

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 697.452:621.565

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОПАРОЧНЫХ КАМЕР ПЕРЕМЕННОГО РАБОЧЕГО ОБЪЕМА

канд. техн. наук, доц. Э.И. ГОНЧАРОВ,
канд. техн. наук, доц. Т.И. КОРОЛЁВА, Е.С. ДОБРОСОЛЬЦЕВА
(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается один из важных резервов увеличения производства железобетонных изделий – совершенствование процесса тепловой обработки с целью снижения расхода тепловой энергии в камерах для тепловлажностной обработки железобетонных изделий. Исследовано влияние на энергоэффективность пропарочных камер коэффициента загрузки их бетоном. Показано, что уменьшение этого коэффициента до значений менее 0,15 резко увеличивает удельный расход пара на термообработку бетона. Предложена конструкция пропарочной камеры, которая позволяет поддерживать высокие значения коэффициента загрузки при любом количестве обрабатываемых в камере изделий. Это достигается тем, что пропарочная камера может менять свой рабочий объем, погружая стенки в канал с жидкостью с помощью подъемного устройства. Из-за того, что стенки выполнены легкими, паропроницаемыми и теплоизолированными сокращается расход теплоты на нагрев самой камеры и сокращаются потери теплоты в окружающую среду, что увеличивает энергоэффективность такой камеры. Для увеличения коэффициента заполнения бетоном существующих ямных камер предлагается конструкция модифицированной крышки, снабженной кожухом из эластичного материала, который опускается до уровня загрузки камеры изделиями, в результате рабочий объем приводится в соответствие с уровнем загрузки.

Введение. Проведение активной энергосберегающей политики с целью обеспечения снижения энергоемкости производимой продукции вызвано ограниченностью запасов минерального топлива, более низкими затратами на экономию энергоресурсов по сравнению с их добычей и производством, увеличением вредных выбросов в окружающую среду при возрастании потребления энергии. Промышленность сборного железобетона представляет собой крупную отрасль строительной индустрии, имеющую большие резервы экономии топливно-энергетических ресурсов, заложенные в совершенствование технологии и оборудования для ускоренного твердения железобетонных изделий, поэтому увеличение производства продукции должно сопровождаться снижением потребностей в теплоте и топливе.

Тепловая обработка остается эффективным методом ускоренного твердения бетона, позволяющим за короткое время обеспечить достижение прочности, при которой изделия можно отправлять на строительную площадку для монтажа. Известно, что тепловая эффективность типовых ямных пропарочных камер (отношение количества теплоты, используемой для нагрева бетонной смеси изделия, к общему расходу теплоты в камере) не превышает 25 %, поэтому разработка мероприятий по повышению эффективности полезного использования теплоты в таких установках является важной научно-технической задачей.

Постановка задачи. Уравнение теплового баланса пропарочной камеры имеет вид [1]:

$$Q = (1 + \mu) \cdot (Q_{\sigma} + Q_{\phi} + Q_c + Q_{\text{опр}}), \text{ кДж}, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, расходуемой на термообработку; μ – коэффициент, определяющий неучтенные теплотопотери в долях от общего расхода теплоты, обычно $\mu = 0,15$; Q_{σ} – теплота, идущая на нагрев бетона; Q_{ϕ} – теплота, расходуемая на нагрев металлических форм; Q_c – теплота, идущая на нагрев ограждений (стенки, пол, крышка) камеры; $Q_{\text{опр}}$ – теплота, расходуемая на компенсацию теплотопотерь через ограждения.

Теплота, расходуемая на нагрев бетона и металлических форм, определяется:

- для периода подъема температуры:

$$Q_{\sigma,н.} = G_{\sigma} c_{\sigma} (b - m) \tau_{\text{под}}; \quad (2)$$

$$Q_{\phi,н.} = G_{\phi} c_{\phi} (t_{н.н.} - t_0); \quad (3)$$

- для периода изотермической выдержки:

$$Q_{\delta,из.} = G_{\delta} c_{\delta} [(t_{ср,из.} - t_{ср,под.}) - m_{из} \tau_{из}]; \quad (4)$$

$$Q_{\phi,из.} = G_m c_m (t_{н,из.} - t_{н.п.}).$$

Здесь G_{δ} , G_m – вес загружаемых в камеру изделий и металла форм, кг; c_{δ} , c_m – удельные теплоемкости бетона и металла, кДж/(кг·°C); b – скорость подъема температуры форм в камере, °C/ч; m – параметр, характеризующий тепловыделения бетона, °C/ч; $\tau_{под.}$, $\tau_{из.}$ – продолжительность периодов подъема температуры и продолжительность выдержки, ч; t_o – начальная температура бетона, °C; $t_{н.п.}$, $t_{н,из.}$ – температуры поверхности бетона в конце периода подъема температур и в конце периода изотермической выдержки, °C; $t_{ср,под.}$, $t_{ср,из.}$ – средние температуры бетона в конце периода подъема температуры и в конце периода изотермической выдержки, °C.

Теплота, идущая на нагрев стенок и пола камеры:

$$Q_{ст} = 0,85(t_{из.} - t_{цик} - 35) \sqrt{\lambda_c c_c \gamma_c \tau_{цик}} \cdot (F_{ст} + F_n). \quad (5)$$

Расход теплоты на нагрев металлической крышки:

$$Q_{кр} = (c_m G_{м.к.} + 0,6c_y G_y) \cdot (t_{из.} - t_{цех}). \quad (6)$$

Теплота, расходуемая на компенсацию теплопотерь через ограждения:

$$Q = \alpha (t_p - t_{цех}) F_{опр} \tau_{цик}. \quad (7)$$

В формулах (5) – (7) $t_{цех}$ – температура наружного воздуха, °C; λ_c , c_c , γ_c – теплофизические параметры материала стен; $\tau_{цик}$ – цикл тепловой обработки бетона; $t_{из.}$ – температура изотермического прогрева, °C; $F_{ст}$, F_n – площадь стен и пола камеры, м²; $G_{м.к.}$, G_y – вес металла и утеплителя крышки, кг; $F_{опр}$ – общая площадь ограждений камеры, м²; t_p – расчетная температура поверхности ограждения, °C; α – коэффициент теплоотдачи ограждений, Вт/(м²·°C).

После подстановки в уравнение (1) соответствующих значений составляющих теплового баланса его можно использовать для расчета удельного расхода пара на тепловую обработку бетона:

$$G_{\text{пар}} = 0,538K_1(c + 0,134\beta) + 44,2 \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{B} + \frac{0,67}{H} \right) \cdot \frac{K_2 K_3}{\alpha_k}, \quad \text{кг/м}^3, \quad (8)$$

где $c = 0,2g_c + 0,115g_m + g_g$ – объемная теплоемкость железобетона; $\beta = G_m/V_{\delta}$ – отношение веса металла форм к объему бетона; V_k – объем камеры; L , B , H – длина, ширина, глубина камеры соответственно; α_k – коэффициент заполнения камеры бетоном ($\alpha_k = V_{\delta}/V_k$); K_1 , K_2 – коэффициенты, выбираемые из графиков [1], в зависимости от начальной температуры бетона, температуры воздуха в цехе, температуры изотермической выдержки и полного цикла тепловой обработки изделий.

Соотношение (8) позволяет исследовать влияние коэффициента заполнения камеры бетоном α_k на удельный расход пара при тепловой обработке бетона (рис. 1). Кривые построены для типовой ямной камеры прямоугольной конфигурации при $L = 7$ м, $B = 3,1$ м, $H = 1,75$ м, $V_k = 38$ м³; весовой состав бетона (сухие составляющие): $g_c = 2220$ кг, арматура $g_m = 40$ кг, вода $g_g = 180$ кг; $\beta = 2000$ кг/м³; полный цикл тепловой обработки $\tau_{цик} = 10$ ч; температура изотермической выдержки $t_{из.} = 90$ °C; начальная температура бетона $t_o = 15$ °C летом и $t_o = 5$ °C зимой; температура в цехе летом $t_{цех} = 18$ °C (кривая 1) и зимой $t_{цех} = 10$ °C (кривая 2).

Удельный расход пара на тепловую обработку существенно зависит от коэффициента заполнения камеры бетоном (см. рис. 1). Так, например, уменьшение α_k от значения 0,2 до 0,05 увеличивает удельный расход пара на обработку бетона почти в 2 раза и только при $\alpha_k > 0,15$ эта зависимость перестает быть существенной. Следовательно, наиболее эффективной пропарочной камерой будет такая, конструкция которой позволяет поддерживать высокие значения α_k при любом количестве обрабатываемых в ней изделий.

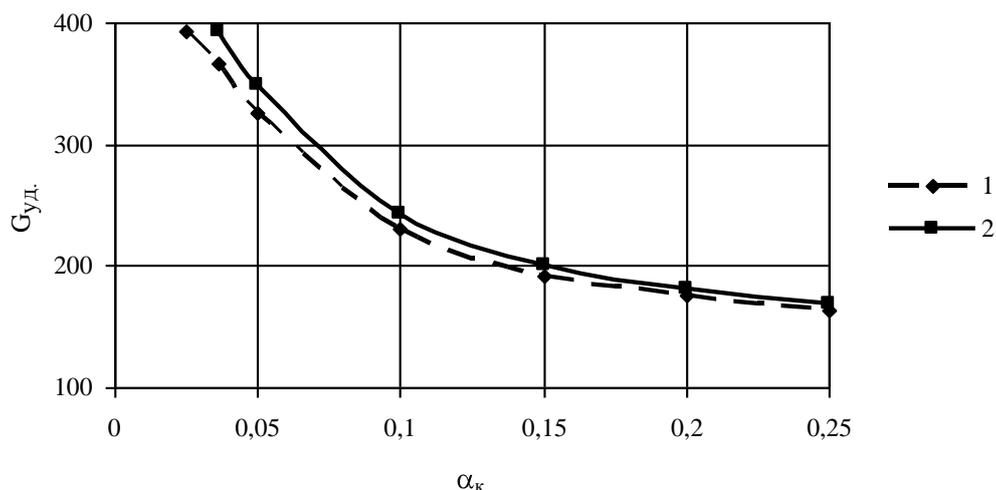


Рис. 1. Зависимость удельного расхода пара от коэффициента заполнения камеры бетоном

На предприятиях стройиндустрии проводят эксплуатационно-организационные технологические мероприятия по увеличению загрузки пропарочных камер:

- выводят часть камер в резерв;
- загружают в камеры дополнительные изделия;
- создают вместо сменных сквозные бригады для быстрой выгрузки и загрузки камер.

В данной работе предлагаются конструктивные решения, позволяющие иметь высокие значения коэффициента заполнения камеры бетоном при любом количестве обрабатываемых изделий.

Технические решения. На рисунке 2 представлена пропарочная камера, конструкция которой отвечает перечисленным выше требованиям [2]. Камера состоит из выполненной в форме арки крышки 1, днища 2, на котором размещаются пропариваемые изделия 3, уплотняющего устройства 4, расположенного на жесткой раме 5, к которой прикреплены стенки 6, входящие свободными концами в канал 7. Рама опирается на подъемное устройство 8.

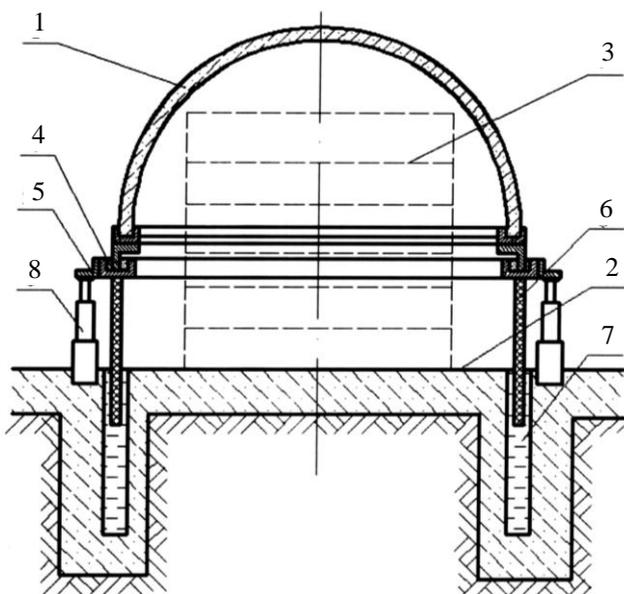


Рис. 2. Пропарочная камера

Пропарочная камера работает следующим образом. Перед началом загрузки пропарочной камеры изделиями рама опускается в нижнее положение, при этом стенки полностью входят в канал. После загрузки рама с помощью подъемного устройства выставляется на уровень, соответствующий высоте пакета изделий, крышка закрывается и начинается процесс термообработки железобетонных изделий. Перед

выгрузкой изделий крышка снимается, а стенки камеры погружаются в канал. Перемещая жесткую раму с помощью подъемного устройства и погружая стенки в канал с жидкостью, можно регулировать объем пропарочной камеры, приводя его в соответствие с уровнем загрузки изделиями.

Стенки типовых камер выполняются из тяжелого бетона толщиной 250...400 мм. Такие стенки прочны, мало теплопроводны и достаточно непроницаемы для паровоздушной смеси. Их недостаток – большой расход теплоты на нагрев, большая тепловая инерция, которая в ряде случаев не позволяет в заданное время нагревать и охлаждать изделия.

Стенки предлагаемой камеры не несут никакой механической нагрузки, они выполнены легкими, паронепроницаемыми и хорошо теплоизолированными. Используя методику расчета изоляции тепловых камер периодического действия [3] можно оценить сокращение расхода теплоты на нагрев самой камеры и сокращение тепловых потерь в окружающую среду через ограждения. При проведении загрузки-выгрузки стенки камеры погружаются в канал полностью, что ускоряет перегрузку и предотвращает остывание стенок, дополнительно сокращая расход теплоты на термообработку. Вышеуказанные мероприятия повышают тепловую эффективность пропарочных камер в 1,5...2 раза.

Для увеличения коэффициента заполнения бетоном существующих ямных пропарочных камер предлагается использовать модифицированную крышку пропарочной камеры [4], изображенную на рисунке 3.

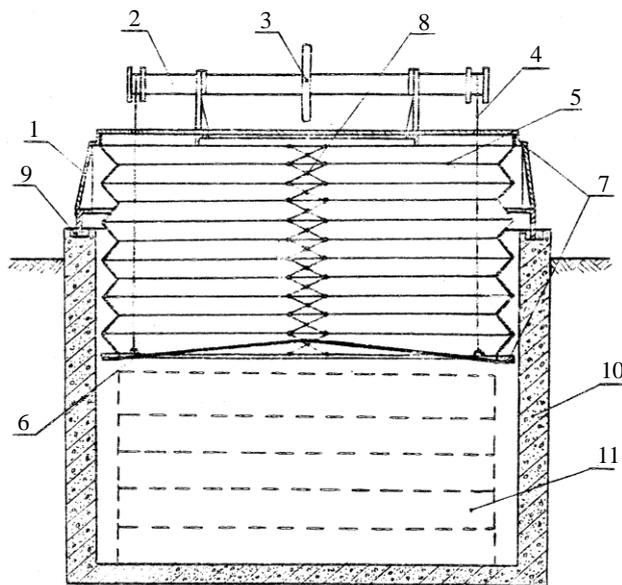


Рис. 3. Крышка пропарочной камеры

Крышка состоит из корпуса 1, на котором размещен подъемный элемент, включающий: барабан 2, приводное колесо 3 и тросы 4. Снизу к корпусу 1 крепится кожух 5 из эластичного материала, имеющего днище 6 и две рамы 7 сверху и внизу кожуха, соединенные между собой связями 8 по типу нюрнбергских ножниц. Крышка имеет уплотняющие элементы 9, расположенные в верхней части пропарочной камеры 10, загружаемой изделиями 11.

После загрузки изделий в пропарочную камеру днище, укрепленное в нижней части кожуха, при помощи подъемного элемента опускается до уровня загрузки камеры и рабочий объем пропарочной камеры приводится в соответствие с уровнем загрузки камеры. Это дает возможность интенсифицировать процессы тепловой

обработки изделий в пропарочной камере, а поскольку внутри кожуха находится неподвижный воздух, то происходит уменьшение потерь теплоты в окружающую среду через крышку.

Вывод. Предлагаемые конструкции пропарочной камеры и крышки пропарочной камеры позволяют поддерживать высокие значения коэффициента заполнения камеры бетоном при любом количестве обрабатываемых изделий, что приведет к значительному снижению удельных расходов пара на термообработку и уменьшению потерь теплоты в окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марьямов, Н.Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона / Н.Б. Марьямов. – М.: Изд-во лит. по стр-ву, 1980. – 271 с.
2. Пропарочная камера: пат. 4617 Респ. Беларусь, МПК С 04 В 41/00 / Э.И. Гончаров, Т.И. Королева, Е.С. Добросольцева; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № и 20080034; заявл. 18.01.2008; опубл. 30.08.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4.
3. Гончаров, Э.И. О выборе толщины изоляции тепловых камер периодического действия / Э.И. Гончаров. // Изв. вузов Энергетика. – 1994. – № 3 – 4. – С. 19 – 22.
4. Крышка пропарочной камеры: пат. 2095 Респ. Беларусь, МПК В28В17/00 / Э.И. Гончаров, Т.И. Королева, Е.С. Добросольцева; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № и 20040609; заявл. 20.12.2004; опубл. 02.05.2005 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2000. – № 3.

Поступила 16.01.2009