

**Анализ тепловой эффективности изготовления
трёхслойных стеновых панелей**

*к.т.н., доцент Колохов В.В., к.т.н., доцент Саламаха Л.В.,
к.т.н., доцент Адегов А.В., асс. Волошко В.Н., м.н.с. Кудрявцев А.П.*

*ГВУЗ “Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры”, г. Днепрпетровск*

Общая постановка проблемы.

(Заводское производство и анализ его эффективности.)

Эффективность заводского производства определяется в настоящее время энергозатратами. Существующее оборудование передовых предприятий сборного железобетона представлено универсальными поворотными поддонами, реализующие стендовую технологию производства. Тепловая обработка изделий обеспечивается регистрами, греющими дно поддона, а в качестве теплоносителя используется горячая вода.

Постановка проблемы.

При производстве трёхслойных стеновых панелей лицевой (ненесущий) слой железобетона располагается внизу (на поверхности поддона), а основной (несущий) слой панели расположен через слой теплоизоляции. Такая конструкция требует удлинения тепловой обработки за пределы оптимальных временных интервалов для обеспечения необходимой прочности бетона.

Цель исследования.

Оценить эффективность тепловой обработки универсального поворотного поддона. При необходимости реконструировать предложить оптимальный вариант.

Изложение основного материала.

Моделирование осуществлялось средствами одной из программ CAD/CAE. Основу моделирования составляет система уравнений тепломассообмена. Моделируются процессы теплопроводности, конвективного и радиационного теплообмена.

С целью повышения эффективности тепловой обработки был проведен анализ работы универсального поворотного поддона. Для этого были проведены замеры температур в различных точках работающего универсального поворотного поддона.

На основании действующего универсального поворотного поддона рис.1. Была построена геометрическая модель поддона рис.2, в масштабе 1:1, с габаритными размерами 12,2x4,2 м. Схема универсального стенда представлена на рис.3, рис.4.



Рис. 1. Универсальный стенд.

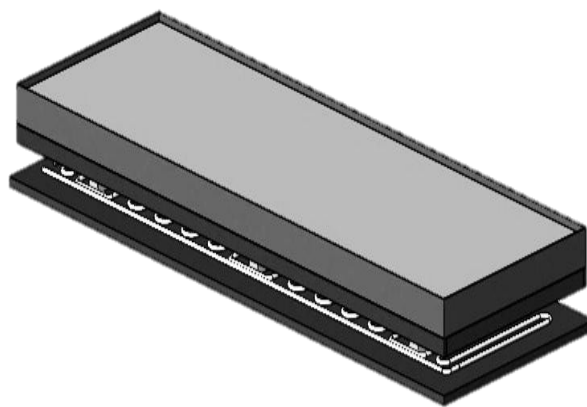


Рис.2. Трёх мерная модель универсального поворотного поддона.

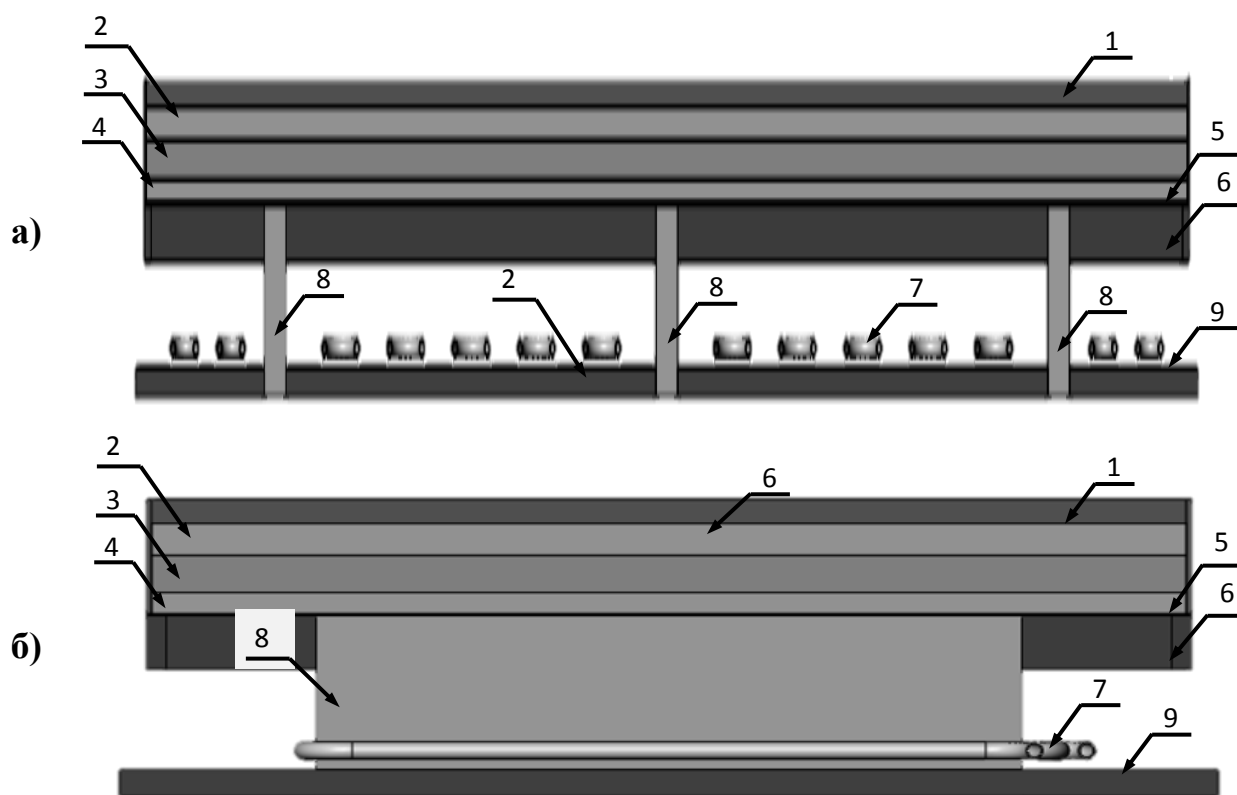


Рис.3. Продольный (а) и поперечный (б) разрезы универсального поворотного поддона с трехслойной стеновой панелью. 1 – опалубка, 2 – основной несущий слой железобетона ($\delta=120\text{мм}$), 3 – слой теплоизоляции ($\delta=140\text{мм}$), 4 – лицевой несущий слой железобетона ($\delta=80\text{мм}$) 5 – металлический поддон ($\delta=7\text{мм}$), 6 – ребра жесткости стенда, 7 – регистры, 8 – опоры, 9 – основание (бетон).

При моделировании тепловой работы универсального поворотного поддона были приняты начальные условия соответствующие теплоте периоду года, при максимально благоприятных условиях. При тепловой обработке

универсальный поворотный поддон накрывается колпаком. Колпак представляет собой каркас обтянутый брезентом.

Начальные условия моделирования:

- температура окружающей среды $t_n = +20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- начальная температура бетонной смеси $t_6 = +20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- начальная температура материалов конструкции $t_k = +20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- начальная температура теплоносителя $t_{тп} = +80 \text{ }^\circ\text{C}$;
- расход теплоносителя $G_{тп} = 4,68 \text{ м}^3/\text{ч}$
- заполняемость формовочного стенда – 100 %;
- время набора расчетной температуры $T_p = 24 \text{ ч.}$

На рис.3 представлено распределение температур в универсальном поворотном поддоне после 24-х часов тепловой обработки. Как видно, температура прогрева бетонных слоев не одинакова. Верхний (несущий) слой прогрелся до $t_{сл1} = 25,21 \text{ }^\circ\text{C}$ (т.е. на $5,21 \text{ }^\circ\text{C}$), а нижний (ненесущий) слой прогрелся до $t_{сл2} = 39,47 \text{ }^\circ\text{C}$ (т.е. на $19,47 \text{ }^\circ\text{C}$). Такое повышение температуры за период тепловой обработки не способствует достижению бетоном требуемых прочностных характеристик. При этом необходимо отметить, что температура бетона несущего слоя изменилась меньше чем температура бетона ненесущего слоя, следовательно, тепловая обработка не достигла своей цели.

Натурные измерения температуры поверхности бетона верхнего слоя показывают, достаточно хорошее совпадения с результатами математического моделирования. Таким образом, можно говорить о корректности построенной математической модели, а следовательно ее можно использовать для дальнейшего анализа работы универсального поворотного поддона.

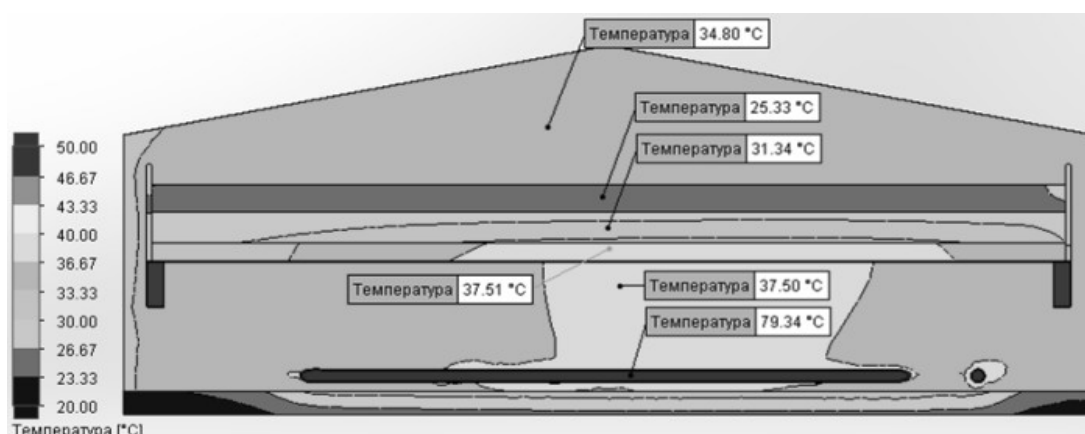


Рис.5 распределение температур в поперечном сечении в универсальном поворотном поддоне.

На рис. 5 представлено изменения температуры в слоях трехслойной стеновой панели в процессе тепловой обработки. При традиционных режимах тепловой обработки температура бетона поднимается до $80 - 90 \text{ }^\circ\text{C}$ за $3 - 4$ часа и выдерживается до 12 часов на этом уровне и затем снижается до $30 - 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Приведенные на рис. 6 графики показывают значительное отклонение режима ТО (тепловой обработки) от традиционных режимов. Из графика

видно неоднородное прогревания бетонных слоев стеновой панели, что негативно сказывается на прочностные качества стеновой панели.

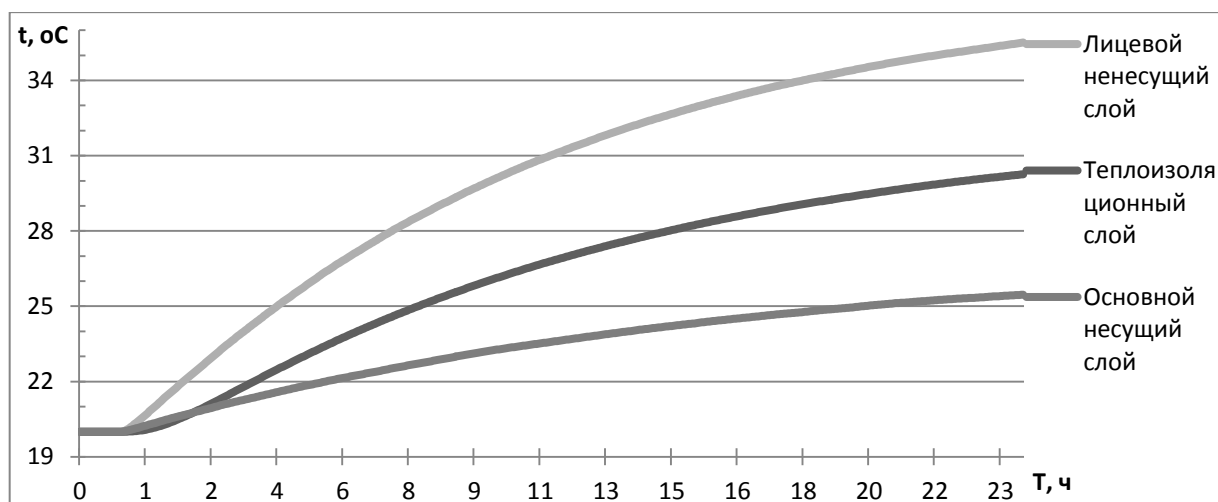


Рис.6 Изменение температур в слоях панели с течением времени

Анализ эффективности будем производить по количеству тепла аккумулируемого в бетоне при тепловой обработке.

Расчет количества полезной тепловой энергии $Q_{\text{п}}$, аккумулированной в многослойном изделии определяется как сумма аккумулированной энергии в слоях изделия:

$$Q_{\text{п}} = \sum_i^n Q_i, \quad (1)$$

где: Q_i – количества тепловой энергии аккумулированной в i -том слое, Дж.

Для трехслойной панели, состоящей из двух бетонных слоев и слоя теплоизоляции, расположенного между ними, количеством тепла запасаемого в тепловой изоляции можно пренебречь. Тогда количество теплоты, запасаемого в i -том слое, определяется по формуле:

$$Q_i = c_{\text{сл}} * m_{\text{сл}} * \Delta t_{\text{сл}}, \quad (2)$$

где: $c_{\text{сл}}$ – теплоемкость материала = 840 Дж/кг*°C; $m_{\text{сл}}$ – масса слоя, кг; $\Delta t_{\text{сл}}$ – разность температур °C.

$$Q_{\text{сл1}} = 840 * (2400 * 3,79) * (35,5 - 20) = 118,5 * 10^6, \text{ Дж}$$

$$Q_{\text{сл2}} = 840 * (2400 * 5,68) * (25,46 - 20) = 62,5 * 10^6, \text{ Дж}$$

$$Q_{\text{Б}} = 118,5 * 10^6 + 62,5 * 10^6 = 181 * 10^6, \text{ Дж}$$

При тепловой обработки в стенд теплоноситель передает тепловую энергию величина, которой определяется по формуле:

$$Q_{\text{тп}} = c_{\text{тп}} * q_{\text{мтп}} * \Delta t_{\text{тп}}, \quad (3)$$

где: $c_{\text{тп}}$ – теплоемкость воды = 4187 Дж/кг*°C; $q_{\text{мтп}}$ – массовый расход теплоносителя, кг/с; $\Delta t_{\text{тп}}$ – разность температур теплоносителя ($t_{\text{н}} - t_{\text{к}}$) °C.

В связи с изменением температуры стенда разность температуры не постоянна. Изменение разности температур теплоносителя прошедшего через стенд представлено на рис.7.

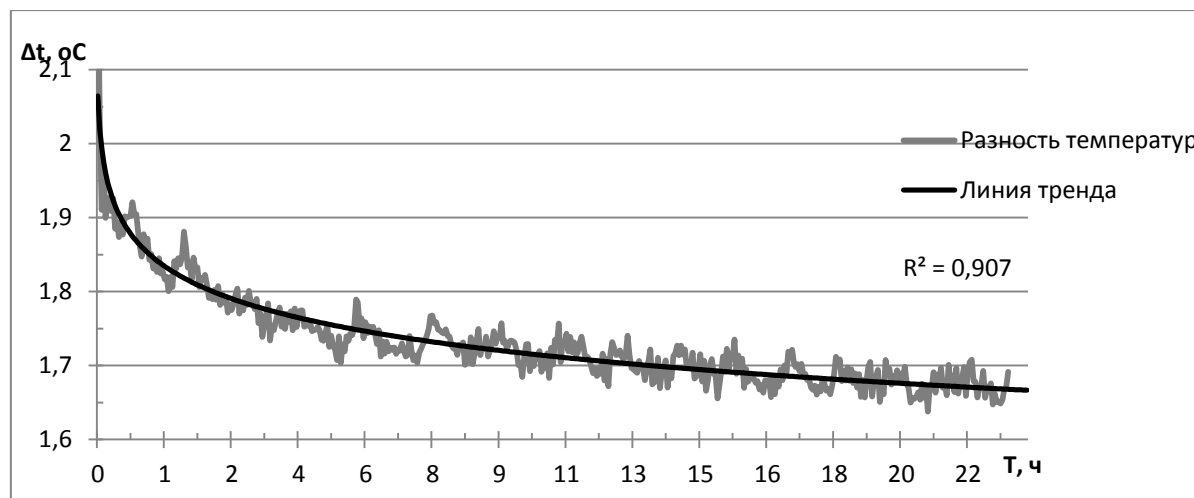


Рис.7 Разность температуры теплоносителя прошедшего через стенд (по результатам моделирования)

$$Q_{\text{тп}}=796,5 \cdot 10^6, \text{ Дж}$$

Соотнеся количество аккумулированного тепла в бетонных слоях с общим расходом тепловой энергии получим, что на нагрев несущего слоя затрачено $11,0 \text{ Дж/м}^3$, а на нагрев ненесущего слоя - $31,4 \text{ Дж/м}^3$, т.е. большая часть тепловой энергии израсходована на разогрев отделочного ненесущего слоя.

Выводы:

1. Параметры построенной модели адекватно коррелируются с реальными показаниями измерительных приборов.
2. Ненесущий отделочный слой поглощает в три раза больше энергии, чем несущий слой.
3. Существующие способы и режимы тепловой обработки неэффективны, поскольку не обеспечивают требуемых параметров.
4. Из $Q_{\text{тп}}=796,5 \cdot 10^6, \text{ Дж}$ на нагрев бетона трехслойной конструкции пошло $Q_{\text{б}}=181 \cdot 10^6, \text{ Дж}$, что тепловая эффективность составляет 0,227.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А. А. Алямовский. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 448с.
2. Опрокидывающийся поддон гидравлического действия. Инструкция по эксплуатации, безопасности и техобслуживанию / Elematic company ltd. - Тойло, 2007. - 8 с.