

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СБОРНЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

*А. Г. ТАШКИНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На заводах ЖБИ для ускорения твердения бетона, увеличения выхода продукции с единицы производственной площади, повышения оборачиваемости металлической бортоснастки применяют тепловую обработку изделий. Ее разновидность с сохранением влаги в материале – тепловлажностная обработка (ТВО), создает благоприятные условия для гидратации цемента и формирования структуры бетона. Режим ТВО бетона включает три основных периода: нагрева, изотермической выдержки и охлаждения. Основными параметрами режима являются продолжительность периодов и максимальная температура нагрева (температура изотермической выдержки). Они подбираются расчетно-экспериментальным методом. Экспериментальная проверка выбранных режимов позволяет оценить фактическое влияние факторов, способствующих возникновению деструктивных процессов в бетоне при ТВО:

1) расширение бетона при нагреве, которое приводит к повышению пористости и снижению прочности (увеличение пористости бетона на 1 % снижает прочность в возрасте 28 суток на 5 %), способствует образованию микротрещин в материале;

2) различие температурных коэффициентов объемного расширения у заполнителей и формирующегося цементного камня, что снижает прочность их сцепления в твердеющем бетоне;

3) существенное увеличение газообразной фазы в бетоне при нагреве, что может приводить к образованию сквозных пор, разрыхлению структуры и вспучиванию поверхности бетона;

4) испарение влаги из твердеющего бетона, из-за чего ухудшается контакт цементного теста с заполнителем и арматурой, замедляется набор прочности материала;

5) ускорение гидролиза и гидратации алита при нагревании, снижение растворимости гидрата окиси кальция, что создает условия для быстрого роста крупных кристаллов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , которые могут вызывать локальные разрушения в твердеющем цементном камне;

б) повышенная температура, которая интенсифицирует процесс формирования рыхлых коагуляционных структур на основе гидратированного трехкальциевого алюмината с высоким содержанием воды, что приводит к образованию в структуре цементного камня дефектных, малопрочных включений.

Экономичные режимы ТВО требуют надежного утепления тепловых установок. Для наиболее распространенных из них – ямных пропарочных камер, максимальный эффект утепления достигается при расположении теплоизоляции на внутренней поверхности ограждающих конструкций за счет снижения их тепловой емкости и увеличения термического сопротивления. Защита утеплителя от увлажнения паром и эксплуатационных механических воздействий обеспечивается в многослойном ограждении из защитного железобетонного слоя, пароизоляции, утеплителя и наружного несущего слоя из легкого бетона.

Параметры стеновых ограждений оптимизировались в ходе прочностных и теплотехнических расчетов, с учетом ранее полученных экспериментальных данных [1]. Достаточной прочностью для восприятия возможных при эксплуатации ударов стальной формы о стенку камеры и температурно-влажностных напряжений обладает внутренний (со стороны пропарочной камеры) защитный слой из армированного тяжелого бетона класса В20 толщиной 50 мм. Наружный слой ограждения, несущий нагрузку от массы крышки и стенки камеры, рекомендуется выполнять толщиной 100 мм из армированного керамзитобетона класса В10.

Теплотехнический расчет стеновых ограждений для нестационарных условий выполнялся методом конечных разностей. Как показывают расчеты (рисунок 1), теплоизоляция стен пропарочных камер утеплителем со средней плотностью 100–200 кг/м<sup>3</sup> (минватой, пеностеклом, термостойкими пенопластами) с оптимальной толщиной 100–150 мм снижает расход тепловой энергии на ТВО изделий в 1,5–1,9 раза. При коэффициенте заполнения камеры 0,05–0,1 это дает экономию тепловой энергии 210–360 МДж (91–156 кг пара) на 1 м<sup>3</sup> пропариваемых изделий.

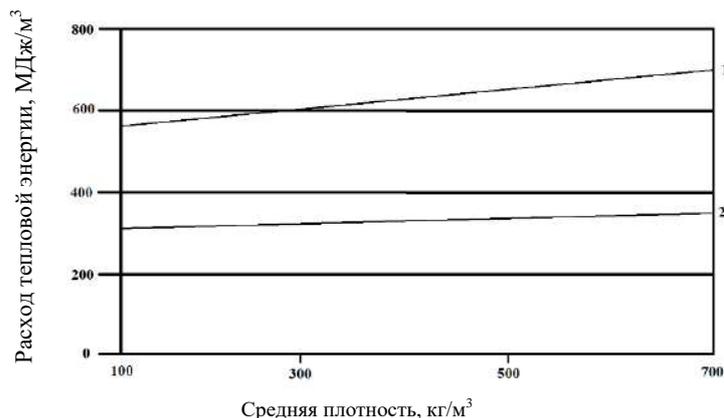


Рисунок 1 – Зависимость расхода тепловой энергии на ТВО 1 м<sup>3</sup> бетона от средней плотности утеплителя стен пропарочной камеры при коэффициенте заполнения 0,05 (1) и 0,1 (2)

Дополнительная экономия достигается при замене периода изотермической выдержки с подачей пара на термосное остывание. Как показывают опытные данные, скорость остывания камеры составляет при этом 0,8–2,2 °С в час в зависимости от коэффициента заполнения установки. Чем он больше, тем больше тепла аккумулирует бетон пропариваемых изделий и, следовательно, остывание будет происходить медленнее. При таком режиме, когда пар подается в камеру только в период подъема температуры, расход пара снижается еще на 20–30 %. Похожий эффект дает применение режимов с пониженными температурами нагрева, когда заданную прочность бетон набирает за более длительный срок.

Пароизоляция, располагаемая за защитным железобетонным слоем, препятствует увлажнению утеплителя паровоздушной средой пропарочной камеры. Результаты длительных испытаний в такой среде образцов-фрагментов ограждений размером 500×500×300 мм, утепленных минватой, показывают (таблица 1), что полимерные пленки термостойкие при 100 °С: полиэтилентерефталатная (ПЭТФ) и полипропиленовая (ПП) – эффективны только при склейке или сварке кромок. Устройство второго пароизоляционного слоя после утеплителя (перед несущим керамзитобетонным слоем) нецелесообразно, поскольку способствует накоплению влаги в утеплителе.

Таблица 1 – Влажность утеплителя в образцах с различной конструкцией пароизоляции после 4 месяцев пропаривания

Материал пароизоляции	Соединение листов пароизоляции	Расположение пароизоляции относительно утеплителя	Весовая влажность утеплителя, %
Без пароизоляции	Нет	Нет	81
ПП	С нахлестом	Одностороннее	76
ПЭТФ	То же	То же	73
ПЭТФ	Со склейкой	"	2
ПП	То же	"	3
ПП	С нахлестом	Двустороннее	48

Дальнейшее повышение экономичности и надежности работы установок для ТВО может быть достигнуто при использовании материалов, совмещающих функции тепло- и гидроизоляции [2].

#### Список литературы

- 1 **Золотухин, Ю. Д.** Экономическая камера пропаривания / Ю. Д. Золотухин, А. Г. Ташкинов, С. Ю. Ганцева // Бетон и железобетон. – 1983. – № 9 – С. 7–8.
- 2 **Ташкинов, А. Г.** Эффективные стеновые ограждения для ямных пропарочных камер / А. Г. Ташкинов // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2013. – С. 411–412.