

EP 95-0313. HAZOP. HSE Manual. Shell International Exploration & Production B.V.

14. IEC 61882:2001 «Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide». IEC 61882:2001

«Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide».

Статья рекомендована до публикации д-ром. техн. наук, проф. А. С. Беліковим (Україна); д-ром. техн. наук, проф. С. З. Поліщуком (Україна)

Статья поступила в редколлегию 30.09.2015

УДК 519.876.5:666.97.035.5:624.012.3-047.44

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОГРЕВА БЕТОНА В ТЕПЛОВОЙ УСТАНОВКЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯХ

КОЛОХОВ В. В.^{1*}, *к.т.н, доц.*,
АДЕГОВ А. В.^{2*}, *к.т.н, доц.*,
КУДРЯВЦЕВ А. С.³, *соискатель*,
ПЕРЧАНИК Н. Е.⁴, *соискатель*

^{1*} Кафедра технологии строительных материалов изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: kolokhovdnepr@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-2314-1477

^{2*} Кафедра теплотехники и газоснабжения, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: adegov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8837-4936

³ Кафедра теплотехники и газоснабжения, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: kudrikym@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5210-3197

⁴ Кафедра технологии строительных материалов изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: perchanik-nadine@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8173-9760

Аннотация. *Цель* Для повышения экономической эффективности производства многослойных стеновых панелей с несущим слоем из железобетона необходимо провести усовершенствование тепловой установки реализующей применяемый способ производства конструкции. Для проведения требуемого усовершенствования необходимо исследовать процесс теплообмена при изготовлении сборной железобетонной многослойной конструкции при тепловой обработке при различных условиях функционирования тепловой установки. **Методика.** Для исследования процесса тепловой обработки конструкции, была разработана вычислительная модель тепловой установки реализующей стеновой способ производства сборных железобетонных двухслойных стеновых панелей. Основу моделирования составляет система уравнений теплообмена, реализованная численными методами в одном из программных комплексов CAD/CAE. Моделируются процессы теплопроводности, конвективного и радиационного теплообмена. При моделировании тепловой работы стенда были приняты усредненные начальные условия соответствующие теплоту и холодному периодам года. **Результаты.** Выполнено моделирование процесса тепловой обработки двухслойного элемента имитирующего фрагмент стеновой панели. Проведены расчёты прогрева слоёв элемента конструкции при различных режимах работы стенда. В качестве параметров варьирования рассматривались: использовании различных теплоносителей; изменение характеристик прогреваемого элемента конструкции (толщина слоёв и их соотношение); изменение начальной температуры теплоносителя и изменении граничных условий проведения тепловой обработки. Выполнен анализ полученных при моделировании процесса тепловой обработки данных, на основании которого определены исходные данные для проектирования тепловой установки, обеспечивающей производство конструкций такого типа. **Научная новизна.** Разработана вычислительная модель тепловой установки, реализующей стеновой способ производства слоистой конструкции с несущим слоем из железобетона. Исследован процесс тепловой обработки двухслойной конструкции при заданных граничных условиях и различных теплоносителях. **Практическая значимость.** Проведены расчёты различных режимов работы стенда для некоторых типов двухслойных конструкций. Определены исходные данные для проектирования тепловой установки, обеспечивающей стеновой способ производства сборных железобетонных двухслойных конструкций такого типа.

Ключевые слова: тепловая обработка, численное моделирование работы тепловой установки, сборные железобетонные многослойные стеновые панели, стеновой способ производства

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОГРІВУ БЕТОНУ У ТЕПЛОВИХ УСТАНОВКАХ ПРИ РІЗНИХ ТЕПЛОНОСІЯХ

КОЛОХОВ В. В.^{1*}, к.т.н, доц.,
АДЕГОВ О. В.^{2*}, к.т.н, доц.,
КУДРЯВЦЕВ О. С.³, здобувач,
ПЕРЧАНИК Н. Є.⁴, здобувач

^{1*} Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: kolokhovdnepr@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-2314-1477

^{2*} Кафедра теплотехніки і газопостачання, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-17-22, e-mail: adegov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8837-4936

^{3*} Кафедра теплотехніки і газопостачання, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: kudrikym@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5210-3197

⁴ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: perchanik-nadine@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8173-9760

Анотація. *Мета* Підвищення економічної ефективності виробництва багатошарових стінових панелей з несучим шаром з залізобетону необхідно провести удосконалення теплової установки, що реалізує використаний спосіб виробництва конструкцій. Для виконання необхідного удосконалення потребує проведення дослідження процесу теплообміну при виготовленні збірної залізобетонної багатошарової конструкції при тепловій обробці за різних умов функціонування теплової установки. *Методика.* Для дослідження процесу теплової обробки конструкції, була розроблена обчислювальна модель теплової установки що реалізує стендовий спосіб виробництва збірних двошарових стінових панелей. Основу моделювання становить система рівнянь тепломасообміну, реалізована чисельними методами в одному із програмних комплексів CAD/CAE. Моделюються процеси теплопровідності, та променевого теплообміну. При моделюванні теплової роботи стенду були прийняті усереднені початкові умови, які відповідають теплому та холодному періодам року. *Результати.* Виконано моделювання процесу теплової обробки двошарового елемента, що імітує фрагмент стінової панелі. Проведені розрахунки прогріву шарів елемента конструкції при різних режимах роботи стенду. Як параметри варіювання розглядалось: використання різних теплоносіїв; зміни характеристик елемента конструкції, що прогривають (товщина шарів та їх співвідношення); зміни початкової температури теплоносія та зміна граничних умов проведення теплової обробки. Виконано аналіз отриманих при моделюванні процесу теплової обробки результатів, на підставі якого визначені вихідні дані для проектування теплової установки, що забезпечує виробництво конструкцій такого типу. *Наукова новизна.* Створена обчислювальна модель теплової установки, що реалізує стендовий спосіб виробництва двошарової конструкції з несучим шаром з залізобетону. Досліджено процес теплової обробки двошарової конструкції при зазначених заданих граничних умовах. *Практична значимість.* Виконано розрахунки різних режимів роботи стенду для деяких типів двошарових конструкцій. Визначені вихідні дані для проектування теплової установки, яка забезпечує стендовий спосіб виробництва збірних залізобетонних двошарових конструкцій такого типу.

Ключові слова: тепла обробка, чисельне моделювання роботи теплової установки, збірні залізобетонні багатошарові стінові панелі, стендовий спосіб виробництва

MODELLING OF PROCESS OF WARMING UP OF CONCRETE IN THERMAL INSTALLATION AT VARIOUS HEAT CARRIERS

KOLOKHOV V. V.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ph D*
ADEGOV A. V.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ph D*
KUDRYAVTSEV A. P.³, *competitor*,
PERCHANYK N. E.⁴, *competitor*

^{1*} Department of Technology of building materials, products and designs, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: kolokhovdnepr@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-2314-1477

^{2*} Department of Thermal Engineering and gas supply, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: adegov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8837-4936

^{3*} Department of Thermal Engineering and gas supply, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: kudrikym@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5210-3197

^{4*} Department of Technology of building materials, products and designs, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: perchanik-nadine@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8173-9760

Abstract. Purpose. Multi-layered wall reinforced-concrete panels are produced by a stand method. For the decline of value of their production it is necessary to conduct modernisation of the thermal setting. For the improvement of the thermal setting it is necessary to investigate the process of heat exchange of the stratified construction at her warming up. At research it is necessary to take into account influence of different terms. **Methodology.** For research of process of thermal treatment of construction, the model of the thermal setting was worked out. Thermal treatment of production of collapsible reinforce-concrete double-layer wall panels a stand method is designed. Design basis is made by the system of equalization's of heat-mass change realized by the methods of CAD/CAE. The processes of heat conductivity, convective and radiative heat exchange are designed. At the design of thermal work of stand middle initial conditions were accepted corresponding to warm and cold periods. **Findings.** The design of process of thermal treatment of double-layer element is executed. A model imitated the fragment of a wall panel. The calculations of warming up of layers of element of construction are conducted. At calculations changed: modes of operations of the thermal setting: type of coolant-moderator; parameters of construction (thickness of layers and their correlation); initial temperatures of coolant-moderator; ambient temperature. The analysis of the data obtained at a design is executed. Basic data is certain for planning of the thermal setting, providing the production of constructions such The calculations of the different modes of operations of stand are conducted for some types of double-layer constructions. Basic data is certain for projecting of the thermal setting providing a stand method production of the combined teams reinforce-concrete double-layer constructions of such type. **Originality.** The model of the thermal setting realizing the stand method of production was created. Within the framework of model a double-layer construction is investigated from the concrete and heat isolation. The border terms of thermal treatment of double-layer construction changed at research. **Practical value.** The calculations of the different modes of operations of stand are conducted for some types of double-layer constructions. Basic data are certain for planning of the thermal setting providing a stand method production of collapsible reinforce-concrete double-layer constructions of such type.

Keywords: thermal treatment, numeral design of work of the thermal setting, collapsible reinforce-concrete multi-layered wall panels, stand method of production

Введение

Экономическая эффективность жилищного строительства определяется во многом качеством изготовления конструкций наружных стен. Гарантированного качества можно добиться при использовании готовых изделий, к которым, в первую очередь, относится сборный железобетон. Несмотря на многолетнюю практику использования железобетона, технология его производства постоянно совершенствуется. В последнее время получило распространение использование многослойных стеновых конструкций. Один из аспектов производства трёхслойных стеновых панелей был рассмотрен в работе [9]. Повышенный интерес, как к производству, так и к совершенствованию технологии производства сборных многослойных конструкций на основе железобетона [1, 3 – 8, 10 – 13] свидетельствует об актуальности исследований в этом направлении. Одним из определяющих параметров экономической эффективности производства сборного железобетона является скорость набора прочности бетона в изделии. В последнее время ускорение набора прочности бетона добиваются применением высокомарочных цементов и добавок ускорителей твердения. Такой подход объясняют увеличением стоимости энергоресурсов. Однако, даже предварительный анализ способов производства показывает, что повышенная энергоёмкость производства является следствием недостаточно эффективных технологических решений.

Цель

Для повышения экономической эффективности производства многослойных стеновых панелей необходимо исследовать процесс теплообмена в конструкции при тепловой обработке.

Методика

Доказанная в работе [1] адекватность реализуемого метода моделирования процесса теплообмена в условиях заводского производства многослойных железобетонных стеновых панелей позволяет применить выбранный метод моделирования процесса тепловой обработки перспективной конструкции стенового ограждения. Для исследования процесса тепловой обработки конструкции, была разработана геометрическая трехмерная модель стенда, поперечный разрез которой приведен на Рис.1. Для разработки модели была использована схема тепловой установки реализующей стендовый способ производства стеновых панелей. За основу в разработке стенда выбран стационарный стенд тепловой обработке бетона, устанавливаемый на заводе и подключенный к заводской системе теплоснабжения.

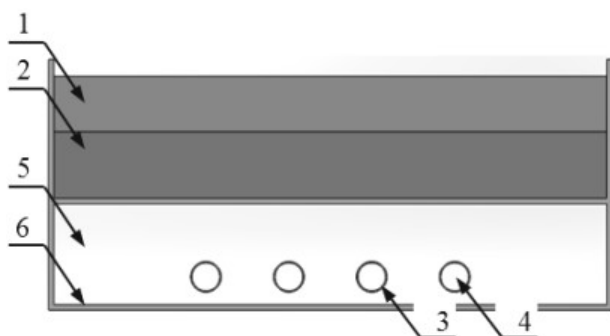


Рис. 1 Принципиальная схема стенда тепловой обработки бетона, поперечный разрез / Schematic diagram of the stand of thermal treatment of concrete, cross-section

1 – слой теплоизоляции ($\delta=100\text{мм}$), 2 – железобетон, $\delta=120\text{мм}$, 3 – регистры из гладких труб, 4 – первичный теплоноситель, 5 – вторичный теплоноситель, 6 – металлический поддон, $\delta=10\text{мм}$.

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

Граничные условия, при проведении компьютерного моделирования работы стенда тепловой обработки бетона, определялись условиями эксплуатации тепловой установки. При моделировании тепловой работы стенда были приняты усредненные начальные условия соответствующие теплomu и холодному периодам года. Предполагается, что установка тепловой обработки бетона хорошо утеплена и в этой модели потери теплоты через боковые грани не учитывались.

В расчетной модели рассматриваются несколько видов теплоносителей. В теплый период года, когда наружная температура за сутки не опускается ниже $t_n=+0\dots+5^\circ\text{C}$, в качестве первичного теплоносителя используется вода, а вторичным воздух или вода. В холодный период года, при наружной температуре до $t_n=-5^\circ\text{C}$ первичным теплоносителем является антифриз, а вторичным воздух или антифриз.

Начальные условия моделирования:

Теплый период года:

Температура окружающей среды $t_n=+20^\circ\text{C}$;
Начальная температура бетона $t_6=+20^\circ\text{C}$;
Начальная температура материалов конструкции $t_k=+20^\circ\text{C}$;
Начальная температура первичного теплоносителя $t_{тп1}=+85^\circ\text{C}$;
Начальная температура вторично теплоносителя $t_{тп2}=+20^\circ\text{C}$;
Расход первичного теплоносителя $G_{тп}=4,68\text{ м}^3/\text{ч}$;
Заполняемость стенда – 100 %;
Время набора расчетной температуры $T_p=8\text{ ч}$.

Холодный период года:

Температура окружающей среды $t_n=-5^\circ\text{C}$;
Начальная температура бетона $t_6=+5^\circ\text{C}$;

Начальная температура материалов конструкции

$t_k=-5^\circ\text{C}$;

Начальная температура первичного теплоносителя

$t_{тп1}=+85^\circ\text{C}$;

Начальная температура вторично теплоносителя

$t_{тп2}=-5^\circ\text{C}$;

Расход первичного теплоносителя $G_{тп}=4,68\text{ м}^3/\text{ч}$

Заполняемость стенда – 100 %;

Время набора расчетной температуры $T_p=8\text{ ч}$.

Термодинамические параметры используемых теплоносителей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Термодинамические параметры теплоносителей /

Thermodynamic parameters of heat carriers

Теплоноси- тель	ρ , кг/м ³	c , кДж/ кг*°C	λ , Вт/ м*°C	t_3 , °C
Вода	999,82	4,212	0,569	+0
Антифриз	1069,00	3,560	0,466	-15
Воздух	1,24	1,006	0,024	0

где ρ – плотность теплоносителя, кг/м³;

c – коэффициент теплоемкости, кДж/кг*°C;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м*°C;

t_3 – температура замерзания, °C.

Результаты

На рис.2 и рис.3 представлены результаты моделирования прогрева бетона в теплый период года. В качестве первичного теплоносителя использовалась вода а в качестве вторичного теплоносителя рассматривались вода и воздух.

Моделирование показывает, что при использовании воды в качестве вторичного теплоносителя (рис.2) температура бетона приближается к рекомендуемой температуре изотермического прогрева бетона требуемой температуре ($t_{6,тр}=+80^\circ\text{C}$), тогда как при использовании воздуха в качестве вторичного теплоносителя (рис.3) температура бетона значительно ниже требуемой ($t_6=+40^\circ\text{C}$).

На рис. 4 сопоставлены результаты вариантов расчета изменения температуры в двухслойной конструкции при различных вторичных теплоносителях для теплого периода года и рекомендуемого графика подъема температуры в изделии.

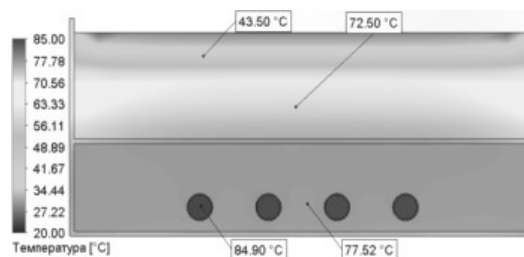


Рис.2 Распределение температуры в тепловой установке через 8 часов после начала прогрева

стенда, с использованием воды в качестве вторичного теплоносителя в теплый период года / Distribution of temperature in thermal installation in 8 hours after the beginning of warming up of the stand, with use of water as the secondary heat carrier during the warm period of year

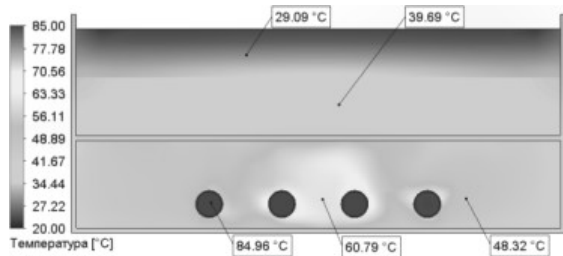


Рис.3 Распределение температуры в тепловой установке через 8 часов после начала прогрева стенда, с использованием воздуха в качестве вторичного теплоносителя в теплый период года / Distribution of temperature in thermal installation in 8 hours after the beginning of warming up of the stand, with use of air as the secondary heat carrier during the warm period of year

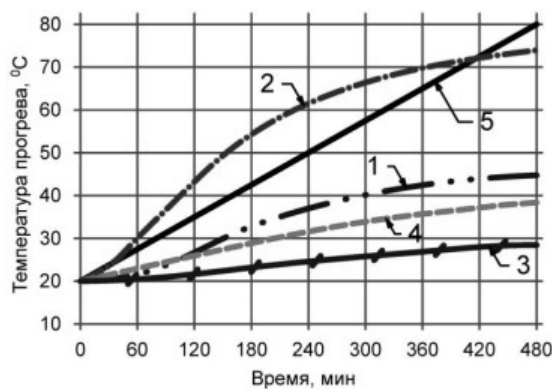


Рис.4. График прогрева слоев изделия в тепловой установке при использовании воды и воздуха во вторичном теплоносителе для теплого периода года / Distribution of temperature in thermal installation in 8 hours after the beginning of warming up of the stand, with use of air as the secondary heat carrier during the warm period of year

Вторичный теплоноситель вода. 1 – температура слоя теплоизоляции, 2 – температура слоя железобетона; Вторичный теплоноситель воздух. 3 – температура слоя теплоизоляции, 4 – температура слоя железобетона, 5 – рекомендуемый режим подъема температуры в железобетоне.

Результаты моделирования показывают, что при определенных режимах прогрева (вторичный теплоноситель вода, кривая 2 скорость подъема температуры в изделии превышает предельные, нормируемые значения, что может сказаться на качестве получаемой продукции. Влияние таких превышений на качество получаемого изделия должно быть исследовано дополнительно и учтено при последующем моделировании и

проектировании тепловой установки и отработки режимов её работы. Кроме того конструкция стенда и режим прогрева не обеспечивают рекомендованных значений температуры бетона. Использование в качестве вторичного теплоносителя воздуха (кривая 4) не позволяет достичь необходимой температуры бетона, т.е не обеспечивает достижения цели тепловой обработки.

Представленные на рис.5 и рис.6 результаты моделирования работы тепловой установки в холодный период показывают, что за 8 часов прогрева при использовании в качестве вторичного теплоносителя антифриза температура бетона достигает $t_6 = +67$ °C. При использовании в качестве вторичного теплоносителя воздуха температура поднимается только до $t_6 = +26$ °C, что не позволяет говорить об ускорении твердения бетона.

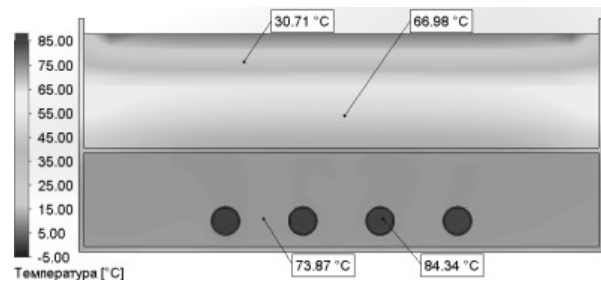


Рис.5 Распределение температуры в тепловой установке через 8 часов после начала прогрева стенда, с использованием антифриза в качестве вторичного теплоносителя в холодный период года / Distribution of temperature in thermal installation in 8 hours after the beginning of warming up of the stand, with use of antifreeze as the secondary heat carrier during the cold period of year

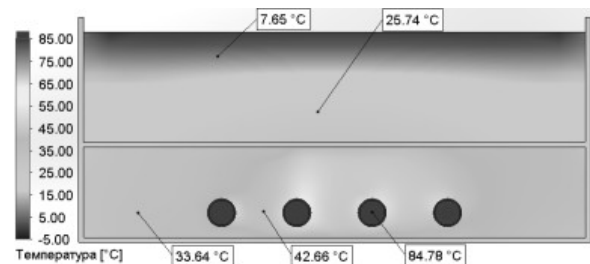


Рис.6 Распределение температуры в тепловой установке через 8 часов после начала прогрева стенда, с использованием воздуха в качестве вторичного теплоносителя в холодный период года / Distribution of temperature in thermal installation in 8 hours after the beginning of warming up of the stand, with use of air as the secondary heat carrier during the cold period of year.

На рис. 7 сопоставлены результаты вариантов расчета изменения температуры в двухслойной конструкции при различных вторичных теплоносителях для холодного периода года и

рекомендуемого графика подъема температуры в изделии.

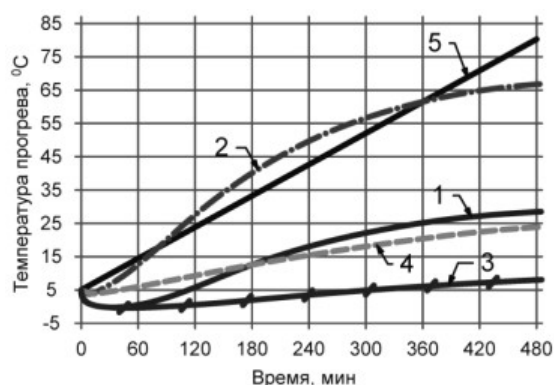


Рис. 7. График прогрева слоев изделия в тепловой установке при использовании антифриза и воздуха во вторичном теплоносителе для холодного периода года / The schedule of warming up of layers of a product in thermal installation when using antifreeze and air in the secondary heat carrier for the cold period of year. Термодинамические параметры теплоносителей

Вторичный теплоноситель антифриз. 1 – температура слоя теплоизоляции, 2 – температура слоя железобетона;

Вторичный теплоноситель воздух. 3 – температура слоя теплоизоляции, 4 – температура слоя железобетона,

5 – рекомендуемый режим подъема температуры в железобетоне.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

- Адегов, А.В. Инженерные системы для доступного жилья как определяющий фактор жизненного цикла здания. / В.В Колохов, И.С. Василенко // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. 81. – Дн-вск, ПГАСА, 2015. – С.31-36
Adegov A. V. Engineering systems for affordable housing shaping a building's life cycle. / A. V. Adegov, V. V. Kolohov, I. S. Vasilenko. // Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers Issue №81. – Dnipropetrovs'k, PSAES, 2015. – pp. 31-36.
- Арбенев А.С. Зимнее бетонирование с электронагревом смеси. М.: Стройиздат, 1970. 103 с.
Arbenyev A.S. Zimneye betonirovaniye s elektrozogrevom smesi [Winter concreting with electrowarming mixture]. Moscow: Stroyizdat, 1970. – 130p
- Пат. № 2444435 Россия (RU). Способ изготовления трехслойных строительных изделий. / Бегляров А.Э., Соков В.Н. Опубл. 10.03.2012
Beglyarov A. E., Sokov V.N. Way of production of three-layer construction products. Patent RU no. 2444435
- Пат. № 2190523 Россия (RU). Способ изготовления трехслойной стеновой панели. / Волкодаев Ю.К. Опубл. 20.04.2005
Volkodayev Yu. K. Way of production of the three-layer wall panel. Patent RU no. 2190523
- Головнев С. Г., Пикус Г. А., Мозгалёв К. М., Савинов С. А. Компьютерный контроль и регулирование процессов выдерживания бетона в зимних условиях //

Сопоставляя результаты моделирования работы тепловой установки в холодный период с рекомендуемым режимом прогрева бетона года можно заключить, что работа установки при заданных её параметрах не позволяет достигнуть необходимого результата в назначенный временной интервал. Т.е. для обеспечения ускоренного твердения бетона необходимо изменить конструкцию стенда и изменить режимы его работы.

Выводы

- Использование воздуха в качестве вторичного теплоносителя представляется неэффективным.
- Представленная конструкция тепловой установки при принятых к моделированию начальных условия и режимах прогрева не обеспечивает в полной мере необходимые конечные параметры прогрева. Требуемая температура прогрева может быть достигнута при более длительном прогреве.
- Необходимо провести дополнительные исследования режимов прогрева бетона и изменить конструкцию стенда с целью обеспечения оптимальных режимов ускорения твердения бетона конструкции.
- В расчетной модели необходимо уточнить начальные условия для всех поверхностей тепловой установки и предусмотреть регулируемый прогрев бетона.

Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2010. Вып. 2. С. 75-78

Golovnev S. G., Pikus G. A., Mozgalev K.M., Savinov S. A.. Kompyuternyy kontrol i regulirovaniye protsessov vyderzhivaniya betona v zimnikh usloviyakh [Computer control and regulation processes concrete curing in winter conditions]. *Akademicheskii vestnik UralNIIProyekt RAASN*. 2010. No. 2. Pp. 75-78.

Дудин М. О. Моделирование набора прочности бетона в программе ELCUT при прогреве монолитных конструкций проводом. / М. О. Дудин, Н. И. Ватин Н.И., Ю. Г. Барбаншиков // Инженерно-строительный журнал, №2, 2015 – 33-45

Dudin M. O. Modeling a set of concrete strength in the program ELCUT at warming of monolithic structures by wire. / M. O. Dudin, N. I. Vatin, Yu. G. Barabanshchikov // *Magazine of Civil Engineering*, # 2, 2015 – pp. 33-45.

Доладов М.Ю. Доладов Ю.И. Программа для расчета обогрева бетона при зимнем бетонировании // Строительный вестник Российской инженерной академии. 2006. Выпуск 7. С. 52-56.

Doladov M. Yu. Doladov Yu. I. Programma dlya rascheta obogreva betona pri zimnem betonirovani [Program for calculating of concrete during winter concreting]. *Stroitelnyy vestnik Rossiyskoy inzhenernoy akademii*. 2006. No. 7. Pp. 52-56.

Зиневиц Л. В. Применение численного моделирования при проектировании технологии обогрева и выдерживания бетона монолитных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2. С. 24-28.

Zinevich L.V. Primeneniye chislennogo modelirovaniya pri proyektirovani tekhnologii obogreva i vyderzhivaniya betona monolitnykh konstruktсий [Application of numerical

simulation technology in the design of heating and curing concrete monolithic structures]. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 2. pp. 24-28.

9. Колохов, В. В. Анализ тепловой эффективности изготовления трёхслойных стеновых панелей. / В. В. Колохов., Л. В. Саламаха, А. В. Адегов, В. Н. Волошко, А. П. Кудрявцев // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. 76. – Дн-вск, ПГАСА, 2014. – С.148-152

Kolokhov, V. V. Analysis of thermal efficiency of making of the three-layered wall panels / Kolohov V. V., Salamakha L.V., Adegov A. V., Voloshko V. N., Kudryavtsev A. P. //Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers Issue №76. – Dnipropetrovs'k, PSAES, 2014. – pp. 148-152.

10. ТСН 12-336-2007 Производство бетонных работ при отрицательных температурах среды на территории республики Саха (Якутия). Министерство строительства

и промышленности строительных материалов республики Саха (Якутия). Якутск 2007 –110с.

TSN 12-336-2007 Proizvodstvo betonnykh работ pri otritsatelnykh temperaturakh sredi na territorii Respubliki Sakha (Yakutiya) [Local building codes 12-336-2007. Production of concrete work at subzero temperatures environment in the Republic of Sakha (Yakutia) (rus)

11. Bofang Z. Temperature Control of Concrete Dam in Cold Region. In: Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. Butterworth-Heinemann: Tshingua University Press, 2014. Pp. 431-438

12. Bofang Z. Construction of Mass Concrete in Winter. Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. 2014. Pp. 425-430

Nassif A.Y., Petrou M.F. Influence of cold weather during casting and curing on the stiffness and strength of concrete. *Construction and Building Materials*. 2013. No. 44. Pp. 161-167.

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. А. С. Беліковим (Україна); д-ром. техн. наук, проф. С. З. Поліщуком (Україна)

Статья поступила в редколлегия 25.09.2015

УДК 666:699.86

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

КУШНЕРОВА Л.А.^{1*}, к.т.н., асс.

^{1*} Кафедра технологии строительных материалов изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: Lilu300184@yandex.ru, ORCID ID 0000-0003-0759-4553

Аннотация. *Цель.* Определение закономерностей влияния компонентов теплоизоляционных материалов, на основе вторичных продуктов промышленности, на их основные свойства при условии максимальной замены ими более дорогостоящих материалов. В качестве промышленных отходов использовался граншлак завода имени Петровского и зола уноса Приднепровской ТЭС. *Методика.* Для определения оптимального соотношения компонентов и с целью сокращения экспериментов в процессе определения применялось математическое моделирование. Симплекс - решетчатый план эксперимента предназначен для определения экстремума в многокомпонентных системах по диаграмме «состав – свойство». В данной работе использовался 3-х мерный симплекс. В качестве переменных принимали расход глины и шлака (X_1), глиноземистый цемент (X_2), жидкое стекло (X_3). Моделирование проводилось с использованием программы «Sibase», разработанной в Украинском государственном химико-технологическом университете. *Результаты.* В связи с тем, что в состав разработанного теплоизоляционного материала входит такой дорогостоящий компонент как глиноземистый цемент, были проведены исследования с целью снижения содержания данного компонента за счёт замены его на золу-унос. В связи с тем, что максимальный показатель прочности наблюдается при содержании золы 20 и 80 % плотность материала с данными содержанием компонента соответственно равна 400 и 450 кг/м³, т.е. изменяется не значительно, поэтому с целью получения теплоизоляционного материала с минимальной себестоимостью и оптимальными физико-механическими свойствами следует применять состав с содержанием золы-унос 80 % от массы глиноземистого цемента. *Научная новизна.* Результаты подтверждают целесообразность утилизации вторичных продуктов промышленности при производстве композиционных теплоизоляционных материалов. Это не только позволит повысить эффективность переработки промышленных отходов и улучшить физико-механические и технологические свойства получаемых материалов, но и как следствие снизит их себестоимости, за счет замены ими более дорогих сырьевых материалов. *Практическая значимость.* В результате исследований с целью получения теплоизоляционного материала с минимальной себестоимостью и оптимальными физико-механическими свойствами следует применять состав с содержанием золы-унос 80% от массы глиноземистого цемента. Разработанный материал будет иметь следующие свойства: прочность при сжатии около 0,1 МПа; плотность до 400 кг/м³.

Ключевые слова: математическое моделирование, теплоизоляция, пористый, отходы промышленности