

М.Т. СОЛДАТКИН, д-р техн. наук,
А.И. ОРЛОВИЧ, В.В. ПОКОТИЛОВ,
А.Д. ШАЛАК, канд-ты техн. наук,
М.З. ШУЛЬМАН (БПИ)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СПОСОБА ГОРЯЧЕГО ФОРМОВАНИЯ ПРИ ВИБРОГРАВИТАЦИОННОМ НАГРЕВЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ

При разогреве бетонной смеси используется в основном электрический ток или водяной пар.

Применение электрической энергии позволяет обеспечить высокую мощность на посту формовки, разогреть бетон с любой скоростью, исключить транспортировку разогретой смеси [1]. Однако, несмотря на это, дефицит электрической энергии является едва ли не главным тормозом в широком распространении указанного способа. Применение для этой цели насыщенного пара связано со значительными сложностями при обеспечении необходимых параметров бетонной смеси — водосодержания, удобоукладываемости и температуры, что связано с изменчивостью степени сухости пара и влажности заполнителей.

При использовании рекуперативных паронагревателей обычного типа невозможно добиться достаточной скорости и равномерности нагрева бетонной смеси вследствие низкой эффективности теплообмена со стороны вторичного теплоносителя.

Для интенсификации процессов теплообмена был использован виброгравитационный способ нагрева паром через разделительную стенку.

Установка представляет теплообменник типа "движущийся плотный слой" и состоит из каркаса, нагревателя, виброблока и затвора (рис. 1). Нагреватель изготовлен в виде пучка расположенных горизонтально, в шахматном порядке труб прямоугольного сечения (30x60), соединенных по торцам торцевыми досками с паровыми полостями 1 и 2. Эти доски служат также торцевыми стенками, ограничивающими межтрубное пространство. Две боковые стенки приварены к каркасу и соединены с торцевыми через эластичные вставки из транспортной ленты. Последние герметизируют угол межтрубного пространства и позволяют приводить весь нагреватель в колебательное движение в горизонтальной плоскости относительно всего устройства. Вибрация нагревателя осуществляется с помощью виброблока, соединенного с нагревателем и состоящего из электродвигателя и дебалансов. Расход нагреваемого материала регулируется с помощью затвора, конструктивно связанного со стенками через Крюнштейн. Подача пара осуществляется через патрубок 8, а удаление конденсата — через патрубок 9.

Наиболее эффективным является непрерывный режим работы установки. Однако, как показали исследования, ее можно использовать и для периодического действия.

Технологически установка комплектуется непосредственно на посту формовки. Бетонная смесь подается в верхнюю часть установки. Вибрация нагревательных элементов "обтекаемого" сечения обеспечивает подвижность даже жесткой смеси. Последняя, двигаясь в межтрубном пространстве под действием гравитационных сил и вибрации, нагревается при контакте с поверхнос-

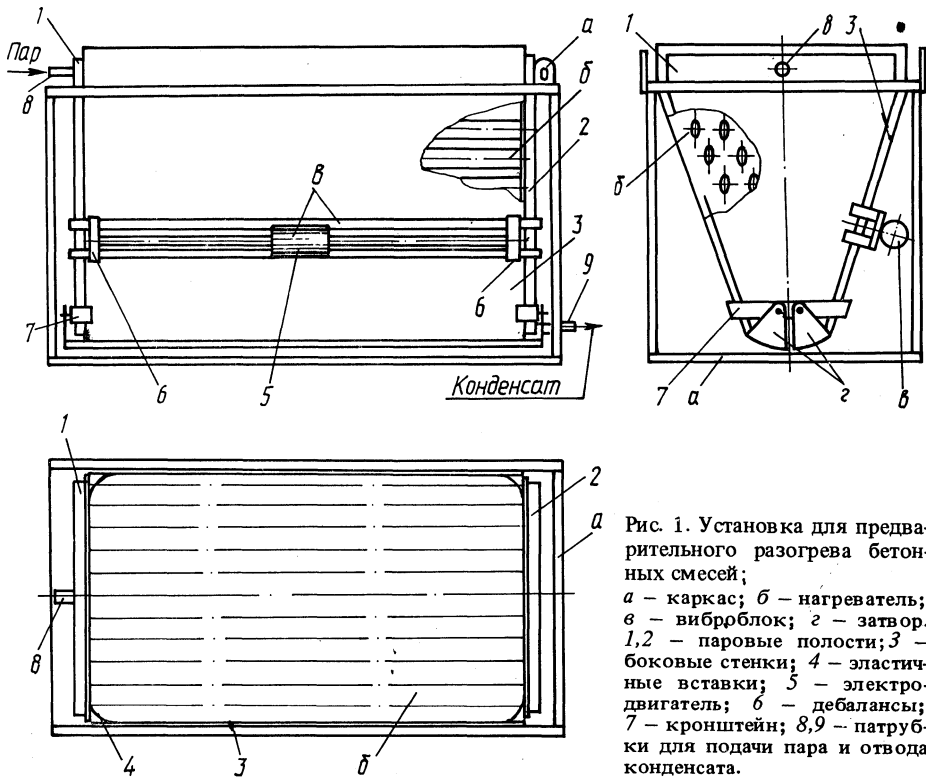


Рис. 1. Установка для предварительного разогрева бетонных смесей;
a — каркас; *б* — нагреватель;
в — виброблок; *з* — затвор.
1,2 — паровые полости; *3* — боковые стенки; *4* — эластичные вставки; *5* — электродвигатель; *6* — дебалансы; *7* — кронштейн; *8,9* — патрубки для подачи пара и отвода конденсата.

тями паровых труб. Скорость движения смеси регулируется затвором. При этом исходят из обеспечения средней скорости движения смеси, необходимой для оптимальных условий теплообмена.

С целью изучения процессов нагрева бетонной смеси и влияния предлагаемого способа на качество бетона на заводе ЖБИ треста "Стройиндустрия" (г. Молодечно) была разработана промышленная установка периодического действия (емкость $0,6 \text{ м}^3$, поверхность регистров нагревателя $7,5 \text{ м}^2$).

Режимные параметры разогрева бетонной смеси и параметры твердения изделий устанавливались на бетонных смесях М200 и М300 различной подвижности (О.К. = 1–8 см, В/Ц = 0,5–0,65), применяемых в производстве изделий добора. В опытных формовках, проведенных при температуре воздуш-

ной среды $T_c = 18-23^\circ\text{C}$, варьировалось время разогрева при постоянных значениях частоты и амплитуды вибрации и при давлении пара в регистрах $P = 0,25-0,3$ МПа. При этом оптимальная температура разогрева $T_p = 60-70^\circ\text{C}$, принятая на основании многочисленных исследований [1,2], достигалась за 14–15 мин (включая укладку смеси в форму). Теплопроизводительность установки составляла примерно 150–200 кВт, коэффициент теплоотдачи от регистров – 300–400 Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$).

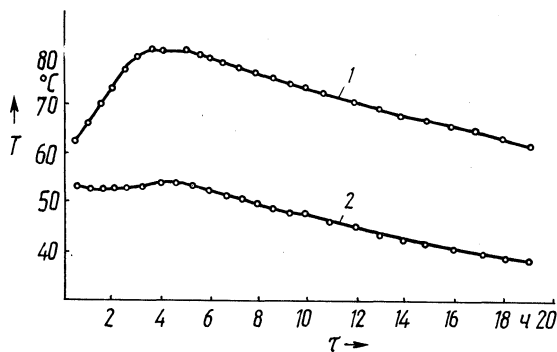


Рис. 2. Изменение температуры в центре теплоизолированных изделий, изготовленных из предварительно разогретых смесей в процессе твердения:

- 1 – бетон марки М300 на цементе М500 с расходом 340 кг/м³;
- 2 – бетон марки М200 на цементе М400 с расходом 280 кг/м³.

В проведенных экспериментах изучалась также возможность выдержки отформованных изделий без дополнительного подвода теплоты, для чего производились замеры температурных полей изделий, отформованных в неразогретой теплоизолированной четырехместной форме. Для теплоизоляции бортов, днища формы и открытой поверхности использовался листовая пенопласт толщиной 6,5 см. Данные, полученные при измерении температур в центре твердеющих изделий (на расстоянии 29 см от поверхности), представлены на рис. 2. Из графиков следует, что изменение температуры в процессе выдержки изделий носит неодинаковый характер для бетонов марок М200 и М300. Так, если в центре изделий из бетонной смеси состава М300 уже через 3–4 ч после укладки разогретой смеси температура за счет интенсификации тепловыделения превышала начальные значения на 15–20 °С, то для состава М200 повышения температуры не наблюдалось (в течение первых 3–4 ч она оставалась на одном уровне). Если за 19–20 ч выдержки в термосных условиях температура бетона М200 понижалась на 15–20 °С, то для бетона М300 она не падала ниже температуры нагрева, т.е. 62 °С. Перепад между температурами поверхностных слоев и центра изделия после стабилизации температурного поля во всех случаях не превышал 5–10 °С.

Расчет теплового баланса установки, а также экспериментальные замеры расхода пара показали, что при разогреве смеси до 60 °С расходуется 0,16 ГДж/м³, и для массивных изделий эта величина может являться нормативной.

Чтобы установить степень влияния предлагаемого способа предварительного разогрева на прочность бетона, изготавливались образцы-кубы 10х10х10 см, которые подвергались тепловой обработке в пропарочной камере по заводскому режиму 2+3+6+2 ч. Так как для достижения требуемой под-

Кинетика роста прочности бетона из холодной и разогретой смесей

Расход цемен- та, кг/м ³	Марка цемен- та	Начальная температу- ра смеси, °С	В/Ц	О.К., см	Прочность бетона при сжатии (в МПа) через		
					4 ч после т.о.	3 сут.	28 сут.
278	400	20	0,61	1,0	15,2	19,8	26,8
278			0,65	1,4	14,3	17,8	25,4
278			0,65	0,8	13,9	15,8	20,7
320	500	23	0,52	1,0	28,3	29,2	37,5
320			0,55	1,8	25,0	27,4	38,7
320			0,55	0,8	28,8	29,7	39,6
340	500	15	0,54	8,0	23,9	—	26,8
340		60	0,54	4,0	25,4	—	28,5

вижности разогретой смеси необходимо было корректировать начальное влажесодержание системы, образцы формировались из смеси обычного состава (контрольные) и с повышенным водосодержанием. Прочность бетона из разогретой смеси сопоставляли с прочностью пропаренного бетона, а не с прочностью бетона нормального твердения (предварительный разогрев является лишь одним из способов тепловой обработки, среди которых пропаривание — самый распространенный). Изделия, отформованные из разогретой смеси, выдерживались в термосных условиях без дополнительного подвода теплоты извне и использовались на прочность через 4 ч после распалубки.

Результаты определения кинетики роста прочности бетона из разогретых и холодных смесей приведены в табл. 1.

Как следует из полученных данных, темпы роста прочности бетона из разогретых смесей, так же как и из холодных, определяются величиной водоцементного отношения. Установлено, что при одинаковой консистенции бетонной смеси прочность бетона из разогретых смесей оказалась ниже (чем из холодных) для низких марок и выше — для средних.

Прочность изделий ФБС-4, отформованных из разогретых смесей с температурой 60–65 °С и выдержанных в теплоизолированной форме без подвода теплоты извне, через 24 ч составила 50 % R_{28} .

Таким образом, разработанные конструкция и способ разогрева позволяют получить бетонную смесь с температурой 60–65 °С за 10–15 мин непосредственно на посту формовки при относительно низких энергозатратах (0,15–0,20 ГДж/м³). Дальнейшее твердение изделий добора будет зависеть от технологии их производства. С экономической точки зрения, наиболее целесообразным является термосное выдерживание, так как количество теплоты, внесенной в бетонную смесь в процессе разогрева, является достаточным для ускорения процесса гидратации цемента и достижения распалубочной прочности изделий через 1 сут [2].

Дополнительный подвод теплоты к изделию в период его выдерживания

позволит значительно сократить продолжительность цикла тепловой обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михановский Д.С. Горячее формование бетонных смесей. — М., 1970. — 190 с. 2. Руководство по паропрогреву бетонных смесей при производстве сборного железобетона. — М., 1978. — 48 с.

УДК 697.957

В.И. КУНОВСКИЙ, канд. техн. наук,
К.Э. БУСЛАЕВА (БПИ)

ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ ЗАКРУЧЕННАЯ ГАЗОВАЯ СТРУЯ С ПОВЫШЕННЫМ НАЧАЛЬНЫМ УРОВНЕМ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Закрученные газовые струи с повышенным начальным уровнем турбулентности находят широкое применение в различных областях техники. Такие струи формируются в различного рода закручивателях, а начальный уровень турбулентности зависит от конструкции насадок и степени закрутки (S). Подобно воздействию в прямооточных струях, повышение начального уровня турбулентности в закрученных струях приводит к уменьшению их дальности и повышению эжекционной способности, что при наличии закрутки значительно интенсифицирует процессы тепло- и массообмена.

Рассмотрим влияние начального уровня турбулентности на изменение аэродинамических параметров закрученной изотермической газовой струи. Для исследования такой струи с повышенным начальным уровнем турбулентности воспользуемся, подобно авторам работы [3], уравнением теории пограничного слоя и основным уравнением теории термодинамики необратимых процессов. Термодинамическую силу представим суммой динамического и статического давлений. Уравнение массопереноса в цилиндрических координатах (x, r, φ) примет вид

$$\rho v_x = K_{xx}^v \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{1}{\rho} K_{xx}^p \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (1)$$

где $v^2 = v_x^2 + v_r^2 + v_\varphi^2$ — квадрат средней абсолютной скорости и, соответственно, ее составляющие в направлениях x, r, φ; ρ — плотность газа; P — статическое давление в струе, вызванное действием пульсационной составляющей поперечной скорости (v_r') и тангенциальной составляющей (v_φ) [1]:

$$P = \int_0^\infty \rho \frac{v_\varphi^2}{r} dr - \rho \overline{v_r'^2}. \quad (2)$$