, \tag{1}$$

где $a = \frac{\lambda(t, \tau)}{c\rho}$ - коэффициент теплопроводности;

$q_v = m_v \cdot q_{\gamma}(t, r)$ - об'емный источник тепла.

Краевые условия для уравнения (1) принимают вид ($0 \leq x \leq h$)

$$t(x, 0) = t_0, \tag{2}$$

$$Y(r) = \begin{cases} t_0 + v \tau i \partial \tau \leq \frac{t_m - t_0}{V} \\ t_m i \partial \tau \geq \frac{t_m - t_0}{V} \end{cases}, \quad (3)$$

$$a(r)(t_0 - t)_{(0,r)} = -\lambda \frac{\partial \alpha(0,r)}{\partial x}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \alpha(1,r)}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

где $1 = \frac{r}{2}$ - половина толщины изделия (плиты);

$\delta(r)$ - переменный во времени коэффициент теплоотдачи от среды к поверхности бетона;

t_0 - температура среды; координата $X = 0$ соответствует поверхности изделия.

Граничные условия (3) отражают линейный под'ем температуры среды до t_m , а затем поддержание ее на этом уровне; граничное условие (4) характеризует теплообмен между средой и поверхностью изделия по закону Ньютона; условия (5) является условием симметрии поля температуры относительно середины изделия. Задачу (1)-(5) можно с достаточной для практики точностью решать с помощью средств электро моделирования на сетках Либманна в одномерном случае [3. стр. 19]. Приведём вывод схемы замещения для уравнения (1), которое запишем в конечных разностях:

$$2 \left[\frac{a_1^{n-1} \frac{t_1^n - t_0^n}{h_1} - a_1^n \frac{t_0^n - t_2^n}{h_2}}{h_1 + h_2} \right] + \frac{t_0^{n-1}}{\delta \tau} + \omega^{n*} = 0, \quad (6)$$

где $\omega^{n*} = q_v / c \rho = m_v \cdot q_y^{n*} / c \cdot \rho$; n^* - соответствует моменту времени, рассчитанному по методу равных тепловыделений.

Умножая почленно (6) на величину элементарного об'ема и производя некоторые преобразования, получим:

$$\frac{2a_1^{n-1}}{h_1} (t_1^n - t_0^n) + \frac{2a_1^{n-1}}{h_2} (t_2^n - t_0^n) + (h_1 + h_2) \cdot \frac{(t_0^{n-1} - t_0^n)}{\delta \tau} + \omega(h_1 + h_2) = 0 \quad (7)$$

Индексы 0, 1 и 2 относят соответствующую величину в узлах 0, 1 и 2 к интервалам 0-1, 0-2, т.е. к h_{0-1} , h_{0-2} , a_{0-1} , a_{0-2} .

Уравнение электрических токов по закону Кирхгофа для сопротивлений, сходящихся в узел 0, имеет вид:

$$\frac{g_1^n - g_0^n}{r_1} + \frac{g_2^n - g_0^n}{r_2} + \frac{g_0^n - g_0^n}{r_r} + \frac{g_m^n - g_{0,n}^n}{r \omega} = 0 \quad (8)$$

Для аналогии, между уравнениями (6), (7) и уравнением (8) величины омических сопротивлений параметры - r - цепочки и ga_1 , ga_2 , r_r , $r \lambda \omega$ должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$r_{a1} = \frac{h_{0-1}}{2a_{0-1}^{n-1}} r_N; \quad r_{a2} = \frac{h_{0-2}}{2a_{0-2}^{n-1}} r_N;$$

$$r_r = \frac{\delta\tau}{h_{0-1} + h_{0-2}} r_N; \quad r_w = \frac{(\vartheta_M - \vartheta_0^n) \delta\tau}{W(h_{0-1} + h_{0-2})} r_N; \quad (9)$$

В случае задания граничных условий III ряда (4), r - цепочка не изменяется: в поверхностный узел 1 подключается еще один резистор r_a , моделирующий термическое сопротивление $1/\alpha$ теплоотдачи от среды к поверхности изделия. При этом

$$r_a = \frac{1}{2a^{n-1}} \cdot r_n. \quad (10)$$

Если на границе раздела среда - поверхность изделия задана плотности теплового потока $q = q(0, r)$, тогда в поверхностный узел 1 вместо r_a подключается переменный резистор, сопротивление которого подбирается в соответствии с $q(0,r)$

$$r_q = \frac{(\vartheta_M - \vartheta_0^N)}{2q} r_n; \quad (11)$$

В приведённых зависимостях $r_N = r_{\Sigma} / r_T$ (Ом Вт⁰С) ; K - масштаб перехода от температур к напряжениям, град, %; максимальное электрическое напряжение; V_0 - напряжение в узле r - цепочки.

Метод Либманна для решения нестационарной задачи на r сетках реализует неявную конечно-разностную схему. Последовательность шагов по определению нестационарного теплового поля на r - сетке следующая. На концы сопротивлений r_λ (в узлы r - цепочки) подаются напряжения, соответствующие температуре поверхности в $(n-1)$ -й момент времени при задании граничных условий 1-го рода; на конец сопротивления r_a подается напряжение, соответствующее температуре среды в n -й момент времени при задании граничного условия 3-го рода; на конец сопротивления r_q (граничное условие 2-го рода) и C - подается максимальное напряжение V_M . Численно $V_M = 100$ % рабочего напряжения интегратора (10, 15 и 20 В) и если q и ω - источники, на конце r_q и r_ω подаётся 100%, напряжения в модели устанавливается в пределах 0-10% [4,5,6].

Величины r_a , r_α , r_q и r_ω зависят от значений a , α , q и ω в n -й момент времени, поэтому при решении задачи организуется интеграционный процесс. Затем в узлах r - цепочки измеряются напряжения, соответствующие температурам в n -й момент; кроме того, рассчитывается момент времени n^* по методу равных тепловыделений. Напряжения, полученные в n -й момент в узлах, подаются с помощью делителей напряжения на концах r . На концы r_a и поверхностные узлы r - цепочки подается, соответственно, напряжение, отвечающее температурам среды и поверхности в $(n \dots 1)$ - й момент времени. Поскольку в $(n \dots 1)$ -й момент продолжают действовать источники тепла, то подключается r_q и r_ω (когда наступает изотермическое выдерживание $r_q = \infty$, т. е. этот резистор отключается). В узлах r - цепочки снимаются напряжения, соответствующие температурам в $(n \dots 1)$ - й момент времени и т.д. Поскольку решение дискретно в пространстве и во времени, то перед каждым новым шагом в величины сопротивлений можно внести поправки, учитывающие зависимости коэффициентов уравнения (1) от координат, времени и температуры, граничных условий (тепловые потоки, коэффициенты теплоотдачи) и источников тепла, переменность теплофизических характеристик многокомпонентных цементных материалов полиструктурного строения [7,8].

Конечно, значения всех величин для n -го момента времени определяются по температурам в $(n-1)$ -й момент. Если температура в n -й момент резко отличается от температуры в $(n-1)$ -й и данная величина отличается от принятой по предыдущей температуры более чем на 7-10%, то следует произвести следующие приближения на данном шаге.

Предложенный метод математического моделирования нестационарных полей температуры в многокомпонентных цементных материалах и изделиях на их основе позволяет решать и так называемую псевдообработанную задачу теплопроводности, по заданной температуре в изделии определить необходимую мощность источника теплоты (комбинированной солнечной установки) или плотность теплового потока от ее поверхности. Действительно, зная распределение температуры в изделии (в том числе и на его поверхности), полученной при реализации неявной конечно - разностной схемы для уравнения (1) при граничном условии III-го рода на r - цепочке (схема а), можно, заменив переменный резистор r_a на переменный резистор r_q , моделирующий плотность теплового

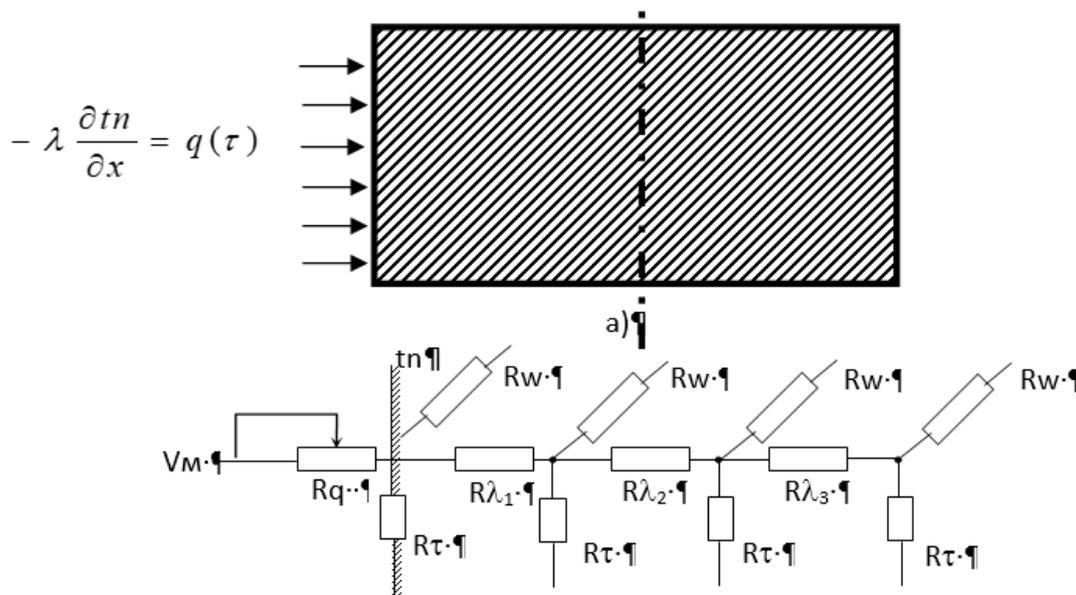
потока $q_n = -\lambda \frac{\partial t_n}{\partial x}$ (закон Фурье), на каждом временном шаге δ_t подбирать величину сопротивления r_q так, чтобы сохранялась заданная температура поверхности изделия. В этом случае прогнозная плотность теплового потока от поверхности в глубь изделия будет определяться по формуле

$$q_n = \frac{(g_M - g_n^n) \cdot h \cdot r_N}{r_q} \cdot 0,5 = 0,5(g_M - g_n^n) \cdot h \cdot r_N / r_q \quad (12)$$

На рис. 1 и рис. 2 приведены некоторые результаты, полученные с применением метода моделирования. Исследование температурных полей в многокомпонентных цементных материалах при тепловой обработке велось также на основе решения следующего уравнения:

$$c\rho \frac{\partial t}{\partial x} = \frac{t}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + m_g \cdot q_y \cdot (t, r) + K_f \cdot a(t - t_{g\delta}) + K_i \cdot a(t_n^4 - t_{N_2}^4) \quad (13)$$

где K_f - коэффициент гелиоформы золоцементного изделия полиструктурного строения; K_i - коэффициент лучепоглощения изделия из золоцементного материала при 80% -ном наполнении золой, 5 % извести и 0,30% добавки МПД1.



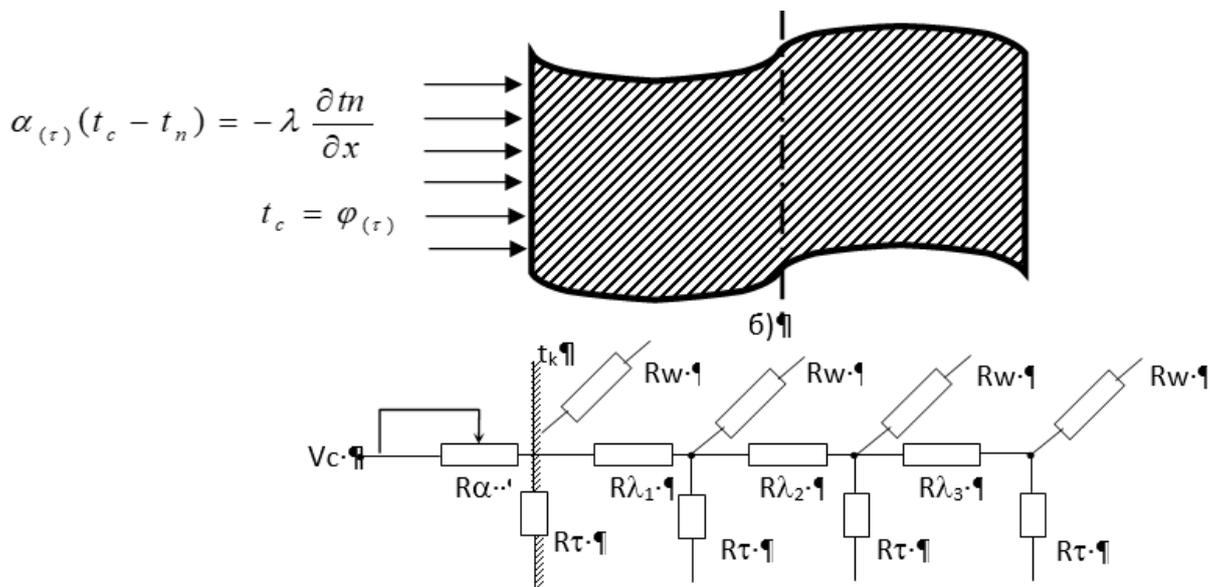
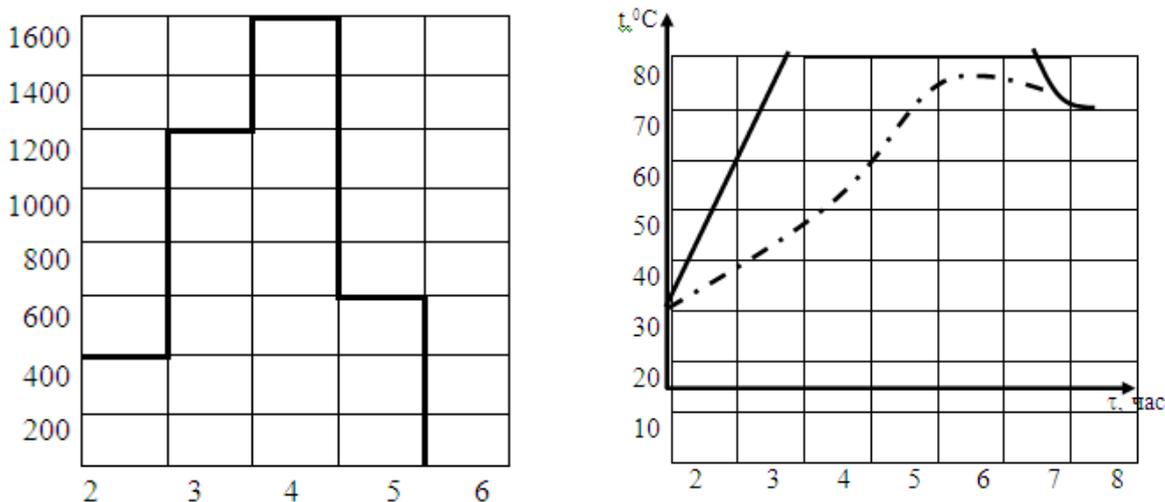


Рис. 1. Схемы обогрева изделия при граничном условии II-рода (а) и III-го рода (б), а также соответствующие им моделирующие R- цепочки сопротивлений.



2. Динамика расчетной тепловой нагрузки q_n и прогнозных температур на поверхности (1) и по середине (2) изделия.

Таким образом, на основе принципов системного анализа разработано математическое описание тепловых процессов и предложен метод математического моделирования нестационарных полей температуры в многокомпонентных цементных материалах и изделиях из них.

Список использованной литературы.

1. Ж.Т.Айменов, Ж. Алдияров Расчет потребности тепла при тепловой обработке бетона ви гелиотехнической системе в журнале: «Вестник университета имени Х.А.Яссави» РК, Туркестан, 1999, №4, с. 8-12.
2. Ж.Т.Айменов, Ж. Алдияров Методы выдерживания бетона с использованием солнечной энергии пещ Ж. Вестник МКТУ №2 2001 РК, Туркестан.
3. А.Х.Алиазаров. «Энергоэффективная теплотехнология получения золоцементных композиционных материалов» Монография, Москва: Русайнс, 2019.-166 стр.
4. А.Х.Алиазаров. «Энерго- и ресурсосберегающая технология получения строительных материалов и изделий методом гелиотеплохимической обработки» Монография, Москва: Русайнс, 2017.стр. 118.

5. Alinazarov A.Kh. Mazhidov N.N. Mathematical Modeling of Thermal Processes in the Helio-thermochemical Treatment of Fine- Applied Solar Energy. Vol. 37, No. 2. Allerton Press, Ins. New York. 2001. p. 18-20.

6. Alinazarov. A.Kh. Mukhiddinov D.N. Solar Thermochemical Treatment of Ash-Cement Compositions. Applied Solar Energy. Vol. 35, No. 4. Allerton Press, Inc. /New York. 1999. pp. 13-19.

7. Алиназаров А., Мажидов Н, Жўраев Х. Методика расчёта нестационарных полей температуры с учётом лучепоглощения в изделиях из композиционных строительных материалов. Академическая Публицистика, Россия, 2017 №5 стр. 8-14