

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ К ПРОГНОЗУ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЛЕГКОГО БЕТОНА

Грызлов В.С.

Основным механизмом теплообмена для капиллярно-пористых физических систем (типа легкого бетона) является контактная теплопроводность, которая осуществляется благодаря связанным между собой процессам: переходом тепла от частицы к частице через непосредственные контакты между ними и переходом тепла через разделяющую промежуточную среду. С термодинамической точки зрения теплообмен в легких бетонах представляет собой теплоперенос (поток тепла Q), а точнее перенос энтропии (S), под действием градиента температуры ($\dot{N}T$), осуществляемый, в соответствии со вторым законом термодинамики, от мест с более высокой к местам с меньшей температурой. Термодинамическая идентичность коэффициента теплопроводности (l) и S позволила, на базе второго закона термодинамики, вывести общее уравнение для прогноза теплопроводности легкого бетона в условиях его эксплуатации. Установлено, что релаксация теплопроводности (τ) пропорциональна затуханию объемных деформаций бетона (Θ), вызванных температурным градиентом и уровнем напряжения (η). Экспериментальные исследования теплопроводности легкого бетона подтвердили затухающий характер изменения Δl как функции времени (t) и деформативности.

Второй закон термодинамики содержит сведения относительно возможности протекания того или иного процесса и его направленности, и для элементарного количества тепла, выражается как:

$$dQ = \dot{N}TdS, \text{ или } dS = dQ/\dot{N}T. \quad (1)$$

Этим определяется методологическое значение его применения в бетоноведении. Кроме того, скорость роста энтропии может сама по себе рассматриваться как важнейшая характеристика для прогнозирования процессов в физической системе. На основе этой характеристики можно анализировать стационарные состояния систем и изменение их свойств.

Согласно второму закону термодинамики, у всякой неизолированной бетонной системы энтропия состоит из двух слагаемых:

$$dS = d_i S + d_e S, \quad (2)$$

обусловленных изменением энтропии за счет внутренних $d_i S$ и внешних $d_e S$ взаимодействий, причем $d_i S$ всегда ≥ 0 , тогда как $d_e S \leq 0$. Поэтому возрастание или убывание энтропии бетонной системы определяется в конечном итоге соотношением слагаемых в (2).

Если зафиксировать положение внешних тел, окружающих систему, то с течением времени любая физическая система придет в такое положение, когда её внутреннее состояние будет определяться только внешними параметрами и, не будет зависеть от начальных значений внутренних параметров. Это положение называется положением термодинамического равновесия, а время его установления – временем релаксации.

В положении термодинамического равновесия все внутренние параметры системы одинаковы для всей системы, т.е. не зависят от координат и времени. С этой точки зрения процесс установления термодинамического равновесия можно рассматривать как процесс выравнивания внутренних параметров, который сопровождается соответствующими процессами переноса. Простейшим видом описания подобной связи является известный закон теплопроводности Фурье, устанавливающий зависимость между потоком теплоты и градиентом температур:

$$q = - l \dot{N}T, \quad (3)$$

где q – удельный тепловой поток; l – коэффициент теплопроводности.

Термодинамическая идентичность l и S в уравнениях (1) и (3) позволяют провести анализ теплопроводности бетона по аналогии с уравнением (2). Следуя этой аналогии теплопроводность бетона в эксплуатационных условиях может быть выражена:

$$l(t) = l_0 - D l_0(t) \quad (4)$$

где l_0 – теплопроводность бетона при завершении, в основном, процессов структурообразования; $D l_0$ – приращение, которое возникает в результате эксплуатационных воздействий за время t . Знак «минус» указывает, что релаксация теплопроводности связана с уравновешиванием конструктивных и деструктивных процессов, происходящих в бетоне, которые в целом приводят к уменьшению внутреннего напряжения и развитию необратимых деформаций.

В термодинамическом аспекте можно предположить, что скорость изменения теплопроводности пропорциональна её отклонению от равновесного значения (I^{\wedge}). В этом случае:

$$d(I - I^{\wedge})/dt = -(I - I^{\wedge})/t, \quad (5)$$

где t - время релаксации.

Интегрируя и преобразуя, получаем:

$$I(t) = I_0 - DI_0 e^{-(t)/t}, \quad (6)$$

Уравнение (6) можно считать общим уравнением теплопроводности бетона. Графическая интерпретация этого уравнения представлена на рис. 1.

Решение уравнения (6) сводится к минимизации I_0 и t . Очевидно, что I_0 представляет собой структурно – технологический, внутренний, аспект теплопроводности и должно прогнозироваться на стадии проектирования состава бетона.

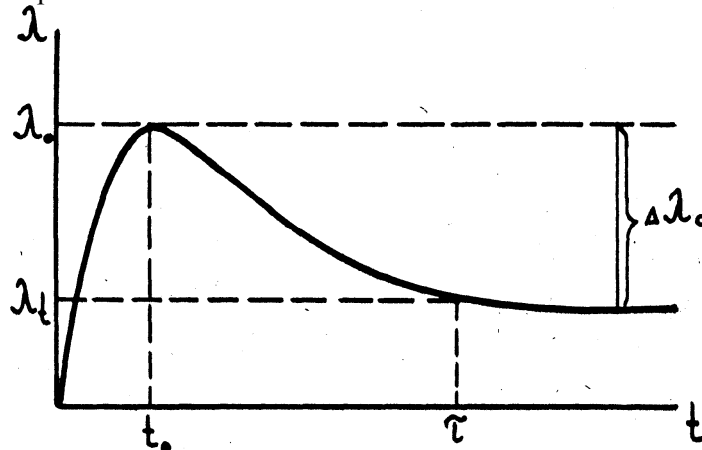


Рисунок 1. Графическая интерпретация общего уравнения теплопроводности бетона

Следовательно, релаксация теплопроводности, пропорциональна температуре эксплуатации и затуханию объёмных деформаций бетона, вызванных уровнем напряжения.

Экспериментальные исследования теплопроводности бетона (рис.2,3) подтвердили затухающий характер изменения DI_0 как функции времени и деформативности. Анализ этих результатов позволил получить уравнение изменения те-

Время релаксации t зависит не только от природы внутреннего параметра I_0 , но и от характера нарушения его равновесного значения, в первую очередь за счет деструкции.

Учитывая, что теплопроводность бетона связана с энергетическим состоянием его структуры ΔU и энтропией ΔS , можно предположить, что постоянная времени релаксации определяется соотношением (DU/DS) . Анализируя (DU/DS) в рамках основных уравнений термодинамики для процесса деформирования тел, получаем выражение:

$$\Delta U/\Delta S = T + \Theta \text{ grad } T \quad (7)$$

где Θ - объёмные относительные деформации; T - температура.

плопроводности бетона во времени при фиксированном уровне напряжения:

$$I(t, h) = I_0 \{ 1 + At(Bt-1) + mh(1+0,93h) (1 - 2 m) [1 - mh(1+0,93h)(1-2m)] \} \quad (8)$$

где m - коэффициент Пуассона; h - уровни напряжения; t - время; A, B , - эмпирические коэффициенты, отражающие вид и качественные характеристики бетона.

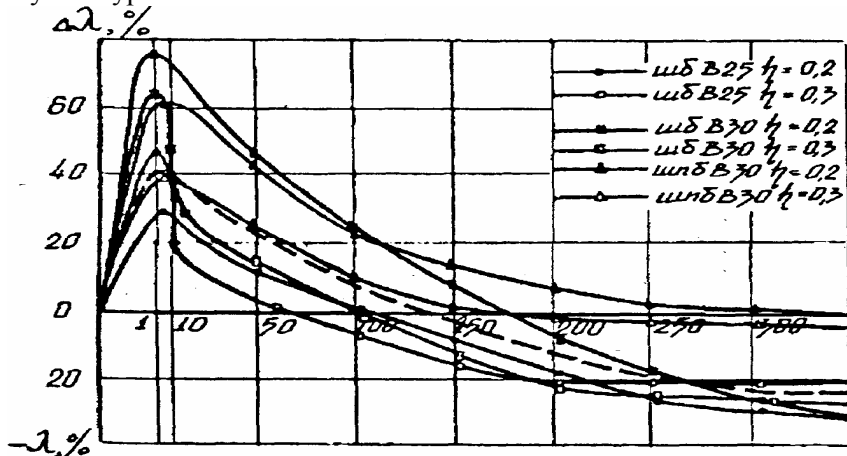


Рисунок 2. Изменение относительных приращений теплопроводности шлакобетонов во времени.

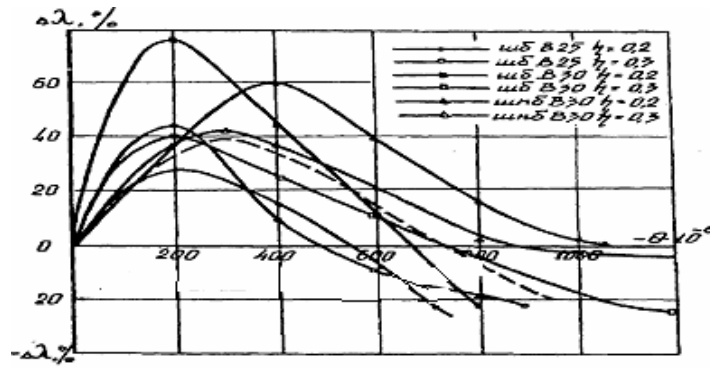


Рисунок 3. Влияние объёмных деформаций на приращения теплопроводности шлакобетонов.

С позиции термокинетической теории деформирования бетона и баланса энтропии, процесс

релаксации теплопроводности также связан с увеличением энтропии.

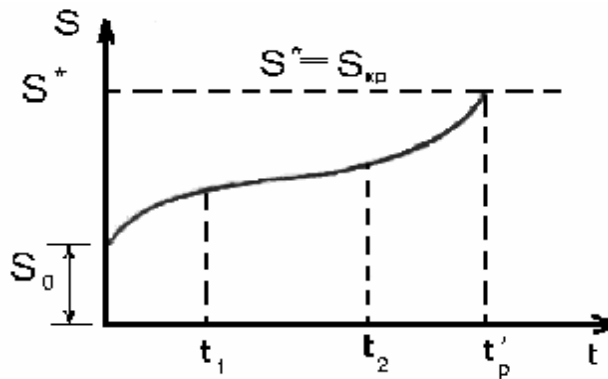


Рисунок 4. Схема роста энтропии бетона во времени при его деформировании (S^* - энтропийный критерий разрушения, t_1 и t_2 – границы инкубационной стадии).

Однако, в случае эксплуатации ограждающих конструкций из легкого бетона, кинетика этого процесса в основном заканчивается на «инкубационной» стадии (рис.4), когда в деформируемом бетоне зарождаются и накапливаются различного рода дефекты и повреждения. Этот процесс носит статистический характер и в каждый момент времени деформирования, заданным

условиям напряжения, соответствует определенная степень повреждаемости структуры данного бетона. Приращение энтропии за счет внешнего взаимодействия затухает и в целом оно не достигает уровня «энтропийного критерия разрушения», что соответствует нижнему уровню границ микротрещинообразования легкого бетона.

THERMODYNAMICS APPLICATION TO THE FORECAST OF LIGHT CONCRETE THERMAL CONDUCTIVITY

Gryzlov V.S.

Contact-type thermal conductivity is the main mechanism of thermal exchange in capillary and porous physical systems (e.g. light concrete) through two interrelated processes: particle-particle thermal transfer due to their direct contacts and particle-medium-particle thermal transfer. From thermodynamics point of view thermal exchange in light concretes is a heat transfer (heat flow Q), more exactly – an entropy transfer (S) from locations with higher temperature to those with lower temperature under the action of temperature gradient (∇T) due to the second law of thermodynamics. Thermodynamic identity of thermal conductivity coefficient (λ) and S allowed, on the basis of the second law of thermodynamics, to deduce a general equation for light concrete thermal conductivity forecast in the conditions of its exploitation. It has been found out that thermal conductivity relaxation (τ) is proportional to the concrete volume deformation damping (Θ) caused by temperature gradient and the level of tension (η). Light concrete thermal conductivity experimental research confirmed damping character of $\nabla \lambda$ change as a function of time (t) and deformation.