

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СЕРОБЕТОНА В ШАРЕ

Б.Т. Жумагулов, Б.К. Шакенов

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

Лаборатория «Жерсу», г. Алматы

Оценивается коэффициент температуропроводности серобетона в области фазового перехода. Полученное значение коэффициента находится в удовлетворительном согласии с ранее оценённым значением данного коэффициентом по теореме Остроградского-Гаусса.

Рассмотрим кристаллизацию условно выделенного шара ($R=18$ см) в центре массы серобетона цилиндрической формы с $\varnothing=H=1$ м. Поскольку тепло отводится от поверхности цилиндра, кристаллизация серобетона начинается от стенки и продвигается с определённой скоростью в направлении центра массы цилиндра. Как известно, по мере приближения к центру цилиндра, формы изотерм приобретают сферическую форму. В определённый момент времени поверхность шара охлаждается ниже температуры кристаллизации материала и начинается процесс кристаллизации шара от «стенки» к центру. Температура поверхности шара и распределение температуры по радиусу измерялись тридцатью термопарами.

Профили температур от 125С до 50С определялись методом наименьших квадратов для парабол 6-й степени, проходящих через экспериментальные точки. Градиенты температур «на поверхности шара» определялись по показаниям термопар, расположенных непосредственно на поверхности и вблизи её. Точные координаты фронта кристаллизации ($T=113$ С) были установлены решением уравнений $C_1 \cdot y^6 + C_2 \cdot y^4 + C_3 \cdot y^2 + C_4 = 113$ для каждого из профилей температур, найденных методом наименьших квадратов. Очевидно, что каждый профиль определяется со своей группой коэффициентов $\{C_1, C_2, C_3, C_4\}$. Показания термопар были усреднены в пределах 2-х минут для сглаживания флуктуации. Профили температур $T(r, t)$, зарегистрированные в эксперименте, приводятся на Рис.4-6 ниже.

Эксперимент показал, что за время продвижения фронта кристаллизации от поверхности условно выделенного шара ($R=18$ см) до его центра в течение 8040 секунд, падение температуры поверхности шара составило 12 градусов (от 112С до 100С).

Линейная скорость затвердевания и время полной кристаллизации выделенного шара были оценены по методикам, приведенным в работах [1] и [2] соответственно. Результаты расчётов сравнивались с данными эксперимента, что позволило оценить коэффициент температуропроводности материала в области фазового перехода.

1 Оценка линейной скорости затвердевания серобетона по работе [1]

В работе [1] линейная скорость продвижения фронта кристаллизации определяется как:

$$U = \frac{d\xi}{dt} = \frac{a}{R} \frac{1}{D_1 + 2D_2\delta + 3D_3\delta^2 + 4D_4\delta^3 + \frac{D_5}{\delta + \frac{n}{Bi_1}}}, (м/час) \quad (1)$$

где ξ - толщина корки, t - время, R - радиус шара (18 см), a - коэффициент температуропроводности материала

$$D_1 = \frac{1}{Bi_1} \left(L + \frac{1}{n+1} \right) + \frac{2n}{(n+1)(n+2)Bi_1^2} \left[1 + \frac{n}{(n+3)Bi_1} \right];$$

$$D_2 = \frac{1}{2n} \left(L + \frac{1}{n+1} \right) - \frac{1}{Bi} \left[L + \frac{1}{(n+1)(n+2)} + \frac{n}{(n+1)(n+2)(n+3)Bi_1} \right];$$

$$D_3 = \frac{L}{3} \left(\frac{1}{Bi_1} + \frac{2}{n} \right) + \frac{2}{3(n+1)(n+2)} \left[\frac{1}{(n+3)Bi_1} - \frac{2}{n} \right]; \quad D_4 = \frac{1}{4n} \left[L + \frac{6}{(n+1)(n+2)(n+3)} \right];$$

$$D_5 = -\frac{n}{(n+1)Bi_1^2} \left(1 + \frac{2n}{(n+2)Bi_1^2} + \frac{2n^2}{(n+2)(n+3)Bi_1^2} \right);$$

$$Bi_1 = \frac{\alpha_1}{\lambda_1} R; \quad L = \frac{\rho_1}{c_1(t_{кр} - t_c)}; \quad \delta = \frac{\xi}{R};$$

n – показатель, зависящий от определённых критериев и конфигурации отливок, L , Bi – безразмерные критерии, α_1 – «условный» коэффициент теплоотдачи от поверхности шара. Результаты расчетов по вышеприведённой формуле и экспериментальные данные приводятся на рис.1.

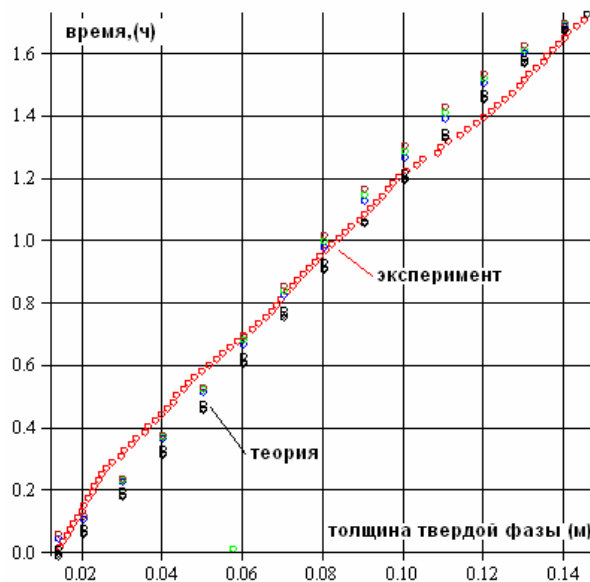


Рис. 1. Линейная скорость затвердевания серобетона в шаре ($R=18\text{см}$)

2 Оценка времени кристаллизации рассматриваемого шара по работе [2]

По методике С.С. Ковнера [2] с учётом поправок А.А. Померанцева на начальную температуру жидкой фазы, отличающуюся от температуры кристаллизации ($T_0 > T_{cr}$), полное время кристаллизации шара оценивается как:

$$\tau_m = \frac{R^2}{6a_1} Ko \cdot \left(1 + \frac{c_2 \rho_2}{L \rho_1} (T_0 - T_{cr}) \right) \quad (2)$$

где Ko – критерий Коссовича ($= \frac{LW\rho_2}{c_1\rho_1(T_{cr} - T_c)}$), L – скрытая теплота кристаллизации серы (при 113С), W – весовая доля серы в серобетоне (0.15-0.18), ρ_2 , ρ_1 – плотность жидкой и твердой фаз серобетона ($\approx 2300, 2260$ кг/м³), c_1 – удельная теплоёмкость твердой фазы серобетона, R – радиус шара (18 см), a_1 – коэффициент температуропроводности твердой фазы непосредственно

за фронтом кристаллизации в зоне фазового перехода, T_{cr} , T_c - температуры кристаллизации серобетона и окружающей среды соответственно.

Экспериментальные измерения показали, что $T_c=100C$, $T_0=117C$ и полное время кристаллизации шара ($R=18cm$) равно 8040 сек (2 часа 14 минут).

Расчёты времени кристаллизации выделенного шара в центре цилиндрической формы (радиусом 18 см) показаны на рис. 2. Оказалось, что вариация T_c в пределах [97.5 - 102C] приводит к небольшому изменению коэффициента температуропроводности материала, в пределах [$3 \cdot 10^{-7} \dots 4.2 \cdot 10^{-7}, m^2 / сек$].

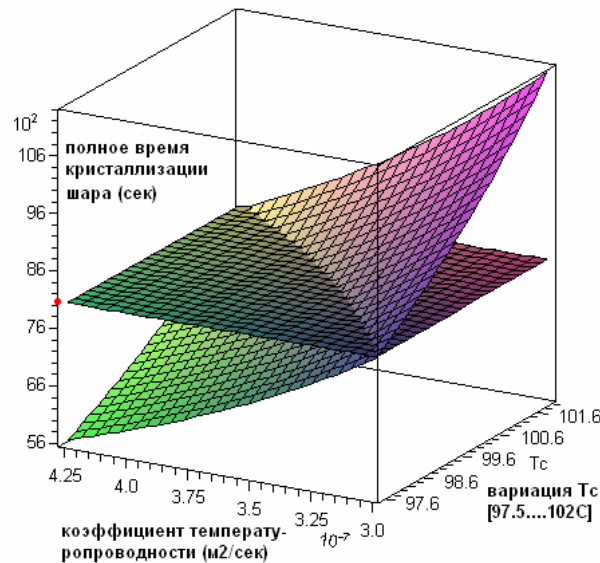


Рис. 2 Коэффициент температуропроводности серобетона в области фазового перехода ($T \leq 113C$)

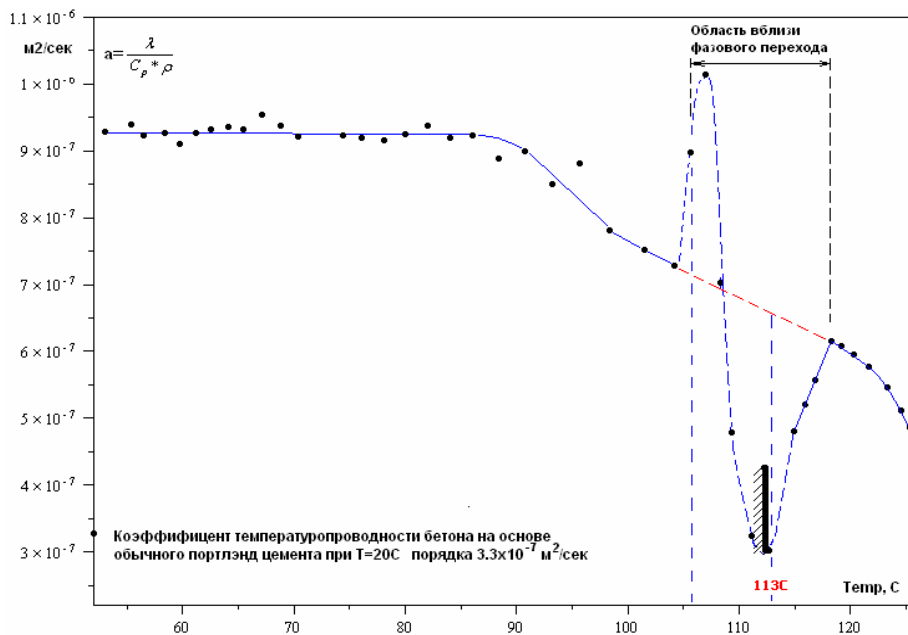


Рис. 3 Коэффициент температуропроводности серобетона в области фазового перехода при $T \leq 113C$

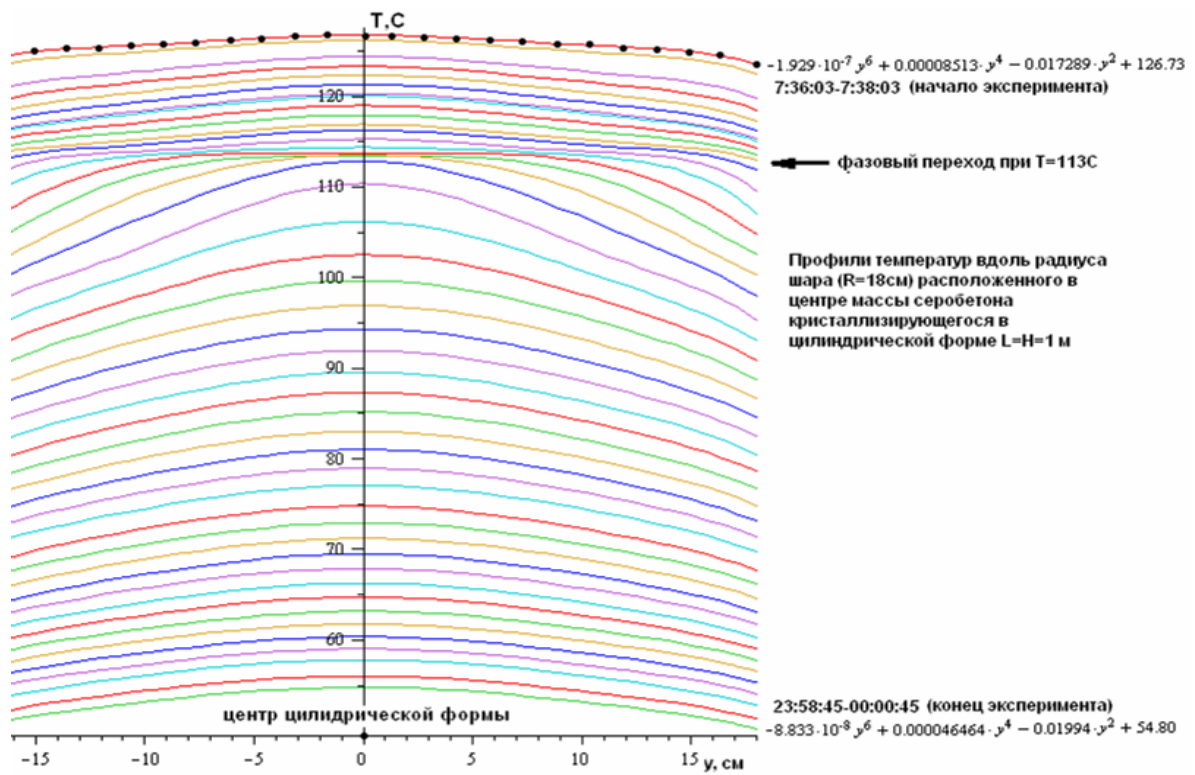


Рис. 4 Профили температур в центре цилиндрической формы с кристаллизующейся смесью серобетона

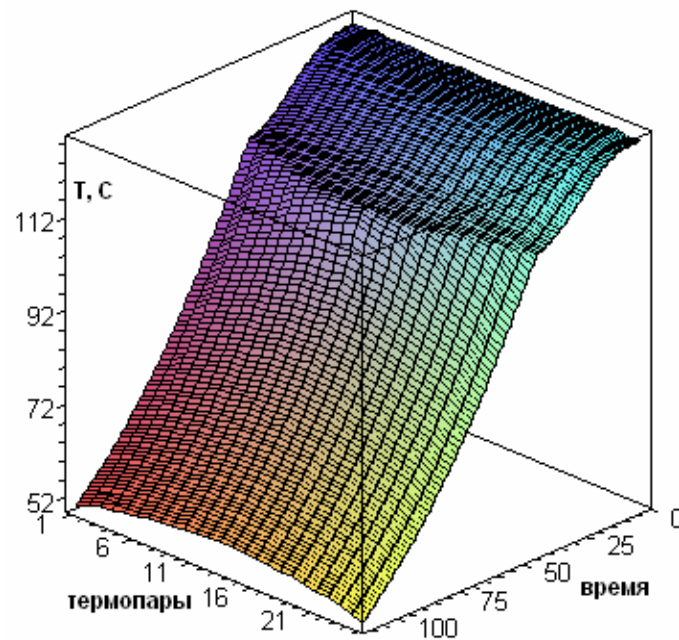


Рис. 5 Профили температуры по времени ((T=T(r,t)) внутри шара радиусом 18 см расположенного в центре цилиндрической формы с кристаллизующимся серобетоном

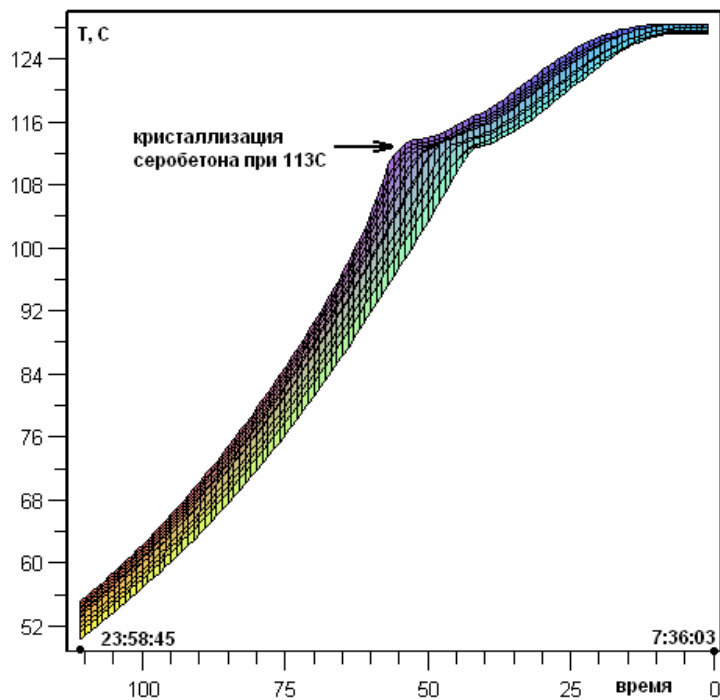


Рис. 6. Профиль температуры остывающего шара в центре цилиндрической формы (вид-2D сбоку)

Литература

1. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки. М., 1960. «Машгиз», стр 425-430.
2. Ковнер С. С. Условия термического подобия в процессах промерзания и оттаивания // Изв. АН СССР, серия геогр и геофиз. 1943, т. 3. – С.143.

ШАРДА КҮКІРТ БЕТОНЫНЫҢ КРИСТАЛДАНУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Б.Т. Жұмағұлов, Б.К. Шәкенов

Күкірт бетонының фазасын өзгерту кезіндегі температура өткізгіштік коэффициентінің мәні есептелді. Бұл есептеулермен алынған коэффициенттің мәні оның бұрынғы Остроградский - Гаусс теоремасы арқылы есептелген мәндерімен қанағаттылық келісімде.

INVESTIGATION OF CRYSTALLIZATION OF SPHERICAL BODY

B.T. Zhumagulov, B.K. Chakenov

Coefficient of temperature conductivity of sulfur concrete has been evaluated in the area of phase transference. Value of the coefficient calculated here is in good agreement with the values of the coefficient calculated earlier through the theorem of Ostragradskiy-Gauss.