

тепловой обработке паром бетонных и железобетонных изделий на заводах и полигонах. М., 1969. 3. Миронов С.А., Малинина Л.А. Ускорение твердения бетона. М., 1964. 4. Кайсер Л.А., Марьямов Н.Б., Панфилова Л.И. Температурные градиенты в бетоне сборных конструкций, подвергаемых пропариванию, и их влияние на качество и долговечность бетонов. - "Труды РИЛЕМ". М., 1968. 5. Эршлер Э.Я. Влияние тепловыделения цемента на режимы пропаривания. - "Бетон и железобетон", 1962, № 2. 6. Таташвили А.З., Серингюлян В.В., Хаджашвили М.М. Тепловая обработка легких бетонов в вентилируемой сухой среде. - "Строительные материалы". 1969, № 5. 7. Чермянин И.Р., Вержбицкая М.Г., Загико В.М. Сравнительные исследования пропаривания и беспарового прогрева керамзитобетона. - "Строительные материалы, детали и изделия", вып. ХУІ. Киев, 1972. 8. Солдаткин М.Т., Будько С.К. Термообработка панелей наружных стен в электроиндукционной установке. М., 1968. 9. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. М., 1968. 10. Иванцов Г. П. Нагрев металла. М., 1948.

УДК 666.97

И.И. Станецкая (канд.техн.наук),  
С.П. Баранов (канд.техн.наук)

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОПУСТОТНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕКРЫТИЙ В ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННОЙ КАМЕРЕ С ТЕПЛОИЗЛУЧАЮЩИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований процесса тепловой обработки панелей перекрытий в электроиндукционной камере с теплоизлучающими поверхностями [1].

Опыты проводились на заводе сборного железобетона Минского ДСК-1. На серийных многопустотных панелях типа ПТК59-12 и ПТК63-12, изготовленных из бетонной смеси состава: песок - 850 кг, щебень - 1050 кг, цемент Волковысского цементного завода марки 500 - 370 кг, вода - 165 кг. Формование панелей производилось на стандартной виброплощадке грузоподъемностью 5 т.

Предварительная выдержка отформованных изделий составляла 1,5 - 2 ч.

В процессе экспериментальных исследований были выявлены: оптимальная схема укладки панелей в камеру; распределение температур в бетоне изделий при различных схемах их укладки; количество испаренной воды затворения; механические свойства бетона панелей.

Анализ температурных кривых показывает, что при укладке панелей в один ряд по высоте максимальный перепад температур по сечению достигает  $7^{\circ}\text{C}$  по истечению часа после начала тепловой обработки, затем он уменьшается и через  $3,5$  ч составляет  $2 - 3^{\circ}\text{C}$  (рис.1).

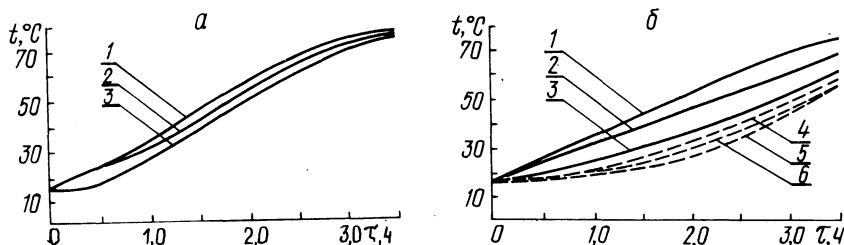


Рис. 1. Кривые изменения температур в процессе тепловой обработки: а - однорядная укладка панелей по высоте; б - двухрядная укладка панелей по высоте; 1, 2, 3 - соответственно в верхнем, среднем и нижнем сечении верхней панели; 4, 5, 6 - то же - нижней панели.

При двухрядной укладке панелей перепад температур по сечению верхней панели достигает максимальной величины через  $2$  ч после начала тепловой обработки и составляет  $18^{\circ}\text{C}$ . В дальнейшем он незначительно изменяется и к концу тепловой обработки равен  $13^{\circ}\text{C}$ .

Увеличение температурного перепада по сечению панелей при укладке их в два ряда по высоте объясняется изменяющимися условиями тепло- и массообмена по сравнению с однорядной укладкой. При постоянной мощности камеры плотность теплового потока остается постоянной и не зависит от количества загруженных изделий. В то же время при однорядной укладке происходит двусторонний нагрев панелей, а при двухрядной - верхняя и нижняя панели нагреваются только с одной стороны.

Перепад температур по сечению изделия при двустороннем нагреве равен [2]

$$\Delta t = \frac{qS}{2\lambda}, \quad ^{\circ}\text{C}, \quad (1)$$

а при одностороннем

$$\Delta t = \frac{qS}{\lambda}, \quad ^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

где  $q$  - плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $S$  - толщина панели, м;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности материала панели, Вт/м·град.

Отсюда следует, что при одинаковых значениях коэффициента теплопроводности и плотности теплового потока перепад температур в случае одностороннего нагрева должен быть в два раза больше, чем при двустороннем. Однако при исследовании процесса тепловой обработки панелей оказалось, что перепад температур по сечению верхней панели при двухрядной укладке оказался больше, чем расчетный (18°С вместо 14°С).

При анализе температурного поля нижней панели обнаружено, что минимальная температура по ее сечению находилась не на верхней поверхности, а почти в среднем сечении. Это свидетельствует о том, что, во-первых, нижняя панель нагревается с двух сторон - от верхней панели сверху и от излучающей поверхности снизу; во-вторых, тепловое воздействие от нагретых поверхностей камеры на верхнюю панель интенсивнее, чем на нижнюю.

Последнее вызвано тем, что поддоны, на которых формируются панели, имеют сверху и снизу стальные листы, между которыми воздушное пространство. Поэтому нижний лист поддона является экраном для лучистого теплового потока и уменьшает его плотность в 2 раза. Вследствие этого температурный перепад по сечению в нижней панели не превышает 6 - 7°С, а в верхней он больше расчетного за счет теплоотдачи от нижней ее поверхности и нижней панели.

Особенностью процесса тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий в камерах с теплоизлучающими поверхностями является перераспределение поступающего к изделиям потока тепла на нагрев и испарение. В начале процесса испарение практически отсутствует и все поступающее тепло расходуется на нагрев изделий (рис.2). По мере повышения температуры бетона интенсивность испарения воды и доля тепла на этот процесс увеличиваются, а на нагрев уменьшаются. Поэтому в процессе тепловой обработки скорость подъема температуры на поверхности изделий уменьшается и практически прекращается при 75 - 78°С. Это говорит о том, что почти все тепло, поступающее к изделию, идет на испарение.

Баланс влаги до и после тепловой обработки панелей позволяет с достаточной точностью судить о количественных расходах воды на испарение и гидратацию. После тепловой обработки в течение 3,5 ч средняя остаточная влажность составляет

1,5 - 2%, что соответствует 24 - 27 кг воды на 1 м<sup>3</sup> бетона. Общее количество испаренной воды с одной панели равно 9 x 7,2 = 64,8 кг. Количество прогидратировавшей и связанной воды, определенное по разности  $Q_{\text{затв}} - (Q_{\text{исп}} + Q_{\text{ост}}) = 165 - (27 + 64,8) = 44,2$  кг, составляет 12% от массы цемента.

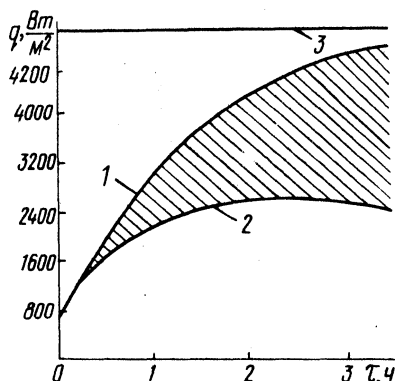


Рис. 2. График теплового баланса нагрева панелей: 1 - расход тепла на нагрев и испарение; 2 - расход тепла на нагрев бетона; 3 - тепловая мощность камеры.

Средняя температура верхних панелей через 3,5 ч равна 70-72°С, а нижних около 60°С. Так как дальнейшего роста температуры поверхности панелей не наблюдается, а происходит интенсивное их обезвоживание, то этот момент следует считать завершающим в процессе тепловой обработки.

Визуальные наблюдения показали, что все панели независимо от способа укладки и места их нахождения при тепловой обработке имели гладкую поверхность без шелушения и без трещин термического происхождения.

Совместно с панелями производилась тепловая обработка кубиков размером 200 x 200 x 200 мм. Характеристики механической прочности кубиков представлены в табл. 1.

Таблица 1. Прочность бетона

Условия твердения	Наименование панели	Механическая прочность, кг/см <sup>2</sup>			
		после охлаждения	1-е сутки	7-е сутки	28-е сутки
В установке с теплоизлучающими поверхностями	Верхняя	205	220	310	312
		190	225	295	307
		207	220	305	310
	Нижняя	190	230	305	320
		194	225	315	325
		182	228	310	315
Естественное твердение				315	330

Таблица 2. Результаты механических испытаний панелей

Наименование нагрузок	Ед. изм.	Вариант I		Вариант II	
		ПТК59-12	ПТК63-12	ПТК59-12	ПТК63-12
Расчетная для проверки появления первых трещин	кг/м <sup>2</sup>	5640	5900	5640	5900
Действительная, вызвавшая появление первых трещин	"	5600	6200	6600	7000
Расчетная для проверки прогиба	"	4890	5183	4890	5183
Допустимый прогиб	мм	17	15	17	15
Максимальная (до разрушения)	кг/м <sup>2</sup>	7500	9600	7500	9600
Действительная	"	7100	9800	9600	9800
		(разрушилась)	(не разрушилась)	(не разрушилась)	(не разрушилась)

Разница средних температур бетона в верхних и нижних кубиках существенно не сказалась на их механических свойствах. Кроме того, нарастание прочности бетона, который имел более низкую температуру, происходило несколько интенсивнее, а к 7-му суточному возрасту бетон набирал марочную прочность.

При тепловой обработке кубиков в опалубке и разопалубленных панелей процессы тепло- и массообмена протекают по-разному, и поэтому судить по кубиковой прочности о качестве изделий, подвергнутых тепловой обработке в камерах с теплоизлучающими поверхностями, нужно весьма осторожно. Исходя из этого, были проведены исследования несущей способности панелей (табл. 2).

Расход электроэнергии на термообработку 1 м<sup>3</sup> плотного бетона при различных схемах укладки панелей в камере составил при однорядной укладке - 130 кВт, при двухрядной укладке - 95 кВт.

Резюме. При использовании электроиндукционной камеры с теплоизлучающими поверхностями для тепловой обработки многопустотных панелей перекрытий из тяжелого бетона время обработки можно сократить в 2,5 - 3 раза по сравнению с пропариванием. Общая длительность цикла тепловой обработки составляет около 3,5 ч, при этом распалубочная прочность достигает 65 - 70% R<sub>н.ТВ</sub><sup>2х</sup>, а в возрасте 7 суток - приближается к 100%.

Тепловую обработку изделий желательно производить в один ряд по высоте. В этом случае создаются более благоприятные

условия твердения бетона без деструктивных явлений, вызванных большими температурными перепадами по толщине.

Количество остаточной воды в бетоне панелей достаточно для дальнейшего процесса гидратации цемента.

Нежелательно выдерживать изделия в камере, когда температура их поверхности достигает 75 - 80 °С. Это приведет к обезвоживанию бетона.

### Л и т е р а т у р а

1. Солдаткин М.Т., Будько С.К. Термообработка панелей наружных стен в электроиндукционной установке. М., 1968.
2. Тайц М.Ю. Технология нагрева стали. М., 1953.

УДК 678.06

И.Д. Маслаков (канд.техн.наук) ,  
А.Д. Маслаков (канд.техн.наук)

### ПРОЦЕСС ТВЕРДЕНИЯ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

Процесс твердения полимербетонов ускоряется нагревом [1, 2]. В определенном интервале температур зависимость скорости твердения от температуры хорошо согласуется с уравнением Аррениуса

$$\ln k = \frac{A}{T} + B, \quad (1) \quad \ln k_1 = - \frac{E^*}{R^* T} + B, \quad (2)$$

где  $k_1$  - константа скорости данной реакции;  $B$  - постоянная интегрирования, зависящая от реагирующих компонентов;  $R^*$  - универсальная газовая постоянная (8,314 - 0,00035);  $T$  - температура;  $E^*$  - энергия активизации ( $E^* = -AR^*$ ).

Из уравнения (2) видно, что, чем выше энергия активизации, тем больше зависимость скорости реакции твердения от температуры. Зависимостью скорости реакции от температуры и объясняется ухудшение механических свойств изделий из полимербетонов при неравномерном нагреве их в процессе термообработки. Полимербетоны по своей природе являются диэлектрическими материалами с относительно низкой теплопроводностью. На равномерный нагрев их конвекционным или контактным способом требуется много времени. Это приводит к низкому коэффициенту использования производственных площадей.

Термообработка изделий из полимербетона методами диэлектрического нагрева в электрическом поле высокой или сверхвысокой частоты имеет ряд преимуществ. Диэлектричес-