



УДК.620.22

MATHEMATICAL MODELING OF HELIOTHERMAL PROCESSES IN PHYSICO-CHEMICAL INTERACTION WITH LIQUID MEDIA

Alinazarov Alisher Khaidaralievich
Professor

Atamov Abdullajon Abdukhamidovich
Assistant professor

Khaidarov Sherzod Ergashalievich
Senior Lecturer
Department "Construction and Installation of
Engineering Communications"
Namangan Civil Engineering Institute (Nam
CEI)

Akramjon Botirzhonovich Nabiev
Assistant professor
Department of "Life Safety"
Namangan State University (Nam SU)
Republic of Uzbekistan Namangan

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

Алиазаров Алишер Хайдаралиевич
Профессор

Атамов Абдуллажон Абдухамидович
доцент.

Хайдаров Шерзод Эргашалиевич
старший преподаватель
кафедры «Строительство и монтаж инженерных коммуникаций»
Наманганский инженерно-строительный институт (Нам ИСИ)

Набиев Акрамжон Ботиржонович
доцент.
кафедры «Безопасность жизнедеятельности»
Наманганский государственный университет (НамГУ)
Республика Узбекистан г. Наманган

KEY WORDS: *building materials, modeling, heat treatment, heat source, hydration, radiation, solar radiation, ash-cement materials, heat transfer, radiation absorption, heat release, heat treatment.*

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

Abstract: A mathematical model of non-stationary temperature fields in multicomponent cement materials is shown.



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].

При разработке оптимальных режимов тепломассопереноса с учетом солнечной радиации с целью интенсификации твердения многокомпонентных цементных материалов, наряду с задачей обеспечения высокого качества изделий, существенным является прогнозирование энергетически обоснованных условий технологического процесса при экономически оптимальном расходе энергетических ресурсов. [2. стр. 55]

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 [3. стр. 93]. Допустим, что температурный режим обогреваемой среды задается зависимостью $t(0, r) = Y(\tau)$, которая чаще всего описывает широко распространенный 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: подъем температуры и изотермическая выдержка изделия. Установим, что поля температур в изделии описываются уравнением теплопроводности:

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

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

$q_v = m_v \cdot q_{y'}(t, r)$ - объемный источник тепла.

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

$$t(x,0) = t_0 \quad (2)$$

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

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

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

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

$\wp(r)$ - 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 подъем 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 [4. стр. 19]. Приведём вывод схемы замещения для уравнения (1), которое запишем в конечных разностях:

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

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.

Начальное распределение температуры по толщине структурообразующего золоцементного изделия равно t_0 . В начальный момент времени оно помещается в среду с температурой $t_c > t_0$, которая поддерживается постоянной на протяжении всего процесса нагрева [5. стр. 50].

Умножая почленно (6) на величину элементарного объема и производя некоторые преобразования, получим:

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

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 ra_1 , ra_2 , r_r , $r\lambda\omega$ должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$ra_1 = \frac{h_{0-1}}{2a_{0-1}^{n-1}} r_N; \quad ra_2 = \frac{h_{0-2}}{2a_{0-2}^{n-1}} r_N;$$

$$r_r = \frac{\delta\tau}{h_{0-1} + h_{0-2}} r_N; \quad r_w = \frac{(g_M - g_0^n)\delta\tau}{W(h_{0-1} + h_{0-2})} r_N; \quad (9)$$

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 $q(0, r)$

$$r_q = \frac{(g_M - g_0^N)}{2q} r_n; \quad (11)$$



В приведённых зависимостях $r_N = r_3 / r_T$ (Ом Вт⁰/С); К - масштаб перехода от температур к напряжениям, град, %; максимальное электрическое напряжение; V_0 - напряжение в узле г - цепочки.

Метод Либманна для решения нестационарной задачи на г сетках реализует неявную конечно-разностную схему. Последовательность шагов по определению нестационарного теплового поля на г - сетке следующая. На концы сопротивлений r_λ (в узлы г - 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 С - 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% [6,7].

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 г - 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_τ . На концы r_a и поверхностные узлы г- цепочки подается, соответственно, напряжение, отвечающее температурам среды и поверхности в (n ... 1) - й момент времени. Поскольку в (n ... 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 г - цепочки снимаются напряжения, соответствующие температурам в (n ... 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 [8,9,10].

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 температуре более чем на 7-10%, то следует произвести следующие приближения на данном шаге.

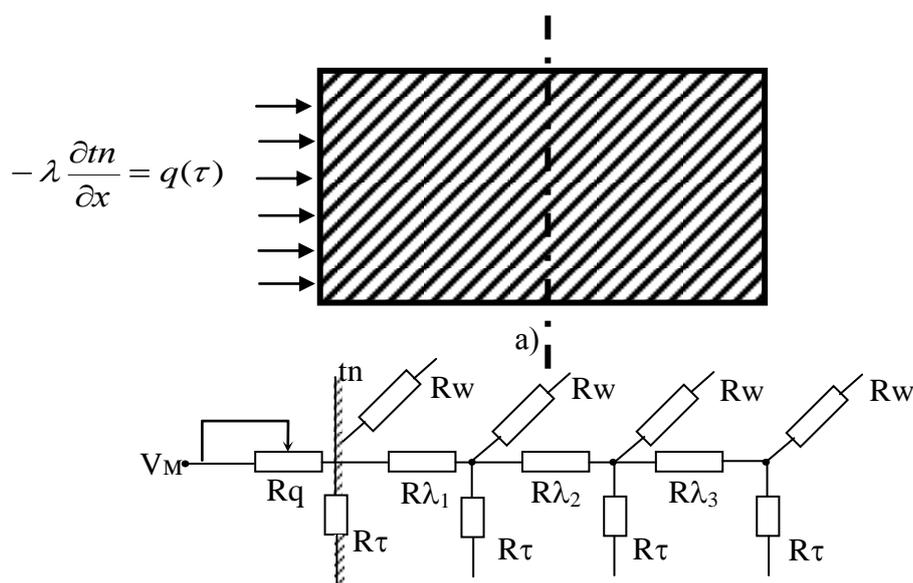
Предложенный метод математического моделирования нестационарных полей температуры в многокомпонентных цементных материалах и изделиях на их основе позволяет решать и так называемую псевдообработанную задачу теплопроводности, по заданной температуре в изделии определить необходимую мощность источника 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 г- цепочке (схема а), можно, заменив переменный резистор r_a на переменный резистор r_q , моделирующий плотность теплового потока

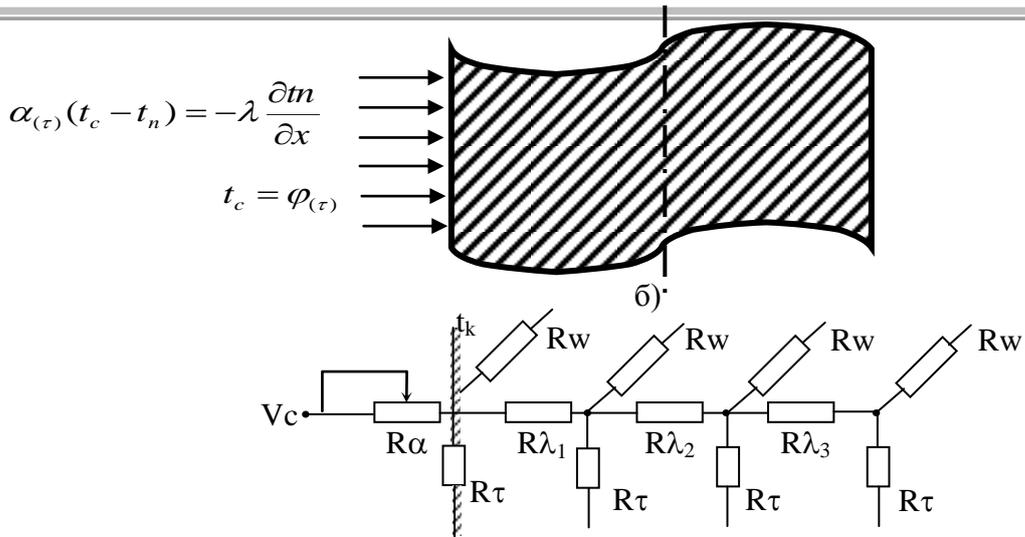
$q_n = -\lambda \frac{\partial t_n}{\partial x}$ (закон Фурье), на каждом временном шаге δ_τ подбирать величину сопротивления r_q

так, чтобы сохранялась заданная температура поверхности изделия. В этом случае прогнозная плотность теплового потока от поверхности в глубь изделия будет определяться по формуле

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

На рис. 1 и рис. 2 приведены некоторые результаты, полученные с применением метода моделирования.

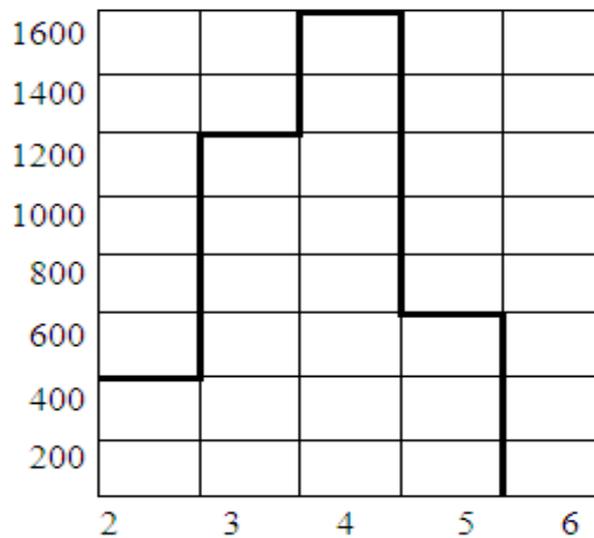


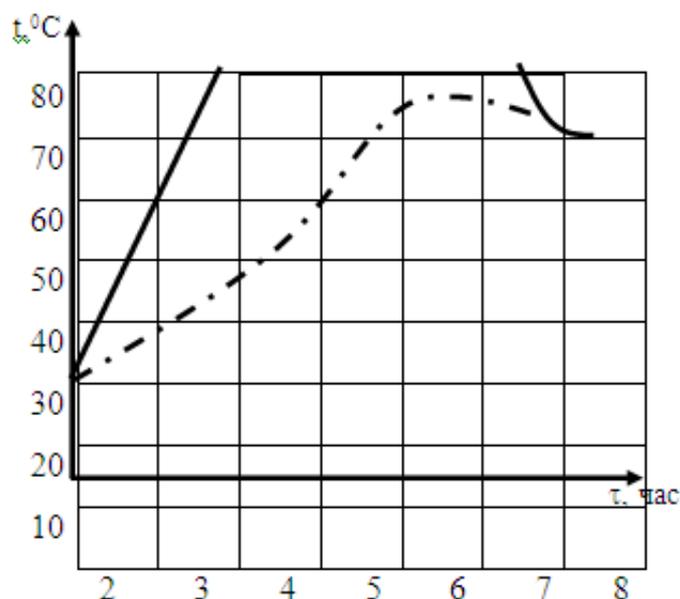


Исследование температурных полей в многокомпонентных цементных материалах при тепловой обработке велось также на белом решении следующего уравнения:
 Рис. 1. Схемы обогрева изделия при граничном условии II-рода (а) и III-го рода (б), а также соответствующие им моделирующие R- цепочки сопротивлений.

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

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





2. Динамика расчетной тепловой нагрузки q_p 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. А.Х.Алиазаров. «Энергоэффективная теплотехнология получения золоцементных композиционных материалов» Монография, Москва: Русайнс, 2019.-166 стр.
2. Alinazarov A.Kh., Atamov A.A., Khaydarov Sh.E «Heliothermal-chemical effect taking into account exothermia in multicomponent cement materials» *Annali d'Italia scientific journal of Italy Vol. 1 ISSN 3572-2436 № 17 2021 page 55-59.*
3. А.Х.Алиазаров. «Энерго- и ресурсосберегающая технология получения строительных материалов и изделий методом гелиотеплохимической обработки» Монография, Москва: Русайнс, 2017.сmp. 118.
4. Alinazarov A.Kh. Mazhidov N.N. *Mathematical Modeling of Thermal Processes in the Heliothermochemical Treatment of Fine- Applied Solar Energy. Vol. 37, №. 2. Allerton Press, Ins. New York. 2001. p. 18-20.*
5. Alinazarov A.Kh., Atamov A.A., Khaydarov Sh.E «Procedure for solving the power change of the internal heat source taking into account solar radiation in multicomponent cement materials» *The scientific heritage (Budapest, Hungary) VOL 1, No 62 (62) (2021) ISSN 9215-0365 page 49-52.*
6. А.Х.Алиазаров., Ш.Э.Хайдаров., Д.М.Хатамова., «Технологические особенности использования угольной золы как эффективное решение экологической проблемы» «Молодой учёный» ежемесячный научный журнал 2014 часть IV. стр. 366-370.
7. 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.*
8. А.Х.Алиазаров., М.Мамаджонов., Ш.Э.Хайдаров «Влияние солнечной радиации при интенсификации твердение золоцементных строительных материалов» *Международный научный журнал научное периодическое издание «Cognitio Rerum» Россия, 2017 стр. 10-12.*
9. Алиазаров А., Мамаджонов М., Хайдаров Ш *Методика расчёта нестационарных полей температуры с учётом лучепоглощения в изделиях из композиционных строительных материалов. Общества Науки и Творчества, Россия, 2017 стр. 16-18.*



10. *Алиазаров 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.*