

УДК 666.97.035.55

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОПАРОЧНЫХ КАМЕР
ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА****А.М. НИЯКОВСКИЙ**, канд. техн. наук, доц. **Э.И. ГОНЧАРОВ**, **Е.С. ДОБРОСОЛЬЦЕВА**
(Полоцкий государственный университет)

Рассматриваются варианты организации процесса охлаждения пропарочных камер для обработки изделий из железобетона в условиях постепенного снижения температуры греющей среды и поддержания 100 % влажности этой среды. Предлагается для пропарочных камер с наружными стенами, выступающими на высоту более 1,5 м над уровнем пола цеха, разместить на этих стенах систему охлаждения в виде контуров естественной циркуляции технической воды, подъёмные и опускные ветви каждого из которых расположены на внутренней и наружной поверхностях стен камеры; для напольных камер, наружные стены которых углублены в землю, в качестве системы охлаждения после окончания термообработки изделий целесообразно использовать подачу во внутренний объём камеры через специальные форсунки диспергированных струй технической воды, на которых будет конденсироваться насыщенный водяной пар. Представлен расчёт процесса конденсации пара на поверхности подъёмных труб контуров естественной циркуляции технической воды и для камеры конкретного внутреннего объёма определена общая длина подъёмных труб.

Введение. Основным методом ускоренного твердения сборного железобетона на заводах железобетонных изделий является тепловлажностная обработка. Наиболее распространено пропаривание изделий в ямных камерах при давлениях греющей среды, несколько превышающих атмосферное. Весь процесс тепловлажностной обработки разбивается на три стадии: нагрев до достижения поверхностью изделия температуры изотермической выдержки; изотермическая выдержка; охлаждение до температуры выгрузки. Причём основные деструктивные процессы и структурные нарушения в бетоне возникают, наряду со стадией подъёма температуры, на стадии охлаждения. Эти нежелательные процессы, возникающие при пропаривании бетона, можно значительно уменьшить правильным выбором продолжительности предварительной выдержки свежеформованного изделия, скорости подъёма температуры греющей среды, а также скорости её снижения после окончания активного периода термообработки. Снижение температуры греющей среды в пропарочной камере должно производиться постепенно, чтобы перепад температур между поверхностью изделий и окружающим воздухом при выгрузке изделий из камер не превышал 40 °С [1]. Кроме температурного режима на процесс ускоренного набора прочности изделиями существенное влияние оказывает относительная влажность греющей среды. Известно [2], что стадию охлаждения изделий следует проводить при 100 % влажности среды в камере, поскольку в этом случае прочность бетона повышается на 20 %, снижается пористость, что значительно увеличивает его морозостойкость. Если же среда в камере будет ненасыщенной, с поверхности изделий начнёт испаряться влага, что приведёт к образованию трещин, уплотнению оболочек новообразований и, как следствие, вызовет затухание набора прочности.

Указанное выше соображение необходимо учитывать при выборе технической системы, обеспечивающей остывание изделий в закрытой пропарочной камере. Приём вентилирования внутреннего объёма пропарочных камер, требующий установки специального оборудования, затрат электроэнергии на привод вентиляторов, расхода пара на эжекторные затворы, не может обеспечить 100 % влажности среды в период охлаждения, поэтому представляется целесообразным предложить систему снижения температуры среды, исключающую подачу воздуха в закрытую пропарочную камеру. Кроме того, если не организовать процесс снижения температуры греющей среды, после открытия крышек камер, в которых пропаривались изделия, пар, не успевший сконденсироваться внутри камеры, попадает в помещение цеха. Поскольку температура в помещении ниже температуры насыщения, пар сконденсируется в воздухе в виде тумана, что на определённое время создаст сложные санитарно-гигиенические условия для работающих в цехе, ухудшая видимость, а дальнейшая конденсация на оборудовании и ограждениях будет способствовать коррозии и снижению теплозащитных свойств последних.

Технические решения. В зависимости от конструкции пропарочных камер возможны два варианта организации процесса их охлаждения после окончания термообработки железобетонных изделий. Если наружные стены пропарочной камеры выступают на высоту более 1,5 м над уровнем пола цеха, на них можно разместить систему охлаждения в виде контуров естественной циркуляции технической воды, подъёмные и опускные ветви каждого из которых расположены на внутренней и наружной поверхностях стен камеры.

На рисунке 1 приведено аксонометрическое изображение части стены пропарочной камеры со схемой расположения контура естественной циркуляции. На рисунке 2 показан общий вид подъёмной ветви внутри камеры; на рисунке 3 – разрез А – А изображения рисунка 2. Пропарочная камера содержит днище 1, крышку (на рисунках не показана), стены 2 с размещением по их периметру гидрозатвора 3 и контуров естественной циркуляции технической воды, опускные ветви которых 4 размещены на наружных

поверхностях стен камеры 2, а подъемные ветви, составленные из отдельных труб 5 и гибов труб 6 – на внутренних поверхностях стен. Для интенсификации процессов теплопередачи трубы 5 имеют ребра 7.

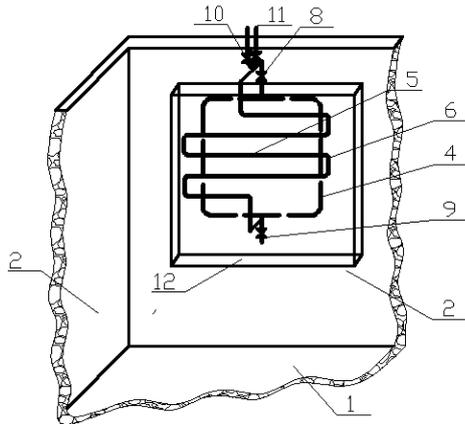


Рис. 1. Схема расположения контуров естественной циркуляции в пропарочной камере

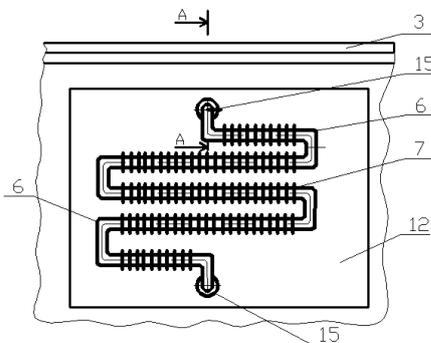


Рис. 2. Общий вид подъемной ветви внутри камеры

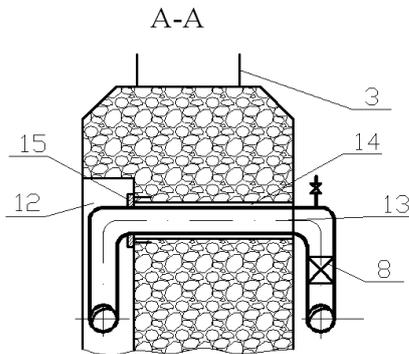


Рис. 3. Разрез А – А

Расчёт процесса конденсации пара на поверхности горизонтальных труб. В процессе расчёта необходимо определить поверхность горизонтальных труб, которая может обеспечить конденсацию находящегося в камере пара за заданный промежуток времени.

Количество теплоты, которое необходимо отвести от пара, чтобы он конденсировался, Дж,

$$Q = r \cdot G'' , \quad (1)$$

где r – теплота парообразования Дж/кг; G'' – количество пара в камере, кг.

Количество теплоты, которое необходимо передать воде, циркулирующей в контуре, Дж,

$$Q = \bar{\alpha} \cdot \Delta t \cdot F \cdot \tau . \quad (2)$$

Здесь $\bar{\alpha}$ – средний по периметру коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С); $\Delta t = t_s - \bar{t}_c$ – средний температурный напор, °С; F – общая поверхность подъемной ветви контура циркуляции, м²; τ – время, необходимое для конденсации пара, с.

Опускная ветвь каждого контура циркуляции снабжена запорным вентилем 8, который расположен в верхней части ветви, дренажным вентилем 9, воздушником 10 и вентилем с патрубком 11, который расположен в верхней части ветви, для заполнения контура охлаждающим агентом. Для защиты от механических повреждений при перезагрузке камеры трубы подъемных ветвей контура циркуляции размещены в нишах 12. Опускные и подъемные ветви каждого из контуров естественной циркуляции охлаждающего агента соединены горизонтальными трубами 13, пропущенными через образованные в стенах камеры сквозные каналы 14 и жёстко закреплёнными на внутренней поверхности стен пропарочной камеры при помощи накладок 15.

До начала термообработки изделий в пропарочной камере контуры циркуляции с помощью вентиля с патрубком 11 при открытых воздушниках 10 заполняются технической водой, которую в случае необходимости через дренажный вентиль 9 можно слить.

После загрузки камеры изделиями, подъёма температуры и окончания периода изотермического прогрева открывается запорный вентиль 8 и в контуре начинается циркуляция технической воды. На подъемных ветвях контуров начинается интенсивная конденсация пара, тепло которого будет передаваться к опускным ветвям 4, а от них – окружающему воздуху помещения. После окончания периода охлаждения перед выгрузкой изделий вентиль 8 закрывается и циркуляция воды прекращается.

Для наполных камер, наружные стены которых углублены в землю, в качестве системы охлаждения после окончания термообработки изделий целесообразно использовать подачу во внутренний объём камеры через специальные форсунки диспергированных струй технической воды, на которых будет конденсироваться насыщенный водяной пар. Конденсация пара на распылённой струе отличается высокой интенсивностью из-за резкого увеличения поверхности контакта воды и пара и уменьшения термического сопротивления переносу теплоты. Схема размещения диспергирующих форсунок по периметру камеры приведена на рисунке 4. Диспергирующая форсунка 1 размещена на коллекторе для технической воды 2, который расположен на днище камеры 3 по её периметру. Диспергируемые струи воды подаются в пространство между внутренней поверхностью стен камеры и пакетом пропариваемых изделий. Конструкция диспергирующей форсунки представлена на рисунке 5 и включает корпус 1, завихритель 2, сопло 3, прокладку 4.

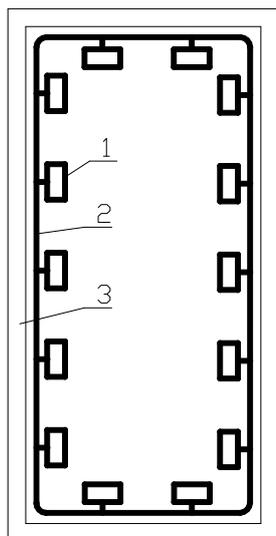


Рис. 4. Схема размещения форсунок в пропарочной камере

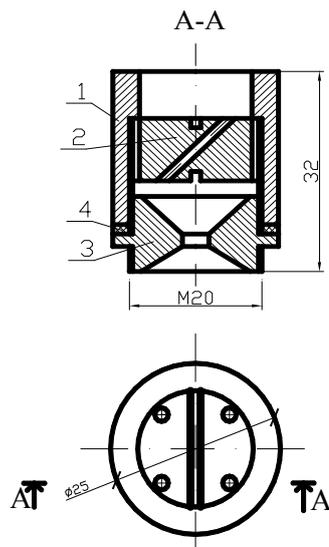


Рис. 5. Конструкция диспергирующей форсунки

Расчёт среднего по окружности горизонтальной трубы коэффициента теплоотдачи проведём по формуле [3]:

$$\bar{\alpha} = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{g \cdot \rho_{жс} \cdot r \cdot \lambda_{жс}^3}{\nu_{жс} \cdot d \cdot (t_s - \bar{t}_c)}}, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; $\lambda_{жс}$ – коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м·°С); r – теплота парообразования, Дж/кг; $\rho_{жс}$ – плотность воды, кг/м³; $\nu_{жс}$ – кинематический коэффициент вязкости, м²/с; d – наружный диаметр трубы, м; t_s – температура насыщенного пара, °С; \bar{t}_c – средняя температура поверхности стенки трубы, °С.

Для расчёта примем следующие значения входящих в формулы величин: температура насыщенного пара в камере $t_s = 100$ °С; средняя температура поверхности стенки трубы $t_c = 90$ °С; коэффициент теплопроводности $\lambda_m = 0,676$ Вт/(м·°С); теплота парообразования $r = 2256,7$ кДж/кг; плотность воды $\rho_{жс} = 999,8$ кг/м³; кинематический коэффициент вязкости $\nu_{жс} = 0,326 \cdot 10^{-6}$ м²/с; наружный диаметр $d = 25$ мм; время, необходимое для конденсации пара $\tau = 3600$ с. Суммарный коэффициент теплоотдачи $\alpha = 6233$ Вт/(м²·°С).

Размеры пропарочной камеры составляют: длина – 7,0 м; ширина – 3,75 м; глубина – 2,8 м; объём камеры 73,5 м³. Камера загружена на 0,2 своего объёма. Тогда объём паровоздушной смеси $V_{см} = 58,8$ м³. Примем расчётное содержание пара в смеси 95 % и получим объём насыщенного пара $V'' = 56$ м³, плотность насыщенного пара $\rho = 0,59$ кг/м³, весовое количество пара в камере $G'' = 56 \cdot 0,59 = 33$ кг. Следовательно, общая поверхность подъёмной ветви контура циркуляции (1), (2) $F = \frac{r \cdot G''}{\bar{\alpha} \cdot \Delta t \cdot \tau} = 0,66$ м², а общая

длина подъёмной ветви контура циркуляции $l = F / \pi \cdot d = 8,4$ м.

Расчёт процесса конденсации пара на диспергированной струе воды. Для приближенного расчёта процесса конденсации примем, что термическое сопротивление передачи теплоты от пара к воде, из-за высокой интенсивности процесса конденсации, пренебрежимо мало. Так, в [4] межфазное термическое сопротивление оценивается величиной порядка 10^{-7} м²·°С/Вт, поэтому количество холодной воды, подаваемой через диспергирующие форсунки в пропарочную камеру, определим из балансовых уравнений.

Количество теплоты, которое необходимо отвести от пара, определяется формулой (1). Количество теплоты, которое необходимо передать охлаждающей воде, Дж:

$$Q = C_{mp} \cdot (t_s - t_0) \cdot G_6, \quad (4)$$

где C_{mp} – изобарная теплоёмкость жидкости, Дж/(кг·°С); t_s – температура насыщения при давлении в камере, °С; t_0 – температура воды на входе в камеру, °С; G_6 – полное количество воды, кг.

Отсюда количество холодной воды, необходимой для конденсации пара в камере, будет равно, кг,

$$G_6 = \frac{G'' \cdot r}{C_{mp} \cdot (t_s - t_0)}. \quad (5)$$

Удельный расход воды через одну форсунку, кг/с,

$$g_g = \frac{G_g}{n \cdot \tau} = \frac{G'' \cdot r}{C_{mp} \cdot (t_s - t_0) \cdot n \cdot \tau}, \quad (6)$$

где n – количество форсунок; τ – время работы.

Для расчётов примем: температура насыщения пара в камере $t_s = 100$ °С, температура охлаждения воды $t_0 = 15$ °С; изобарная теплоёмкость воды $C_{mp} = 4,19$ кДж/(кг·°С); теплота парообразования $r = 2256,7$ кДж/кг; давление среды в камере $p_s = 10^5$ Па; давление воды $p_0 = 4 \cdot 10^5$ Па; плотность воды $\rho = 999,8$ кг/м³; количество диспергирующих форсунок $n = 14$; время, необходимое для конденсации, $\tau = 3600$ с.

Размер пропарочной камеры: длина – 14,2 м; ширина – 4,2 м; глубина – 1,1 м. Следовательно, объём камеры составит 65,6 м³. Рассмотрим расчётный случай, когда камера загружена на 0,2 своего объёма, тогда объём паровоздушной смеси $V_{см} = 52,5$ м³. Приняв расчётное содержание пара в смеси 95 %, получим объём насыщенного пара $V'' = 0,59$ кг/м³, весовое количество пара в камере $G'' = 50 \cdot 0,59 = 29,5$ кг. Тогда удельный расход воды через форсунку (6) составит $g_g = 0,0039$ кг/с. Давление воды на входе в форсунку $p_0 = 4 \cdot 10^5$ Па, истечение происходит в среду с давлением $p_s = 1 \cdot 10^5$ Па. Скорость истечения

$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_0 - p_s)}{\rho}} = 24,5$ м/с; площадь выходного сечения сопла $f = \frac{g_g}{\omega \cdot \rho} = 1,59 \cdot 10^{-7}$ м²; диаметр проход-

ного сечения $d = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{\pi}} = 4,5 \cdot 10^{-3}$ м = 4,5 мм.

Заключение. Показана возможность осуществления охлаждения внутренней среды пропарочных камер для термообработки изделий из железобетона после её завершения. Предложены способы организации процесса охлаждения пропарочных камер для двух вариантов конструкций наружных стен: конденсация водяного пара на трубах контуров естественной циркуляции или на диспергированных струях технической воды, подаваемой в камеру через специальные форсунки. Предложены расчётные зависимости и проведены расчёты процесса конденсации пара для этих случаев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марьямов, Н.Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона (процессы и установки) / Н.Б. Марьямов. – М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.
2. Мчедлов-Петросян, О.П. Повышение эффективности типовых пропарочных камер / О.П. Мчедлов-Петросян // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1980. – № 1. – С. 85 – 91.
3. Нащокин, В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. – М.: Высш. шк., 1975. – 495 с.
4. Исаченко, В.П. Теплообмен при конденсации / В.П. Исаченко. – М.: Высш. шк., 1975. – 238 с.

Поступила 25.05.2012

THE ORGANIZATION OF REFRIGERATING PROCESS OF STEAM-CURING CHAMBERS AFTER THE TERMINATION OF THERMAL TREATMENT OF STEEL CONCRETE PRODUCTS

A. NIYAKOVSKI, E. GONCHAROV, E. DOBROSOLTSEVA

Alternatives of organization of refrigerating process of steam-curing chambers for treatment of steel concrete products in conditions of a gradual temperature reduction of heating medium and 100 % of moisture content of this medium are tendered. For steam-curing chambers, whose external walls overhand in altitude more than 1,5 m over a shop floor level, on these walls it is offered to arrange a cooling system in the form of outlines of a natural circulation of service water. Elevating and descending branches of each of these outlines are situated inside or outside the surface of a chamber wall. For low-ground chambers, whose external walls are deepened in the ground, as a cooling system after the termination of thermal treatment of products, it is expedient to use feed in intrinsic bulk of the chamber through special atomizers of spray jets of service water. Saturated steam will condense on them. Calculation of the process of devaporation on a surface of lifting pipes of outlines of a natural circulation of service water has been done. And for the chamber of concrete intrinsic bulk the total length of lifting pipes has been determined. As a result of process calculation of a spray jet of water for the chamber of concrete intrinsic bulk, water flow through one atomizer and the diameter of its flow area have been determined.