

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

*А. Г. ТАШКИНОВ, О. В. КОЗУНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Экономия топливно-энергетических ресурсов в строительном комплексе республики, снижение энергоемкости всей номенклатуры выпускаемой продукции являются необходимыми условиями ее конкурентоспособности на внутреннем и внешних рынках строительных услуг. Большие резервы экономии тепловой энергии имеются в производстве бетонных и железобетонных изделий (ЖБИ). Самым энергоемким процессом при их изготовлении является тепловлажностная обработка, осуществляемая на заводах ЖБИ в пропарочных камерах периодического и непрерывного действия. У наиболее распространенных ямных пропарочных камер основной конструктивный недостаток заключается в большой тепловой емкости ограждений, которая в несколько раз превышает тепловую емкость пропариваемых изделий. Вследствие периодического характера работы ямных камер тепло, аккумулируемое ограждениями, безвозвратно теряется при перерывах в работе (во время выгрузки и загрузки изделий).

Значительное снижение тепловой емкости ограждений может быть достигнуто при устройстве дополнительного теплоизоляционного слоя со стороны внутреннего объема камеры. Одновременно при этом снижаются потери тепла в окружающую среду за счет увеличения термического сопротивления ограждения.

С целью оптимизации параметров теплоизолированных ограждений пропарочных камер исследовалось влияние места расположения утеплителя в ограждающей конструкции, его толщины и теплофизических характеристик на теплотехнические показатели тепловых установок для ускоренного твердения бетонных изделий. С учетом результатов анализа конструктивных решений существующих пропарочных камер производилась сравнительная оценка различных конструкций стеновых ограждений:

- однослойных, из бетона различной плотности;
- двухслойных, с внутренней облицовкой из утеплителя;
- трехслойных, с внутренним слоем из утеплителя.

Учитывая периодический характер работы пропарочных камер ямного типа, теплотери через ее ограждающие конструкции рассчитывались для нестационарных условий, с использованием метода конечных разностей. Этот метод основан на допущении возможности замены непрерывного процесса изменения температуры скачкообразным, как в пространстве, так и во времени. При этом дифференциальные уравнения теплопроводности заменялись уравнениями в конечных разностях, что позволило получить распределение во времени температур по толще ограждений и рассчитать теплотери через стенки, днище и крышку камеры.

В качестве граничных условий при расчете было принято:

- пропарочная камера незаглубленная, с открытым расположением на полигоне Гомельского ДСК;
- длительность активной тепловой обработки (продолжительность подъема температуры и изотермической выдержки)  $3 + 6 = 9$  ч;
- разность между начальной и конечной температурами разогрева бетона и металла форм  $85 - 20 = 65$  °С;
- длительность остывания камеры с закрытой крышкой 8 ч;
- температура глубинных слоев грунта в зоне нулевых колебаний температуры 5 °С.

Теплообмен на наружных поверхностях ограждений пропарочной камеры описывался граничными условиями III рода.

Расчетом установлено, что удельные потери тепла через трехслойные ограждения в 2,3–3,2 раза, а двухслойные ограждения в 5,3–13,9 раз меньше, чем через однослойные из тяжелого бетона, составляющие 32 МДж/м<sup>2</sup>. Теплотери сокращаются со снижением плотности утеплителя (с 800 до 200 кг/м<sup>3</sup>) и увеличением его толщины (с 50 до 100 мм).

Вследствие нестационарного характера теплопередачи основную часть теплопотерь через ограждающие конструкции пропарочных камер составляет тепло, аккумулируемое ограждениями, т. е. потери на их нагрев. В то же время теплопередача в окружающую среду за принятый в расчете период активной тепловой обработки незначительна и составляет для однослойных ограждений 13 %, для двухслойных – 8 % и для трехслойных – 4 %.

Для определения суммарного расхода тепловой энергии на тепловую обработку 1 м<sup>3</sup> бетонных изделий, затрачиваемой в ямных пропарочных камерах с различной конструкцией стеновых ограждений, составлялись уравнения теплового баланса. При этом внутренний объем камеры принимался равным 80 м<sup>3</sup>, площадь внутренней поверхности стен 50 м<sup>2</sup>. Было принято, что в камере пропаривались изделия из тяжелого бетона на портландцементе в стальных формах с металлоемкостью 1200 и 3000 кг/м<sup>3</sup>.

Расчеты показывают, что удельный расход тепловой энергии на пропаривание 1 м<sup>3</sup> бетонных изделий для базового варианта с однослойными неутепленными ограждениями составляет 480–930 МДж при коэффициенте заполнения камеры  $K_z = 0,05 \dots 0,1$ . В установках с двух- и трехслойными утепленными ограждениями этот показатель ниже на 30–40 %. Трехслойные ограждения несколько уступая двухслойным конструкциям по теплотехническим характеристикам (из-за большей тепловой емкости внутренней облицовки), обеспечивают лучшую защиту утеплителя от механических повреждений и температурно-влажностных воздействий. Это позволяет рекомендовать к использованию в пропарочных камерах оба типа ограждения с утеплителем.

Для защиты малопрочной внутренней облицовки в двухслойных ограждениях от возможных ударов металлических форм при загрузке изделий в камеру и их выгрузке следует использовать защитные бетонные или металлические упорные стойки или стойки типа СМЖ-293 с поворотными кронштейнами для укладки изделий.

В установках непрерывного действия (горизонтальных и вертикальных, с разным уровнем зон), где практически отсутствуют теплопотери на нагрев ограждений, целесообразно устройство теплоизоляции на наружной поверхности ограждений. При этом отпадает необходимость в устройстве паро- и гидроизоляционных слоев, защищающих утеплитель от увлажнения паровоздушной средой (как в устройствах периодического действия).

Наибольший эффект по энергосбережению в пропарочных камерах достигается, когда кроме усовершенствования ограждений выполняется целый комплекс технологических мероприятий, включающий:

- термосное выдерживание разогретых изделий в установках с теплоизолированными ограждениями;
- низкотемпературные режимы выдерживания изделий;
- учет дополнительного прироста прочности бетона в периоды межсменных перерывов (включая выходные и праздничные дни), после распалубки изделий и в период хранения на складах;
- применение цементов с возможно более высоким показателем активности при пропаривании;
- использование химических добавок, ускоряющих твердение бетона при тепловой обработке;
- использование систем парораспределения, обеспечивающих интенсивную циркуляцию паровоздушной смеси внутри камеры;
- установка контрольно-измерительных приборов для регистрации расхода и параметров пара в каждой камере;
- применение систем автоматического регулирования подачи пара (в соответствии с заданным режимом);
- повышение коэффициента заполнения камер;
- регулярные профилактические ремонты камер с целью исключения потерь пара через неплотности ограждений и гидрозатворов.

Реализация этих мероприятий позволит не только сократить удельные расходы тепловой энергии, но и увеличить выпуск готовой продукции с единицы производственной площади, а также повысить оборачиваемость металлической бортоснастки.