

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЕЮЩЕГО БЕТОНА

Существуют различные мнения о характере изменения теплофизических характеристик бетона в процессе твердения. Так, в ряде работ [1–3] делается заключение о постоянстве теплофизических свойств твердеющего бетона. Однако в [1,2] не исследовался начальный период твердения (опыты проводились после 3 суток естественной выдержки). Б.А. Новиков изучал изменение коэффициента теплопроводности пенобетона при пропаривании в лабораторном автоклаве [3]. При этом, как и в [2], использовался один из методов регулярного режима, несколько видоизмененный метод шара. Его сущность заключается в следующем: в пространство между двумя шарами разного диаметра, имеющими один центр, помещается исследуемый материал, а малый шар заполняется водой. Все измерения производятся в квазистационарном режиме, при этом регистрируются температуры на поверхности внутреннего и наружного шаров, продолжительность опыта и количество тепла, полученное водой в меньшем шаре. При использовании этого метода возникает погрешность за счет того, что часть тепла поглощается исследуемым материалом и не аккумулируется водой в малом шаре. Эта ошибка возрастает с увеличением объемной массы и влажности материала. С другой стороны, на тепловой поток накладывається влияние внутренних источников тепла гидратирующейся системы, что неизбежно отражается на количестве тепла, поглощаемом водой.

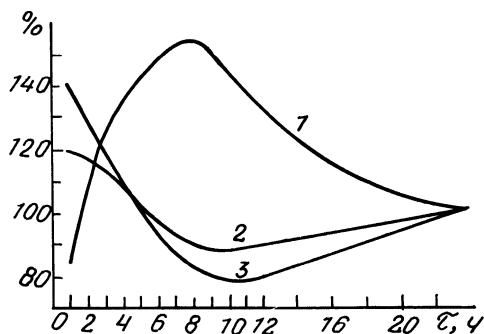
В последнее время в результате расширения диапазона исследований с применением оригинальных методик и аппаратуры преобладает мнение об изменении теплофизических свойств цементных растворов и бетонов в процессе их твердения [4–9]. Во ВНИПИ Теплопроект для определения коэффициента теплопроводности твердеющего бетона в диапазоне температур от 50°C и более был разработан и применен метод и конструкция прибора с регулируемым перепадом температур в образце [4]. Температуропроводность исследовалась в регулярном режиме с использованием акалориметра и в квазистационарном режиме с использованием метода нагрева образца с постоянной скоростью и метода температурных волн. К недостаткам, характерным для всех методов регулярного режима [2–4], следует отнести невозможность определения всех теплофизических коэффициентов (λ , a , c) из одного опыта, а, кроме того, значительную продолжительность опыта, необходимую для наступления регулярного режима. Последнее обстоятельство особенно затрудняет их применение при условиях быстрого протекания про-

цессов переноса тепла и влаги в устройствах тепловой обработки бетонных изделий. От этих недостатков свободны чисто нестационарные методы.

И.Б. Заседателев установил влияние крупности заполнителя, вида цемента, температуры твердения на теплофизические коэффициенты бетонов и растворов различных составов в процессе твердения [4,5] (рис. 1). При этом значения коэффициентов тепло- и температуропроводности изменялись в широких пределах, существенно отличаясь от известных значений для затвердевших бетонов, превышая их в 1,5–3,0 раза. Причиной изменения абсолютных значений этих показателей являются особенности физико-химических процессов гидратации цемента и структурообразования цементного камня. Общая тенденция этого изменения – уменьшение по мере гидратации цемента. При этом весь процесс можно условно разделить на четыре характерных периода. В первом периоде происходит быстрое уменьшение значений коэффициентов, затем наступает непродолжительный период стабилизации (второй период), после которого следует рост значений λ и α (третий период). По истечении двух–трех суток наступает четвертый период – устойчивая стабилизация параметров переноса. В более поздних работах, проведенных во ВНИПИ Теплопроект [5], использовался метод плоского зонда с источником постоянной мощности, позволяющий комплексно определить основные теплофизические характеристики материала из одного кратковременного опыта.

Рис. 1. Изменение относительных величин теплофизических характеристик твердеющего цементного раствора по отношению к периоду устойчивой стабилизации:

1 – интенсивность тепловыделений;
2 – теплопроводность; 3 – температуропроводность.



Большинство методов определения теплофизических характеристик, в которых применяются источники тепла постоянной мощности, основаны на решении задач теплопроводности в предположении, что теплоемкость нагревателя равна нулю. Однако все используемые нагреватели имеют конечную величину теплоемкости, которая искажает формирующееся в образце нестационарное температурное поле, что следует учитывать, вводя поправку или оценивая погрешность соответствующим образом. Работа, проведенная во ВНИПИ Теплопроект, хорошо дополняется и подтверждается исследованиями, осуществленными в БПИ под руководством М.Т. Солдаткина [6,7] (рис. 2). В этих исследованиях определялись теплофизические коэффициенты ке-

рамзитобетона в естественных условиях и при тепловом воздействии. В основу методики исследований при естественном твердении положен метод линейного источника тепла постоянной мощности. При тепловой обработке керамзитобетона в камере с теплоизлучающими поверхностями теплофизические параметры определялись по методике А.Г. Темкина. Сущность этой методики в том, что параметры переноса находятся из экспериментальных кривых послойного распределения влагосодержания и температур по сечению образцов при помощи характеристических функций термодинамики необратимых процессов, полученных из системы дифференциальных уравнений

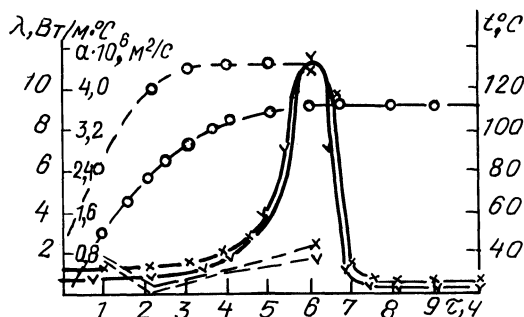


Рис. 2. Изменение коэффициентов теплопроводности $\lambda(x)$, температуропроводности $\alpha(t)$ и температуры $t(t)$ во времени при термообработке: — специальный бетон (данные ИТМО АН БССР); - - - - керамзитобетона (данные БПИ).

А.В. Лыкова. Результаты этих исследований подтвердили тесную взаимосвязь механизма переноса тепла и физико-химических процессов гидратации вяжущего. Авторами установлен идентичный характер изменения теплофизических коэффициентов керамзитобетона в процессе твердения в естественных условиях и при тепловом воздействии. Различие заключается только в интенсивности изменения и абсолютных величинах. При оценке результатов этих исследований необходимо учитывать, что параметры переноса, полученные по методу А.Г. Темкина, отражают конкретные особенности тепловых условий и характер внутреннего тепло- и массообмена в исследуемом материале, т.е. являются условными, зависящими от режима тепловой обработки характеристики. Теплофизические коэффициенты керамзитобетона естественного твердения, определенные методом линейного источника тепла постоянной мощности, являются эффективными величинами в той мере, что учитывают перенос тепла не только теплопроводностью, но и конвекцией и излучением в порах материала.

В работе [8], динамика коэффициента теплопроводности на ранней стадии твердения бетона носит характер, отличный от вышеописанного (рис. 2). В ней методом источника постоянной мощности с эталоном [9] исследованы

теплофизические характеристики специального бетона на основе железнорудного концентрата в процессе тепловой обработки в интервале температур 20–120°C. В опытах отмечалось постепенное увеличение коэффициентов тепло- и теплопроводности по мере возрастания температуры с резким повышением их значений в области температур 90–110°C, которое продолжается на стадии изотермической выдержки в течение 2–3 ч. После достижения экстремальной величины, значения коэффициентов резко падают и остаются постоянными в процессе дальнейшей изотермической выдержки. Недостаток использованного метода в том, что формулы для расчета теплофизических характеристик на основании эталонных показателей и измеренных температур справедливы только для времени проведения опыта $\tau > 4$ мин и толщины материала $\delta < 0,7-3,5$ мм, в то время как в заполнителях имеются фракции гораздо больших размеров (до 40 мм).

Анализ литературных источников позволяет сформулировать определенные выводы.

1. Значения теплофизических коэффициентов бетона на стадии твердения существенно отличаются от аналогичных показателей для затвердевших бетонов. Это объясняется тесной взаимосвязью механизма переноса тепла с физико-химическими процессами гидратации цемента.

2. Изменение теплофизических коэффициентов на стадии подъема температуры в процессе тепловой обработки по различным литературным источникам зачастую носит противоречивый характер, что свидетельствует о необходимости продолжить исследования теплофизических свойств бетона в процессе термообработки.

3. При выборе экспериментального метода для исследования теплофизических характеристик твердеющего бетона следует отдавать предпочтение нестационарным методам. Большие преимущества имеют те нестационарные методы, которые позволяют получать значения основных теплофизических коэффициентов (λ , a , c) из одного опыта.

Л и т е р а т у р а

1. А л е к с а н д р о в с к и й С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций при изменении температуры и влажности с учетом ползучести. — М., 1973. — 432 с. 2. Д а н и л о в а Г.Н., Б о г д а н о в С.Н. Определение теплофизических свойств некоторых бетонов и пород гравия, применяющихся на строительстве плотин. — Гидротехн. стр-во, 1967, № 4, с. 19–20. 3. Н о в и к о в Б.А. Тепловые характеристики пенобетона в процессе запаривания. — Строит.материалы, 1961, № 5, с. 37–38. 4. З а с е д а т е л е в И.Б., Ш е т р о в - Д е н и с о в В.Г. Тепло- и массоперенос в бетоне специальных промышленных сооружений. — М., 1973. — 168 с. 5. З а с е д а т е л е в И.Б. Теплопроводность гидратирующих цементных систем. — В сб.: Теплопроводность и диффузия в технологических процессах: Материалы I республик. НТК. Рига, 1977, с. 304–314. 6. С о л д а т к и н М.Т., П р о т а с е в и ч А.М., Д я ч е к П.И. Исследование некоторых теплофизических характеристик керамзитобетона, твердеющего в разных условиях. — Изв. вузов: Стр-во и архитект., 1975, № 12, с. 82–86. 7. С о л д а т к и н М.Т., А р х и т о в и ч В.В., П р о

г а с е в и ч А.М. Параметры внутреннего переноса в процессе твердения при тепловой обработке различных бетонов в камере с теплоизлучающими поверхностями. — В сб.: Теплопроводность и диффузия. Рига, вып. 6, 1975, с. 76–84. 8. Р а с к и н а Е.А., К р а с у л и н а Л.В., Ч е р н а я Л.Г. Теплофизические характеристики специального бетона. — В сб.: Массотеплоперенос при получении высокопрочных строит. материалов. Минск, 1978, с. 75–79. 9. В е р ж и н с к а я А.Б. Исследование теплофизических характеристик материалов в форме пластин и покрытий методом источника постоянной мощности. — ИФЖ, 1964, № 4, с. 58–65.

УДК 666.97–536.2

Б.И. Неусихин, мл. науч. сотр.
(ИСИА Госстроя БССР),
В.Д. Сизов, зав. лаб.
(БПИ)

О ЛОКАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИТЫХ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ

Известно, что сыпучая система в форме образует неоднородную структуру [1]. Теоретически и экспериментально установлено, что засыпки из монофракционных зерен образуют при контакте с поверхностью формы граничный слой, плотность которого меньше, чем плотность среднего слоя. Отношение этих плотностей составляет

$$\rho_{сз}/\rho_{гз} = 1,42 = a, \quad (1)$$

где $\rho_{сз}$ — плотность среднего слоя в засыпке, кг/м^3 ; $\rho_{гз}$ — плотность граничного слоя в засыпке, кг/м^3 .

Толщина граничного слоя получена как половина от среднего арифметического из наибольшего и наименьшего размеров зерен засыпки

$$2\delta_{г} = (d_{\text{max}} + d_{\text{min}})/2.$$

В первом приближении можно предположить, что в хорошо уплотненных бетонных образцах зерна крупного заполнителя образуют структуру, аналогичную структуре засыпки, а межзерновое пространство заполняется растворной частью. Но так как свойства растворной части и зерен различны, а их соотношения в среднем и граничном слоях неодинаковы, то и свойства бетона в граничном и среднем слоях различны. Это необходимо учитывать при испытаниях формованных образцов по соответствующим методикам в зависимости от исследуемых характеристик.

В настоящей статье приводится методика определения локальных значений для плотности и коэффициента теплопроводности по слоям для формованных образцов.