

УДК: 658.26:536.7:666.97.035

ВЫБОР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ УСКОРЕННОЙ ГИДРАТАЦИИ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.М. Нияковский

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь
e-mail: a.m.niyakovski@pdu.by

С использованием разработанных теплофизической модели и математического аппарата выполнено сравнение двух режимов тепловой обработки для промышленно изготавливаемого многослойного бетонного изделия: с изотермической выдержкой и в отсутствие изотермической выдержки. Для каждого из этих режимов получены зависимости потребления тепловой энергии, а также рассчитаны температурные поля и поля степени гидратации в объёме изделия. Показано, что разработанный численный метод позволяет решать задачи по выбору энергосберегающих режимов тепловой обработки композитных бетонных изделий, имеющих сложную 3D-геометрию.

Ключевые слова: *теплотехнологические установки, тепловая обработка бетона, нестационарное уравнение теплопроводности, энергосберегающие режимы, энергоэффективность*

SELECTION OF ENERGY-EFFICIENT MODES OF OPERATION OF HEAT-TECHNOLOGICAL
FACILITIES FOR ACCELERATED HYDRATION OF CONCRETE PRODUCTS

A. Niyakovski

Polotsk State University, Republic of Belarus
e-mail: a.m.niyakovski@pdu.by

Using the developed thermophysical model and mathematical apparatus for composite concrete products manufactured in industrial conditions, the comparison of two modes of heat treatment: with isothermal exposure and in the absence thereof is performed. For each of these modes, dependences of thermal energy consumption, and also distributions of temperature and degree of hydration in a volume of a product are received. It is shown that the developed numerical method allows to solve the problem of choosing energy-saving modes of heat treatment of composite concrete products with complex 3D-geometry.

Keywords: *thermal technical installations, heat treatment of concrete, transient heat conductivity equation, composite materials, energy-saving modes, energy efficiency.*

Введение. Современная номенклатура промышленно изготавливаемых бетонных изделий для целей промышленного и гражданского строительства отличается сложной

композитной структурой и разнообразием форм-факторов. На смену структурно простым конструкциям приходят многослойные, в которых используются разнообразные теплоизоляционные и защитные материалы, применяются сложное армирование и различные марки бетонов одновременно. Типизация изделий уступает место оригинальным конструкциям, отвечающим возросшим требованиям архитекторов, дизайнеров и потребителей. В связи с этим особую актуальность при производстве подобной продукции приобретают вопросы проектирования режимов тепловой обработки в промышленных теплотехнологических установках ускоренной гидратации, обеспечивающих снижение удельного энергопотребления и высокое качество изготовления.

Одна из главных проблем состоит в том, что усложнение композитной структуры бетонных изделий и их формы не позволяет осуществить ранжирование режимов тепловой обработки по критерию энергоэффективности путём традиционного анализа «кубиковой» прочности тестовых образцов. Отыскание же оптимальных режимов тепловой обработки за счёт проведения натуральных экспериментов с образцами реальных размеров является высокзатратным и требует много времени. При этом подобные эксперименты не позволяют установить характер распределения температур и степени гидратации в пределах внутреннего пространства изделия в период его тепловой обработки. Они также не могут дать представление о величинах потребляемой при этом тепловой энергии и мощности её подвода к изделию, как в отдельные периоды времени обработки, так и в целом за всю её продолжительность. Всё это создаёт сложности при разработке режимов функционирования теплотехнологического оборудования для ускоренной гидратации бетонных изделий и алгоритмов автоматизации процессов тепловой обработки, особенно, в условиях выполнения их дискретной оптимизации по критерию энергопотребления.

Вопросам проектирования энергосберегающих режимов тепловлажностной обработки бетонных изделий в последнее десятилетие уделено значительное число исследований (Л. И. Дворкин, Э. И. Батяновский, В. В. Бабицкий, М. С. Бибик и др.) [1–4]. Однако, эти исследователи подходили к рассмотрению данной проблемы с позиций строительного материаловедения и науки о бетоне, оставляя в стороне теплотехнические аспекты.

С позиций промышленной теплоэнергетики и теоретической теплотехники данная проблема рассмотрена, в частности, в работах С. В. Федосова с соавторами [5], К. В. Аксенчика с соавторами [6] а также в ряде исследований, выполненных европейскими и американскими специалистами [7–8]. Тем не менее, предложенные указанными авторами методы не могут быть использованы в отношении изделий со сложной геометрией и неоднородной композитной структурой. Причина в том, что они в той или иной степени оперируют интегральными тепловыми характеристиками процесса тепловой обработки, игнорируют сложный состав изделий, ограничиваются строго заданными граничными условиями при анализе теплообмена, присущими неактуальным теплотехнологическим агрегатам и методам для осуществления тепловой обработки бетонных изделий.

Теплофизическая и математическая модели. Для преодоления этих трудностей нами предложены теплофизическая и математическая модели процессов нагрева и гид-

ратации, основанные на нестационарном уравнении теплопроводности в 3D-постановке с учётом распределённого источника внутренних тепловыделений, а также сформулированы граничные условия теплообмена, свойственные современным промышленным установкам для ускоренной гидратации бетонных изделий. В зависимости от решаемой задачи, рассмотрены граничные условия, характеризующие перенос теплоты на границах следующих систем: «бетон – паровоздушная среда»; «опалубка – паровоздушная среда»; «бетон – пенополистирол»; «опалубка – пенополистирол»; «опалубка – бетон»; «нагреватель – столешница». При численном решении уравнения теплопроводности использовались функциональные зависимости «температура – время тепловой обработки», как модельные, так и полученные экспериментально при проведении исследований в условиях действующего производства.

Для оценки тепловыделений цемента при различных температурах к моменту времени τ , прошедшему с момента начала реакции гидратации, использовалась функция $Q(T, \tau)$, полученная методом аппроксимации экспериментальных данных, опубликованных в [8, 9].

Верификация разработанной модели осуществлена в производственных условиях ОАО «Строительно-монтажный Трест №16, г. Новополоцк» и показала удовлетворительную сходимость полученных расчётных и экспериментальных значений температур и степени гидратации в различных точках внутреннего пространства объёма бетонных изделий при их тепловой обработке [10].

Основные сведения о параметрах и составе разработанных теплофизической и математической моделей опубликованы в научных изданиях [11–14].

Выполнение исследования и полученные результаты. В качестве исследуемого объекта рассмотрена наружная трёхслойная стеновая панель серии 90, выпускаемая филиалом Завод КПД ОАО «Трест № 16, г. Новополоцк», 3D-геометрия которой построена в среде SolidWorks и импортирована для построения клеточной 3D-модели. Тепловая обработка изделия проводилась на обогреваемом стенде горизонтального формования с укрытием поверх брезентом.

На рисунке 1 представлено распределение входящих в наружную стеновую панель и использованных при проведении расчётов областей Ω_1 – Ω_6 , ассоциированных с различными материалами и элементами конструкции, составляющими бетонное изделие и теплотехнологическую установку для его обработки.

Как видно из рисунков, объект имеет сложную 3D-конфигурацию. В него входят пространственные области бетона, пенополистирола и минеральной ваты. Области пространства, заполненные разными материалами, были учтены в модели через систему граничных условий [10, 12].

Начальные условия модели:

$$\begin{cases} T(x, y, z, 0) = 25^\circ \text{C} , \text{ для } (x, y, z) \in \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \Omega_5 \cup \Omega_6 \\ T(x, y, z, 0) = 24^\circ \text{C} , \text{ для } (x, y, z) \in \Omega_3 \\ T(x, y, z, 0) = T_0 = 36^\circ \text{C} , \text{ для } (x, y, z) \in \Omega_4 \\ Q(x, y, z, 0) = 0 \text{ Дж / кг} , \text{ для } (x, y, z) \in \Omega_1 \end{cases} \quad (1)$$

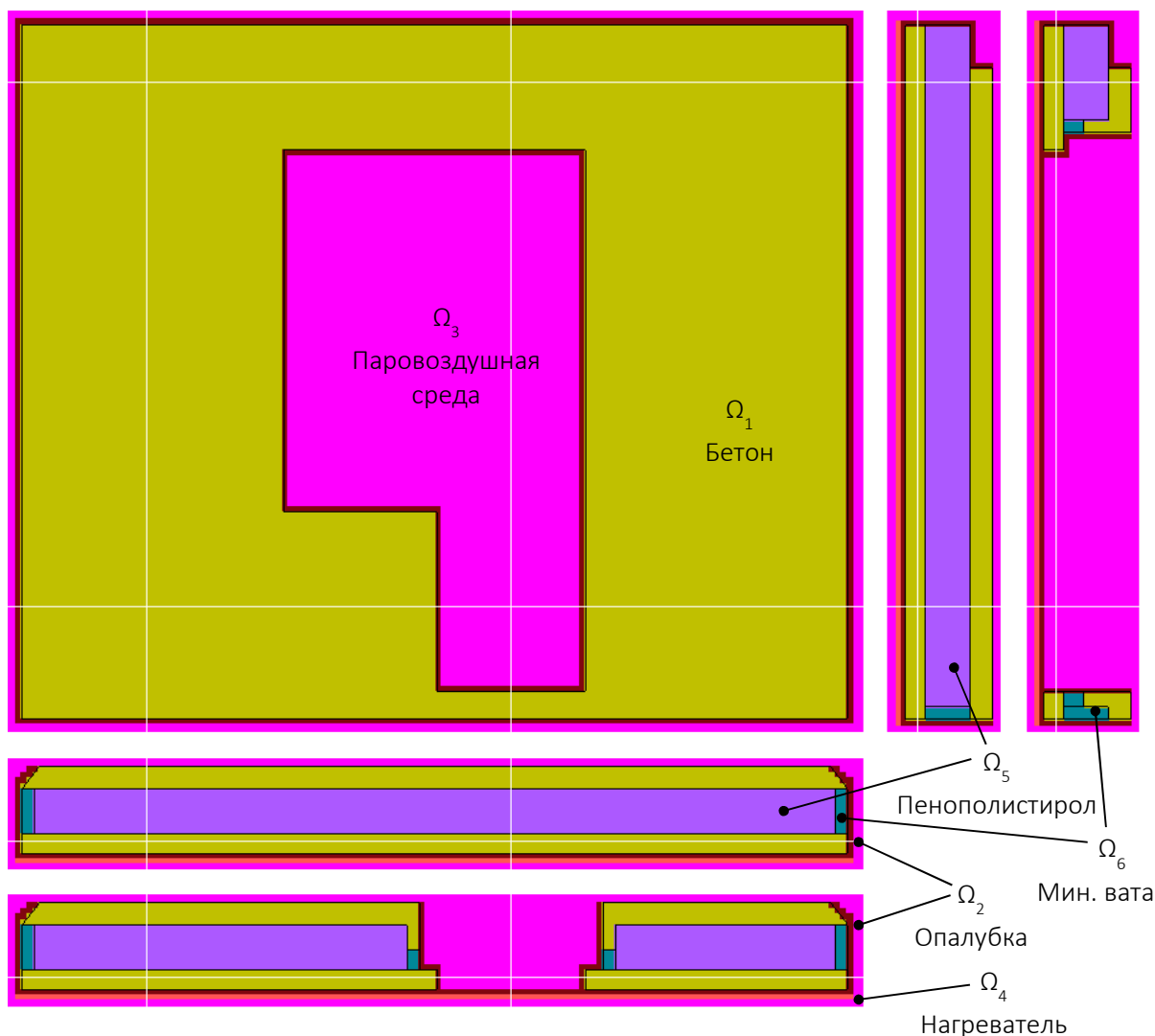


Рисунок 1. – Области моделируемого пространства для тепловой обработки трёхслойной наружной стеновой панели

С целью моделирования тепловой обработки граничные условия были приведены к условиям задачи. Так, температура T_{env} области паровоздушной среды (Ω_3) менялась по следующему закону:

$$T_{env}(\tau + \Delta\tau) = T_{env}(\tau) + \frac{P_{env}(\tau) - P_{cov}(\tau)}{\rho_{air} V_{env} c_{air}} \Delta\tau, \quad (2)$$

где c_{air} – удельная теплоёмкость воздуха (1006 Дж/(кг·°C));

ρ_{air} – плотность воздуха (1,2 кг/м³);

V_{env} – объем области Ω_3 ;

P_{cov} – мощность теплоотдачи паровоздушной среды на поверхность укрывающего брезента;

P_{env} – мощность теплоотдачи опалубки и открытой поверхности бетона в паровоздушную среду.

Мощность теплоотдачи паровоздушной среды на поверхность укрывающего брезента определялась на основании уравнения:

$$P_{cov}(\tau) = \alpha_{cov} (x_{max} - x_{min})(z_{max} - z_{min})(T_{env}(\tau) - T_{cov}), \quad (3)$$

где α_{cov} – коэффициент теплоотдачи паровоздушной среды к поверхности укрытия ($\alpha_{cov}=10$ Вт/(м²·К);

T_{cov} – температура брезента или окружающей среды (20°C);

$x_{min}, x_{max}, z_{min}, z_{max}$ – минимальная и максимальная соответствующие координаты моделируемого пространства (для вычисления площади укрываемой поверхности).

Отключение нагревания (управляемого поддержания температуры) и переход оборудования в режим, когда тепловая обработка изделия осуществляется целиком за счёт теплоты гидратации, было смоделировано путём присвоения элементам области нагревателя (Ω_4) идентификатора области опалубки (Ω_2) при сохранении температуры. То есть в момент времени τ_{iso} , соответствующий прекращению поддержания постоянства температуры выдержки изделия, область Ω_4 превращалась в часть области Ω_2 .

Температура во всем пространстве нагревателя (Ω_4) изменялась в соответствии с режимом термообработки:

$$\frac{\partial T_w(\tau)}{\partial \tau} = \begin{cases} (T_{max} - T_0)/\tau_{inc}, & \text{при } 0 \leq \tau < \tau_{inc} \\ 0, & \text{при } \tau_{inc} \leq \tau < \tau_{iso} \end{cases}, \quad (4)$$

где $T_0 = 36$ °С – начальная температура теплоносителя;

T_{max} – максимальная температура теплоносителя (температура изотермической выдержки);

τ_{inc} – момент времени прекращения нагрева (роста температуры);

τ_{iso} – момент окончания изотермической выдержки.

Мощность теплоотдачи опалубки (Ω_2) и открытой поверхности бетона (Ω_1) в паровоздушную среду (Ω_3) вычислялась следующим образом:

$$\begin{aligned} P_{env}(\tau) = & \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_1 \\ (x,y+\Delta y,z) \in \Omega_3}} \alpha_{up} \Delta x \Delta z (T(x,y+\Delta y,z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) + \\ & + \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_2 \\ (x+\Delta x,y,z) \in \Omega_3}} \alpha_{sd} \Delta y \Delta z (T(x+\Delta x,y,z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) + \\ & + \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_2 \\ (x-\Delta x,y,z) \in \Omega_3}} \alpha_{sd} \Delta y \Delta z (T(x-\Delta x,y,z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) +, \\ & + \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_1 \\ (x,y,z+\Delta z) \in \Omega_2}} \alpha_{sd} \Delta x \Delta y (T(x,y,z+\Delta z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) + \\ & + \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_1 \\ (x,y,z-\Delta z) \in \Omega_2}} \alpha_{sd} \Delta x \Delta y (T(x,y,z-\Delta z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) \end{aligned} \quad (5)$$

где α_{up} – коэффициент теплоотдачи, соответствующий конвективному теплообмену в воздушной среде для горизонтальной поверхности;

α_{sd} – коэффициент теплоотдачи в воздушной среде для горизонтальной поверхности.

Параметры моделирования выбранного объекта характеризовались следующими значениями: размеры сеточной модели составили $164 \times 22 \times 139 = 501512$ элементов; шаг по пространству – 0,02 м; шаг по времени – 0,05 с; общее время моделирования одного варианта тепловой обработки составляло не менее 22 часов.

С использованием полученной модели было выполнено сравнительное моделирование двух режимов тепловой обработки рассматриваемого изделия: с изотермической выдержкой при управляемом подводе теплоты и постоянной температуре и энергосберегающего, когда подвод теплоты извне осуществляется только в период предварительного нагрева. При этом для целей тепловой обработки изделия максимально используется теплота гидратации.

Режим с изотермической выдержкой характеризовался следующими параметрами: $T_{max} = 53$ °С (температура нагрева и выдержки), $\tau = \tau_{inc} = 3$ часа (момент времени завершения предварительного нагрева), $\tau = \tau_{iso} = 10$ часов (момент времени завершения изотермической выдержки). Указанные моменты времени отсчитывались от принятого за ноль момента начала тепловой обработки.

На рис. 2 в качестве иллюстрации представлены результаты моделирования распределения температур и коэффициента (степени) гидратации в выделенных сечениях для изотермического режима по истечении 6 часов от начала тепловой обработки. Энергосберегающий режим имел следующие параметры работы нагревателей: температура предварительного нагрева $T_{max} = 53$ °С, $\tau_{inc} = 3$ часа, а продолжительность изотермической выдержки принята равной нулю.

Для оценки энергоэффективности исследованных выше режимов тепловой обработки бетонных изделий в устройствах ускоренной гидратации была использована введённая нами энергетическая характеристика, отражающая совокупные затраты тепловой энергии на осуществление различных стадий технологического процесса, с учётом энергозатрат, связанных с компенсацией тепловых потерь в окружающую среду в процессе тепловой обработки.

Эта характеристика представляет собой интегральные затраты на тепловую обработку изделия (подведённую нагревателем извне теплоту) и вычисляется по формуле:

$$Q_{src}(t_N) = \sum_{\tau=0..t_N} \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_1 \\ (x,y+\Delta y,z) \in \Omega_2}} \alpha_w \Delta x \Delta z \Delta \tau (T(x,y,z,\tau) - T(x,y+\Delta y,z,\tau)), \quad (6)$$

где α_w – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к греющей поверхности устройства ускоренной гидратации.

На основе представленной выше теплофизической модели с учётом граничных условий для различных режимов тепловой обработки рассматриваемого изделия

в соответствии с уравнением (6) были выполнены расчёты подведённой извне тепловой энергии нагревателя (Q_{src}) и его мощности ($P_{src} = \partial Q_{src} / \partial \tau$) в зависимости от времени тепловой обработки. На рисунках 3 и 4 показано изменение этих величин в зависимости от времени тепловой обработки.

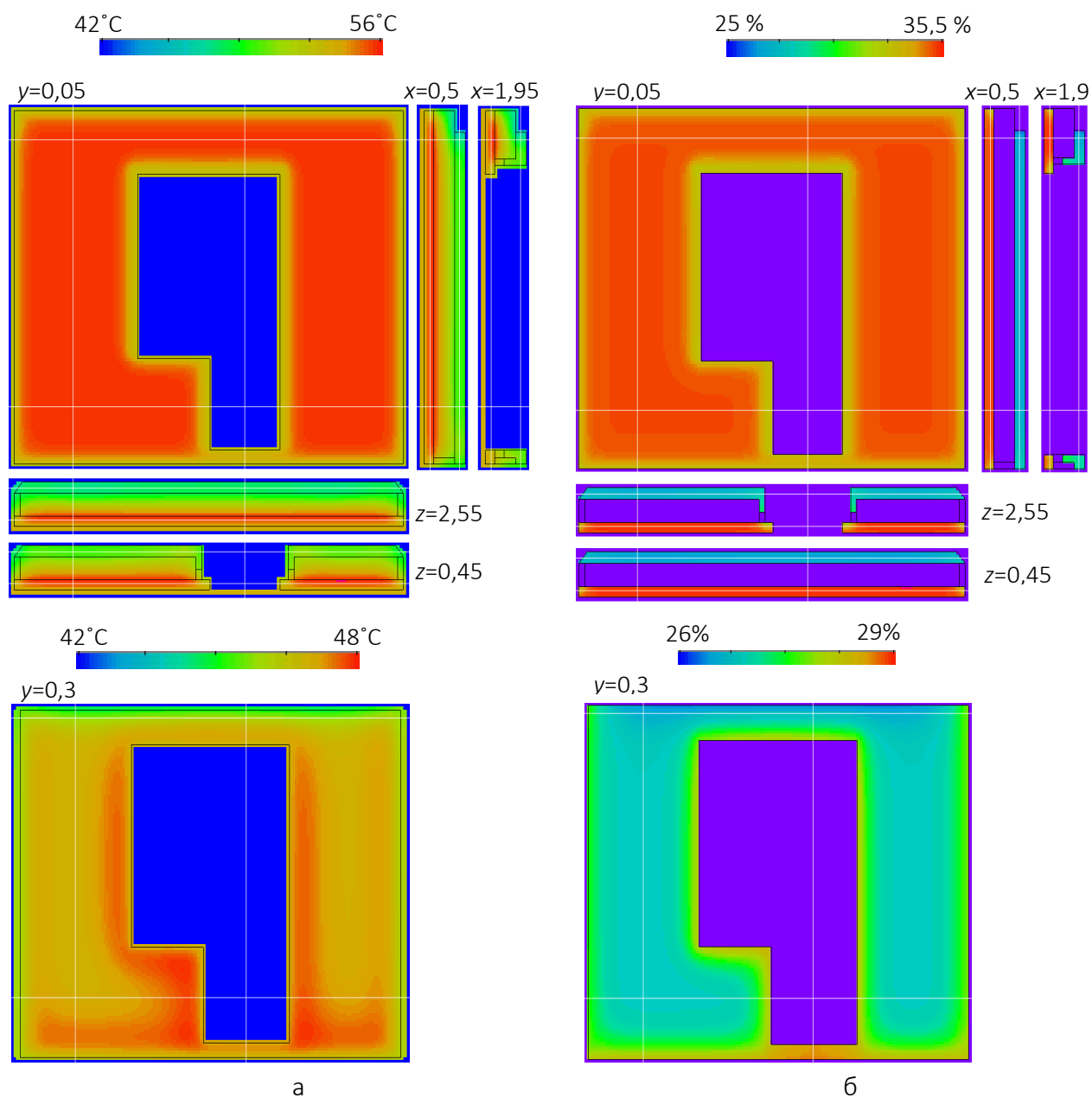


Рисунок 2. – Распределение температуры (а), степени (коэффициента) гидратации (б) в выделенных сечениях изделия при изотермическом режиме тепловой обработки по истечении 6 часов

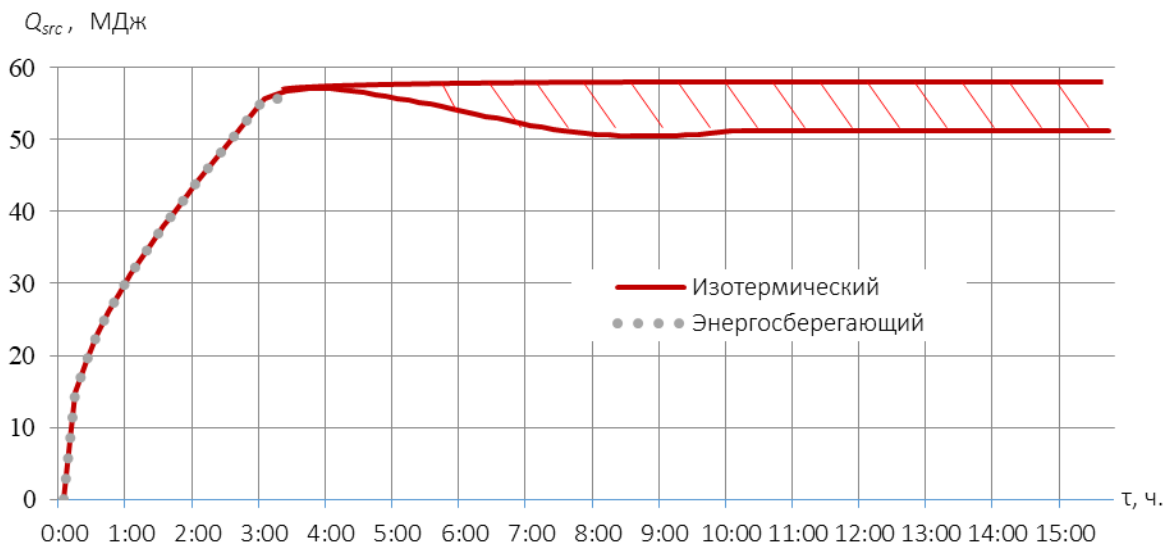


Рисунок 3. – Сравнение суммарных энергозатрат на тепловую обработку изделия при изотермическом и энергосберегающем режимах тепловой обработки

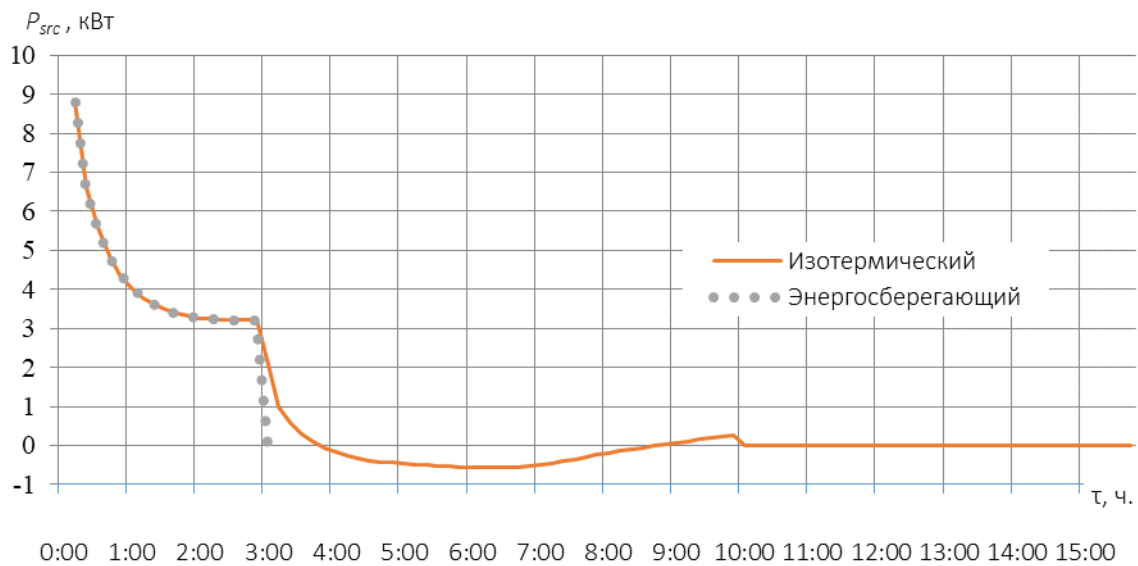


Рисунок 4. – Сравнение мощности нагревателя при изотермическом и энергосберегающем режимах тепловой обработки изделия

Как следует из анализа представленных графиков, рассмотренный энергосберегающий режим тепловой обработки при обеспечении одинаковой степени гидратации позволяет получить экономию тепловой энергии в объеме около 1,4 МДж в расчёте на одно изделие.

Заключение.

1. На основании разработанных теплофизической и математической моделей предложена энергетическая характеристика, позволяющая производить оценку технологически необходимых затрат тепловой энергии в установке ускоренной гидратации

в процессе тепловой обработки композитного бетонного изделия со сложной 3D-геометрией.

2. На примере промышленно выпускаемого бетонного изделия «трёхслойная стеновая панель» выполнены сравнительные расчёты для двух вариантов режимов тепловой обработки, показывающие, что на основе разработанного метода можно осуществлять выбор энергосберегающих режимов, обеспечивающих экономию энергетических ресурсов. При этом достигается снижение теплового потребления на величину около 1,4 МДж в расчёте на одно изделие с сохранением и контролем заданной степени гидратации в любой точке внутреннего пространства обрабатываемого изделия.

3. Разработанный метод может использоваться при оптимизации параметров и режимов работы промышленного теплотехнологического оборудования, предназначенного для проведения ускоренной гидратации композитных бетонных изделий сложной геометрической формы, по критерию энергоэффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дворкин, Л.И. Критерий рационального использования тепловой энергии в производстве бетона и железобетонных изделий / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин // Технология бетонов. – 2014. – № 2. – С. 32–35.
2. Батяновский, Э. И. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона / Э. И. Батяновский, Е.И Иванова., Р. Ф. Осос // Научно-технический журнал «Строительная наука и техника». – Мн.: 2006. – № 3(6). – С. 7–17.
3. Бирик, М. С. Об энергосберегающих режимах тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий / М. С. Бирик, В. В. Бабицкий // Строительная наука и техника. – 2010. – № 4. – С. 55–59.
4. Бирик, М.С. Расчет энергосберегающих режимов тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий / М.С. Бирик, В.В. Бабицкий // Керамика: наука и жизнь. – 2009. – № 3. – С. 17–26.
5. Федосов, С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии: монография / С.В. Федосов. – Иваново: ПресСто, 2010. – 363 с.
6. Аксенчик, К.В. Исследование тепло- и массообмена в бетонных плитах, подвергаемых тепловой обработке / К.В. Аксенчик, Н.И. Шестаков // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2010. – № 4. – С. 63–67.
7. Kuriakose, V., Rao, V.N., Dodagoudar, G.R. Modelling of heat of hydration for thick concrete constructions – a note / Bennet Kuriakose, V.N. Rao, G.R. Dodagoudar, V. Venkatachalapathy // Journal of Structural Engineering. – 2015. – Vol. 42, No. 4, October – November. – P. 348 – 357.
8. Ge, Zh. Predicting temperature and strength development of the field concrete: Retrospective Theses and Dissertations. [Electronic resource] / Zhi Ge // Iowa State University. – 2005. – Mode of access: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2729&context=rtd>. – Date of access: 14.12.2018.
9. Марьямов, Н.Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона (процессы и установки) / Н.Б. Марьямов. – М.: Стройиздат, 1970. – 272с.
10. Верификация нестационарной математической модели твердения бетона в теплотехнологических установках / А. М. Нияковский [и др.] // Наука и техника. – 2019. – Т. 18. – № 2. – С. 137–145.
11. Метод расчёта эволюции теплоэнергетических характеристик процесса ускоренной гидратации бетонных изделий / А.М. Нияковский [и др.] // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2019. – Т. 62. – № 4. – С. 307–324.

12. Нияковский, А.М. Численное моделирование эволюции энергетических характеристик процесса тепловой обработки композитного бетонного изделия / А.М. Нияковский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 3 (723). – С. 86–100.
13. Нияковский, А.М. Алгоритм и численная схема моделирования нестационарных процессов тепловой обработки бетонных изделий / А.М. Нияковский, Ю.В. Яцкевич, А.Н. Чичко // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. С, Фундаментальные науки. Информационные технологии. – 2019. – № 4. – С. 50–61.
14. Нестационарная модель процесса гидратации железобетонного изделия, находящегося в программно-нагреваемой среде / А. М. Нияковский [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 4. – С. 496–505.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379.

ISBN 978-985-531-701-3

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>