

## ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ "ГОРЯЧИХ" БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Одно из направлений метода ускорения твердения бетона – предварительный разогрев бетонной смеси. Благодаря его применению уменьшается время термообработки изделий, увеличивается оборачиваемость форм, снижаются затраты труда и энергии.

Напряжения в изделии при его тепловой обработке обычно возникают как за счет прямого температурного расширения скелета, так и за счет увеличения давления воды и газопаровой субстанции в порах материала. Давление, возникающее вследствие объемного расширения воды, может достичь больших значений, но оно быстро ослабевает вследствие негерметичности пор.

Значительно медленнее возникает релаксация давлений, вызванных газопаровой субстанцией, так как она сжимаема, и давление может уменьшаться только за счет негерметичности пор.

Если перейти к количественной оценке этого процесса, то, считая в первом приближении пору как герметический сосуд, процесс будет иметь изохорный характер. Уравнения состояния процесса имеют вид

$$p_{0.B} \cdot V = RT_0; \quad p_{1.B} V = RT_1, \quad (1)$$

где  $p_{0.B}$  – парциальное давление воздуха при температуре  $T_0$ ;  $p_{1.B}$  – парциальное давление воздуха при температуре  $T_1$ ,  
или

$$p_{1.B} = \frac{T_1}{T_0} p_{0.B}. \quad (2)$$

Парциальное давление водяного пара  $p_{1.П}$  зависит от температуры насыщения  $T_H$ , равной температуре среды  $T_1$ , т.е.

$$p_{1.П} = p_H(T_1 = T_H). \quad (3)$$

Суммарное давление смеси в поре будет

$$p_1 = p_{1.B} + p_{1.П}. \quad (4)$$

Если построить график (рис. 1) по выражениям (2) и (3), то можно оценить увеличение давления в каждом конкретном случае.

При горячем бетонировании факторы увеличения давления сказываются в ослабленном виде, так как удается избежать значительных градиентов температуры, вызывающих напряжения. Вместе с тем при горячем бетонировании возникают отрицательные явления, к которым в первую очередь следует

отнести потерю подвижности смеси и ее удобоукладываемость, вызванные сокращением сроков схватывания при повышенных температурах.

Таким образом, наиболее рациональным способом разогрева следует считать тот, при котором можно получить минимальную температуру бетонной смеси.

Для выявления общей закономерности потери подвижности бетонной смеси от температуры и начальной подвижности холодного бетона были проанализированы литературные данные. На начальном этапе потери подвижности эта зависимость в первом приближении может быть аппроксимирована следующим выражением

$$\Delta h = \Delta h_0 - \left( \frac{t_{\text{б.см}}}{32} \right)^n, \tag{5}$$

где  $\Delta h_0$  – осадка конуса холодной бетонной смеси;  $t_{\text{б.см}}$  – температура бетонной смеси;  $n$  – показатель степени.

На основании формулы (5) подсчитана осадка конуса при различных температурах смеси и показателях степени. При этом за осадку конуса  $\Delta h_0$  холодного бетона принята величина, равная 12 см.

Для любой другой начальной осадки конуса данные можно пересчитать введением поправочного коэффициента

$$\Delta h = \Delta h_{12} \frac{\Delta h_0}{12}, \tag{6}$$

где  $\Delta h_{12}$  – осадка конуса при любой температуре при  $\Delta h_0 = 12$  см.

Значения, подсчитанные по (5), сведены в таблицу, на основании которой построена серия графиков, изображенная на рис. 2.

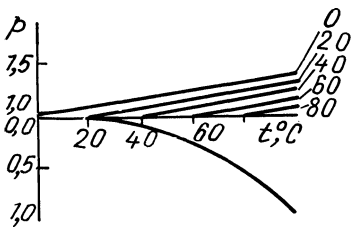


Рис. 1. График зависимости давления смеси в поре  $p_1$  от температуры.

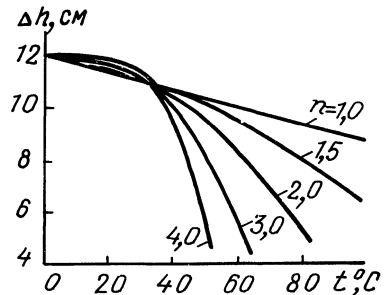


Рис. 2. Графики зависимости потери подвижности бетонной смеси от температуры при различных степенях  $n$ .

На более поздних этапах потери подвижности характер кривых резко меняется и не подчиняется выражению (5).

Горячую бетонную смесь получают в бетономешалке нагревом наружной части барабана, подачей пара непосредственно в бетоносмеситель, электрозагретом бетонной смеси в бункерах, формах, бадах с помощью электро-

дов. Все приведенные методы обладают теми или иными недостатками, к которым в первую очередь следует отнести:

необходимость разогрева в начальный момент растворной части бетонной смеси;

трудности с инженерной реализацией этих процессов;  
сложность соблюдения заданного В/Ц отношения.

Вместе с тем получение горячей смеси может быть достигнуто и за счет подогретых заполнителей и воды.

При сопоставлении методов нагрева одним из определяющих факторов является уменьшение подвижности бетонной смеси при температурах 80–90°C. На подвижность бетона влияет не температура бетонной смеси в целом, а температура, которую приобретает вяжущее в процессе его приготовления. При существующих методах получения горячей бетонной смеси (электроразогрев, разогрев в смесителе) в первую очередь подвергается разогреву вяжущее с последующей передачей тепла внутрь крупного заполнителя и постепенным падением средней температуры бетонной смеси.

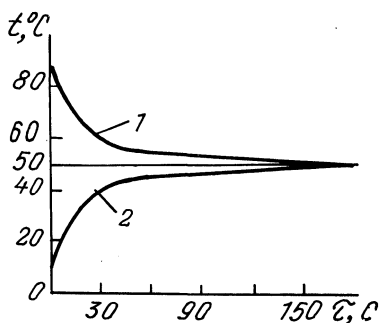


Рис. 3. График зависимости температуры вяжущего от времени при обычных методах разогрева (1) и при использовании разогретых заполнителей (2).

При изготовлении горячей бетонной смеси за счет горячих крупных заполнителей вяжущее в начальный момент времени будет иметь более низкую температуру. В процессе дальнейших технологических переделов оно всегда будет иметь температуру ниже температуры бетонной смеси в целом до начала интенсивной реакции гидратации.

Изложенное можно подтвердить расчетом. Если в первом приближении принять средний диаметр фракции щебня  $d = 16$  мм и считать, что выравнивание температуры произойдет практически при значении критерия  $F_0 = 2$ , то длительность процесса будет равна 0,05 ч, или 3 мин, т.е. при подогреве крупного заполнителя до высокой температуры и применении воды и мелкого заполнителя с нормальной температурой при изготовлении смеси вяжущее в течение первых 3 мин будет иметь температуру, меньшую температуры бетонной смеси.

В случае подогрева вяжущего, при использовании заполнителей нормальной температуры, средняя его температура в течение этого промежутка

времени будет иметь большее значение, чем средняя температура бетонной смеси.

Графически этот процесс представлен на рис. 3. Средняя температура смеси здесь принята равной  $50^{\circ}\text{C}$ , вяжущее охлаждается от  $90$  до  $50^{\circ}\text{C}$  (кривая 1), а заполнитель подогревается от  $15$  до  $50^{\circ}\text{C}$  и также он охлаждается от  $90$  до  $50^{\circ}\text{C}$ , а вяжущее при этом греется от  $15^{\circ}\text{C}$  до  $50^{\circ}\text{C}$  (кривая 2).

В первом случае (кривая 1) средняя температура вяжущего в течение 3 мин равна  $+60^{\circ}\text{C}$ , а во втором (кривая 2) —  $+40^{\circ}\text{C}$ , т.е. подвижная часть бетонной смеси в случае применения горячих заполнителей имеет более низкую температуру, что благоприятно сказывается на подвижности бетона и начале сроков схватывания.

Изложенное экспериментально подтверждено сотрудниками кафедры Строительной теплофизики БПИ совместно с лабораторией ДСК-1.

Таким образом, представляется наиболее рациональным получение "горячего" бетона за счет подогрева крупных заполнителей.

УДК 536.2

А.Д. Зарецкая, *мл. научн. сотр.*  
(БПИ)

### МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КОНТАКТНОМ НАГРЕВЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В СУШИЛЬНОМ БАРАБАНЕ

В современных сушильных барабанах, применяемых при производстве асфальтобетонных смесей, около 70% тепла передается сыпучему материалу в радиационной зоне, занимающей около трети длины барабана. Для предохранения корпуса и насадки радиационной зоны от деформации и прогорания, а также для обеспечения интенсивной передачи тепла факела сыпучему материалу лопастную насадку в этой зоне выполняют особой конструкции [1,2 и др.], которая способствует минимальному пересыпанию частиц по сечению барабана. При этом основной нагрев засыпки происходит за время контакта частиц с поверхностью лопатки, в свою очередь нагреваемой факелом.

В настоящее время теоретически и экспериментально доказано, что сыпучий материал при контактном нагреве имеет граничный слой, теплофизические характеристики которого оказывают решающее влияние на теплообмен в начальной стадии процесса [3,4]. На модели элементарной ячейки граничного слоя сыпучего материала, находящегося на лопатке, рассмотрим механизм передачи тепла в радиационной зоне барабана (рис. 1). Плотность теплового потока излучения факела  $q_{\text{ф}}$ , зависящая от температуры и излучательной способности факела, за время контакта частиц с лопаткой изменяется незна-